

# MONIPILARINOSTIMEN MITOITUS JA SÄHKÖISTYS

Mikkola Tapani

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)  
2019

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Tekniikka ja liikenne  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Tapani Mikkola	Vuosi	2019
<b>Ohjaaja</b>	DI Jaakko Etto		
<b>Toimeksiantaja</b>	Nordlift Oy, Matti Ranttila		
<b>Työn nimi</b>	Monipilarinostimen mitoitus ja sähköistys		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	42 + 1		

---

Opinnäytetyö tehtiin Nordlift Oy:lle ja sen tavoitteena oli toteuttaa monipilarinostimen sähköinen mitoitus, kalustuksen suunnittelu ja sähköistys sekä taloudellinen tarkastelu periaatepohjalla. Työn tarkoituksena on perehtyä Profinet-signalointitekniikkaan ja käytetyn laitteiston uusimiseen, yhtenäistämiseen ja yksinkertaistamiseen.

Työssä tutkittiin oikosulkumoottoreiden ominaisuuksia ja oikosulkumoottorin käyttämistä teholähteenä ruuville, joka nostaa kohdetta. Oikosulkumoottoreiden ja komponenttien sähköisiä ja taloudellisia hankintaperusteita käytiin lävitse, jotta pystytään valitsemaan taloudellisin toimiva ratkaisu.

Projekti rajattiin sähköiseen mitoittamiseen ja sähköistykseen sekä taloudelliseen tarkasteluun, jonka lisäksi arvioitiin automaation vaikutusta sähköiseen kalustukseen ja toiminnallisuuteen. Julkiseen työhön ei liitetty luottamuksellisia teknisiä tai taloudellisia asioita.

Työn keskeisistä tavoitteista saavutettiin sähköinen mitoittaminen ja kalustuksen suunnittelu, mutta ulkoisten tekijöiden johdosta opinnäytetyössä ei päästy sähköistämään suunniteltua nostinkokonaisuutta. Projektissa alun perin tavoitteena ollut sähköistys ja käyttöönottotestaus jäivät puuttumaan aikataulun ja ulkoisten tekijöiden johdosta. Mitoitus ja kalustuksen suunnittelu ovat kuitenkin valmiina samankaltaisia projekteja varten ja tuloksia voidaan käyttää myöhemmin uusien nostimien suunnittelussa.

Asiasanat

sähkömoottorikäyttö, sähkömoottori, käyttöönotto, sähkösuunnittelu

Technology, Communication and Transport  
Electrical Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Tapani Mikkola	Year	2019
<b>Supervisor</b>	Jaakko Etto, M.Sc (Tech.)		
<b>Commissioned by</b>	Nordlift Oy, Matti Ranttila		
<b>Subject of thesis</b>	Design and Electrification of a Multi-column Lift		
<b>Number of pages</b>	42 + 1		

---

This thesis was made for Nordlift Oy and the objective was to make the design and electrification of a Multi-column lift, the layout of electrical fittings and electrification, and the principles of financial analysis. The target was to familiarize with the Profinet signaling techniques, to update, unify and simplify the old products.

In the thesis work induction motor features were studied and the usage of induction motors as power source for power screws was examined. The financial criteria of induction motors and components were researched, so it would be possible to choose the most economical working solution.

The project was defined to include the electrical design and electrification as well as financial analysis. The effect of automation was also evaluated on the electrical fittings and functionality. Confidential technical or financial information was not included in the public thesis.

The electrical design and the electrical fittings design were fulfilled from the thesis key targets but because of external factors it was not possible to electrify the designed lift entirety. The electrification and commissioning inspection, the key targets of the thesis, could not be done because of scheduling issues and external factors. The plans made in the thesis project for electrical design and electrical fittings are ready for similar projects and can be used as a layout for forthcoming multi-column lift projects.

Key words                      electric drives, electric motors, commissioning, electric design

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 MONIPILARINOSTIMET .....	7
3 SÄHKÖMOOTTORIKÄYTÖT .....	9
3.1 Sähkökäyttö .....	9
3.1.1 Oikosulkumoottori ja sen laskennalliset arvot .....	10
3.1.2 Taajuusmuuttajat .....	13
3.1.3 Monimoottorikäyttö .....	15
3.2 Moottorin mitoittaminen .....	16
3.2.1 Kuormitustyytit .....	16
3.2.2 Nosturisovelluksen moottorin mitoittaminen .....	17
3.2.3 Moottorin terminen kuormitettavuus .....	19
3.3 Kaapeleiden ja komponenttien mitoittaminen .....	20
4 MONIPILARINOSTIMEN SÄHKÖISTYS .....	26
4.1 Moottorin ja vaihteen mitoitus kuorman perusteella .....	27
4.2 Lähdön kalustus ja johdatus moottorin mitoituksen perusteella .....	28
4.3 Taajuusmuuttajan valinta ja konfigurointi .....	30
4.4 Taloudellinen tarkastelu ja mitoittaminen .....	30
4.5 Koneturvallisuuden huomioiminen .....	31
5 MONIPILARINOSTIMEN AUTOMAATIO .....	34
5.1 Automaatiojärjestelmän toteutus monipilarijärjestelmälle .....	35
6 KÄYTTÖÖNOTTO JA DOKUMENTOINTI .....	36
7 POHDINTA .....	38
LÄHTEET .....	39
LIITTEET .....	41

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

B2B	Business to business - Yritykseltä yritykselle myynti
EMC	Electromagnetic compatibility - Elektromagneettinen yhteensopivuus
HMI	Human Machine Interface - Käyttöliittymäsovellus
I/O-liitäntä	Input/Output - Tulo/lähtö -liitäntä
OKE-kytkin	Odottamattoman käynnistyksen esto -kytkin
PLC	Programmable Logic Controller - Ohjelmoitava logiikka
SIL-taso	Safety integrity level - Turvavaatimustaso, portaat 1 – 4, jossa 4 turvallisin

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Nordlift Oy:n osajien kanssa Sodankylässä loppuvuodesta 2019. Nordlift Oy on Sodankyläläinen metallialan yritys, joka on erikoistunut tekemään nosto- ja siirtolaitteita eri teollisuuden aloille. Yritys on perustettu 1978 Sodankylässä ja tehnyt historiansa aikana monia erilaisia nostimia teollisuuden tarpeisiin, niin Suomeen kuin muualle maailmaan (Nordlift Oy 2019b).

Nordlift Oy:n markkinointi on B2B-suuntautunutta ja asiakaskunta löytyy ajoneuvohuoltojen ja teollisuuden parista. Nordlift Oy tarjoaa ajoneuvonostimia katsastusten, peltikorjaamoiden ja yleishuoltamoiden tarpeisiin, raskaan kaluston nostimia korjaamoille, urakoitsijoille ja kuljetusliikkeille, teollisuuden tarpeisiin kaivoksille, tuotantolinjoille ja kunnossapitoon, sekä kiskokalustolle metrojunia, raitiovaunuja ja junia varten. (Nordlift Oy 2019b.)

Nordlift Oy:n nostimia onkin käytössä tällä hetkellä ympäri Eurooppaa, sekä joi-tain kappaleita kiskokaluston nostimia on myyty Euroopan ulkopuolelle, esimerkiksi Malesiaan (Melamies, 2018). Nordlift Oy:n tuotteita käyttävät esimerkiksi VR, ABB, Talgo, Bombardier, Valmet Automotive, Stadler, Wärtsilä ja Alstom. Nostokapasiteetti laitteilla vaihtelee satojen tonnien junakalustoista aina alle tu-hannen kilon pienkonenostimiin. (Nordlift Oy 2019b.)

Opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella yhden monipilarinostin tuotteen mitoi-tusta ja sähköistystä sekä tehdä taloudellinen tarkastelu järjestelmäkokonaisuu-desta periaatepohjalla. Työssä tarkoituksena on uusia, yhtenäistää ja yksinker-taistaa valmiiden tuotteiden toteutusta.

Työ rajataan sähköiseen mitoittamiseen ja sähköistykseen sekä taloudelliseen tarkasteluun. Automaation vaikutuksen arviointi sähköiseen kalustukseen ote-taan tarkasteluun, mutta automaatio-ohjelmointia ei käsitellä tarkemmin. Julki-nessa työssä ei esitetä luottamuksellisia teknisiä tai taloudellisia asioita.

## 2 MONIPILARINOSTIMET

Monipilarinostimet ovat sähkötekniisessä mielessä kehittyneitä monimoottorikäyttöjä, joita ohjataan automaation avulla. Työssä käsiteltävänä on 8-pilarinen sähkökäyttö, jonka nostokapasiteetti on 5 tonnista 12 tonniin pilarilta, sähkökäytön mitoituksen mukaan. Monipilarinostimien käyttökohteita ovat erilaiset raskaat ja fyysisesti isot kohteet, kuten metrot, lähijunat, kiskokalusto ja junavaunut. Kuvassa 1 nähdään raskaille koneille tarkoitettu HDL 15000 -nostinsarja (Nordlift Oy 2019a.)



Kuva 1. HDL 15000 nostopilarisarja (Nordlift Oy 2019c)

Käsiteltäessä suurta kokonaisuutta, kuten junaa tai pelkää vaunua, joudutaan nostaminen mitoittamaan ja suunnittelemaan siten, että noston aikana kuormitus jakaantuu tasaisesti nostimille tai otetaan muuten huomioon. Yksittäiset sähkökäytöt ovat Siemens PLC-logiikalla ohjattuja ja automaation avulla pystytään seuraamaan sähkökäyttöjen kuormitusta sekä noston aikana tapahtuvia tilamuutoksia. (Nordlift Oy 2019a.)

Yksittäiset pilarit voivat olla sähköhydraulisia tai sähkömekaanisia kokonaisuuksia tilaajan vaatimuksien mukaan. Nostokapasiteettiin vaikuttavat väännön tuottavan moottorin koko sekä sitä ohjaavan taajuusmuuttajan asettelut. Yhden pila-

rin nostonopeuteen vaikuttavat pilarin kuormitus, sähkökäytön mitoituksen aiheuttamat rajoitukset ja ennalta määritetyt nostonopeuden ylä- ja alarajat. (Nordlift Oy 2019a.)

Suurissa kokonaisuuksissa, kuten junavaunuissa tai junissa, tarvitaan nostoa varten vähintään 4 ja maksimissaan 28 pilarinostinta (Kuva 2), joiden tulee toimia yhtenä monimoottorikäyttönä. Sähkölaitteistoa ohjataan automaation avulla, joka seuraa yksittäisten moottorikäyttöjen tilaa ja kuormitusta. (Nordlift Oy 2019a.) Automaation avulla pystytään ohjaamaan yksittäisiä nostopilareita säätämään nostonopeutta, jotta nostotapahtuma olisi tasainen ja mahdollisia vaaratilanteita ei pääsisi syntymään.



Kuva 2. VR Helsinki Ilmalan korjaamo (Nordlift Oy 2019a)

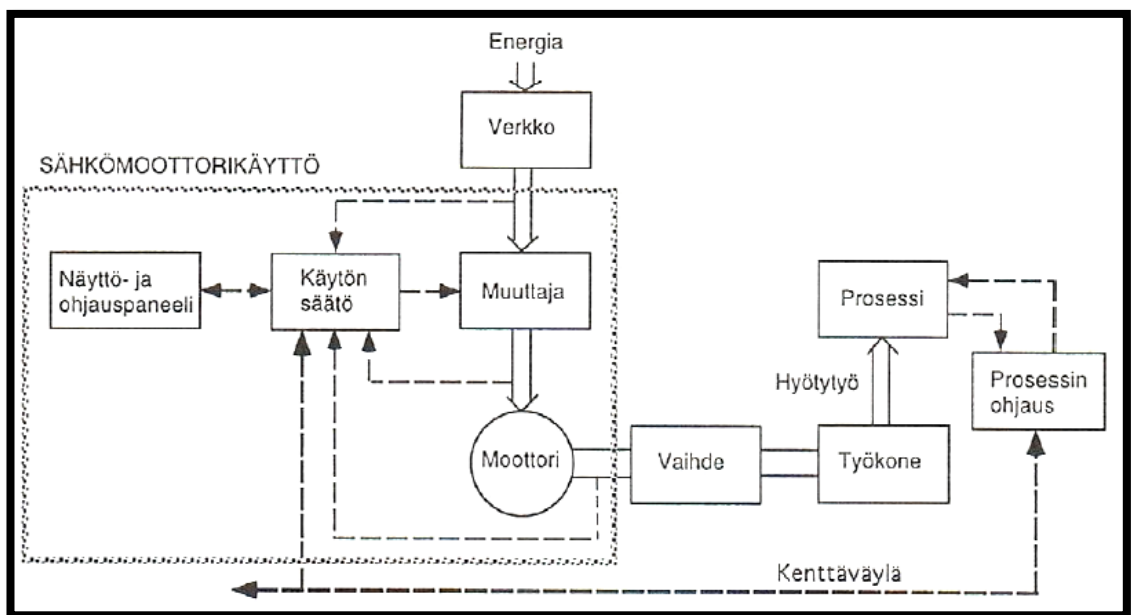
Automaation avulla pilareiden korkeustieto tiedetään noston aikana ja sitä voidaan käyttää määrittämään pilareiden nostohaarukoiden sijainti toisiinsa nähden. Turvallisuusmääritysten pohjalta pilarien sallittu poikkeama on +/- 4 mm. (Nordlift Oy 2019a.) Automaatio säätää nostimien toimintaa, jotta poikkeama ei kasvaisi yli sallittujen rajojen.

### 3 SÄHKÖMOOTTORIKÄYTÖT

#### 3.1 Sähkökäyttö

Sähkökäyttö eli sähkömoottorikäyttö muuntaa työkoneella verkosta ottamansa sähköenergian ideaalitapauksessa kokonaisuudessaan mekaaniseksi energiaksi. Sähkökäyttö toimii syöttävän verkon ja prosessin välissä energiamuuntimena, jotta haluttuun prosessiin saadaan siirrettyä hyötytyötä. (Niiranen 1999, 13.)

Kuviossa 1 nähdään kehittyneen sähkömoottorikäytön periaatekaavio ja miten energia sekä ohjaukset kulkevat säädetyssä sähkömoottorikäytössä. Sähköenergia tulee verkosta ja siirtyy muuttajan lävitse, joka säätelee sähköenergian siirtoa sähkömoottorille, joka tuottaa hyötytyötä prosessiin, mahdollisten mekaanisten laitteiden lävitse. Muuttaja voi olla tekniikasta riippuen vaihtosuuntaaja, tasasuuntaaja, tasasähkökatkoja tai näiden yhdistelmiä. (Niiranen 1999, 13, 48.)



Kuvio 1. Sähkömoottorikäytön periaatekaavio (Niiranen 1999, 13)

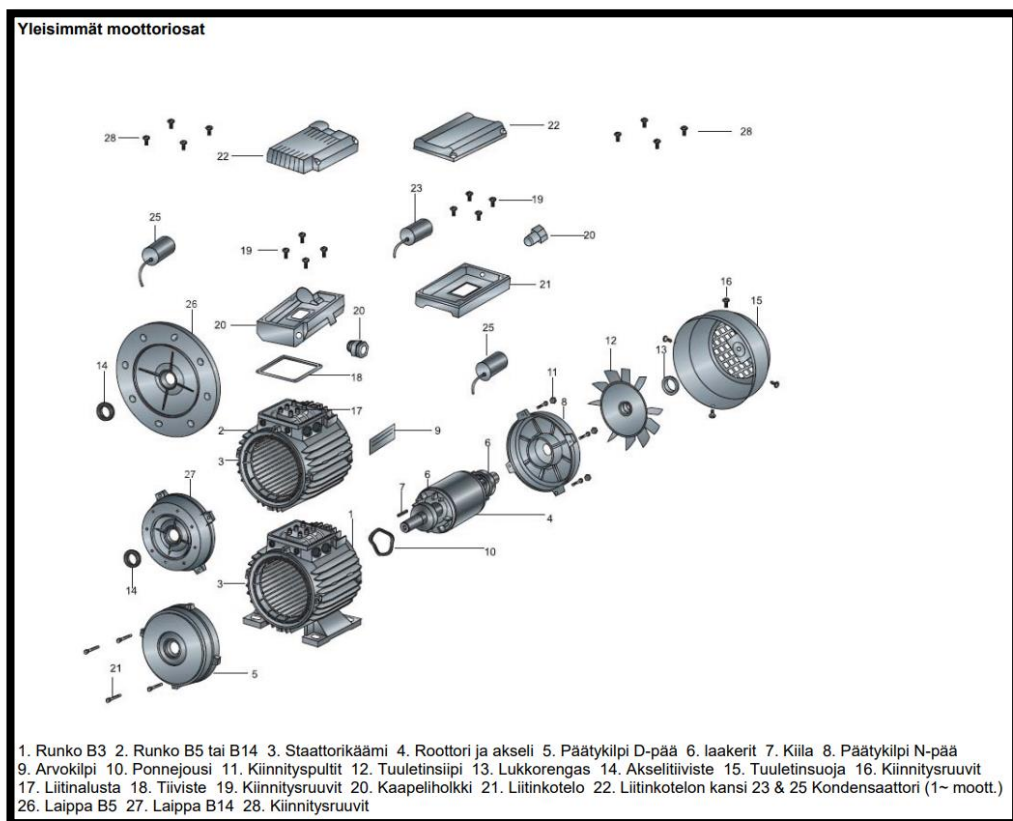
Kuviossa 1 nähdään, että sähkömoottorikäyttö jakautuu fyysisesti energiaa syöttävään osaan, sähkömoottorikäyttöön sekä sähkömoottorin tuottaman hyötytyön siirtävään osaan. Näitä tukee vielä katkoviivoilla merkityt säätö ja ohjauspiirit. Sähkökäytön tarkoituksena on lähes aina hyötytyön tuottaminen prosessiin, jossa

se liikuttaa materiaalia, joko suoraan tai välillisesti tuottamansa mekaanisen energian kautta. (Niiranen 1999, 13 -14.)

Sähkömoottorikäytöt koostuvat sähköteknisessä mielessä sähkönsyötöstä, mahdollisesti muuttajasta eli nykyään taajuusmuuttajasta, automaatiojärjestelmästä, oikosulkumoottorista ja mekaanisen energian siirron rajapinnasta prosessiin, vaihteeseen tai vastaavaan. Standardit, asetukset ja direktiivit määrittelevät lisäksi sähköisiä ja koneturvallisuuden vaatimuksia, joita sähkömoottorikäytön tulee noudattaa.

### 3.1.1 Oikosulkumoottori ja sen laskennalliset arvot

Oikosulkumoottorit ovat nykyään teollisuuden käytetyimpiä moottorityyppejä niiden yksikertaisuuden ja kestävyuden ansiosta. Oikosulku- eli induktiomoottorit ovat erittäin hyvin standardoituja ja säädelyjä toimittajien kesken, mikä mahdollistaa oikosulkumoottoreiden myymisen bulkkituotteena. Teollisuus tuottaa suuria eriä moottoreita vakioiduilla teholuokilla ja ominaisuuksilla, jolloin moottoreiden hinnat pysyvät edullisina ja korvattavuus on hyvä. (Hietalahti 2013, 34.)



Kuvio 2. Yksityiskohtainen induktiomoottorin räjäytyskuva (Moves 2019, 6.)

Kuviossa 2 esitetään valurautarunkoisen epätahtimoottorin yleisimmät osat. Toiminnan kannalta tärkeimmät osat ovat roottori ja akseli (kuviossa 2 osa nro 4) ja staattori (kuviossa 2 osa nro 3). Staattorissa ja roottorissa sijaitsevat erilliset käämitykset, jotka muuttavat sähköisen energian, pyörivän staattorikentän avulla, roottorin mekaaniseksi energiaksi. (Hietalahti 2013, 34 -35.)

Oikosulkumoottorin fyysiset ominaisuudet vaikuttavat moottorin pyörimisnopeuteen. Kaavassa 1 nähdään oikosulkumoottorin napapariluvun  $p$  vaikutus moottorin tahtinopeuteen, kun syötetyn sähköön taajuus on  $f$ . (Aura & Tonteri 1995, 310.)

$$n_s = \frac{f}{p} \quad (1)$$

missä

$n_s$	on	tahtinopeus
$f$	on	jännitteen taajuus
$p$	on	napapariluku

Kuitenkaan oikosulkumoottori ei pyöri tahtinopeudessa eli magneettikentän pyörimisnopeudella, vaan kuormituksen mukaan vaihdellen, tahtinopeutta hitaammin. Sähkömoottorin pyörimisnopeuden ja tahtinopeuden erotusta kutsutaan jättämäksi, ja se aiheutuu laakeri- ja ilmahankaushäviöiden aiheuttamasta vastamomentista ja on nimelliskuormalla kilpiarvon mukainen. Kaavassa 2 nähdään sähkömoottorin nimellispyörimisnopeuden  $n_N$ , tahtinopeuden  $n_s$  ja suhteellisen jättämän  $s$  suhde toisiinsa. (Aura & Tonteri 1995, 323 – 324.)

$$s = \frac{n_s - n_N}{n_s} = \frac{\Delta n_N}{n_s} \quad (2)$$

missä

$s$	on	suhteellinen jättämä
$n_N$	on	roottorin pyörimisnopeus
$n_s$	on	magneettinen pyörimisnopeus

Tiedettäessä sähkömoottorin pyörimisnopeus ja sähkömoottorin akselille tuottama teho nimellisarvoilla eli sähkömoottorin leimausarvoilla, voidaan laskea sähkömoottorin tuottama vääntömomentti kaavalla 3 (Aura & Tonteri 1995, 327). Samalle kaavalle on myös toinen notaatiomuoto ABB:n materiaalissa (Kaava 4), jota voidaan käyttää suoraan moottorin arvokilven arvoille ilman yksikkömuunnoksia (Tekninen opas nro 7 2001, 14).

$$P_2 = 3P_{v2} = 3 * 2\pi n M_{vmek} = 2\pi n M_{mek} \quad (3)$$

missä

$P_2$	on	Antoteho
$P_{v2}$	on	Vaiheen antoteho
$M_{vmek}$	on	Vaiheen vääntömomentti
$M_{mek}$	on	Moottorin vääntömomentti

$$P_2[kW] = \frac{T [Nm] * n [rpm]}{9550} \quad (4)$$

missä

$P_2$	on	Antoteho kilowateissa
$T$	on	Moottorin vääntömomentti
$n$	on	kierrosnopeus minuutissa

Moottorille voidaan laskea leimausarvoilla sähköverkosta otettu nimellisteho nimellisjännitteen, nimellisvirran ja nimellistehokertoimen avulla (Aura & Tonteri 1995, 327).

$$P_1 = \sqrt{3} U_I I_1 \cos \varphi_1 \quad (5)$$

missä

$P_1$	on	Ottoteho
$U_I$	on	Pääjännite
$I_1$	on	Virta
$\cos \varphi_1$	on	Tehokerroin

Ottotehon ja leimatun antotehon suhteesta saadaan laskettua moottorin hyötysuhde  $\eta$ , jota ei yleensä merkitä arvokilpeen (Aura & Tonteri 1995, 330). Nimellinen ottoteho voidaan laskea leima-arvoista kolmivaihetehon yhtälöstä 5, jolloin nimellishyötysuhteen kaavaksi tulee:

$$\eta = \frac{P_n}{P_1} \quad (6)$$

missä

$\eta$	on	Hyötysuhde
$P_n$	on	Moottorin nimellisteho akselille
$P_1$	on	Moottorin verkosta ottama teho

Hyötysuhteen arvo kuvaa moottorin ominaisuuksia muuttaa verkosta otettu sähköinen energia mekaaniseksi työksi. Mitä lähempänä ykköstä hyötysuhteen

arvo on, sitä tehokkaammin moottori muuttaa sähköenergian mekaaniseksi energiaksi. (Hietalahti 2012, 28 – 29.)

Sähköenergia, joka ei muutu mekaaniseksi energiaksi, tuottaa moottoriin erilaisia häviöitä, jotka lämmittävät itse moottoria. Oikosulkumoottoreilla häviöt ja hyötysuhde on suhteellisen vakio pienillä jättämällä, mutta ei käynnistyksen tai säädetyn käytön yhteydessä, jos käytetään muuttuvia nopeuksia. (Hietalahti 2012, 29.)

### 3.1.2 Taajuusmuuttajat

Perinteinen ratkaisu sähkökäytön säädetyn moottorin ohjaukseen on taajuusmuuttaja, joka säätää vain yhtä moottoria. Laitteisto antaa yleensä syöttää sähköenergiaa taajuusmuuttajan kautta moottorille, mutta ei takaisin verkkoon, sillä yleisimmät tekniset ratkaisut mahdollistavat vain tehon virtauksen verkosta jännitevälipiiriin. (Hietalahti 2012, 38.)

Suunnittelu ja valinta taajuusmuuttajan suhteen on yksinkertaista, jos kuormitus on tasainen, eikä sisällä kuormituspiikkejä. Mitoitus voidaan tehdä tällöin suoraan verkkojännitteen, tehovaatimusten ja momenttivaatimusten perusteella. Taajuusmuuttajan mitoituksessa teho, jota tarkoitetaan, on akseliteho, joka moottorin tulee tuottaa. (Hietalahti 2012, 39.)

Vaihtelevan kuormituksen tapauksessa taajuusmuuttajan mitoittamien on vaikeampaa. Mitoituksen perusteena tulee käyttää vastaavan moottorin virta-arvoja. Huomioitavaa on, että taajuusmuuttajan ylikuormitettavuus on paljon pienempi kuin oikosulkumoottorin. Tästä johtuen taajuusmuuttajat mitoitetaan yleensä suurimman ylikuormitusvirran perusteella, sillä vain osassa taajuusmuuttajia taajuusmuuttajien lyhytaikainen ylikuormitettavuus mitoitetaan esimerkiksi minuutin ajalle 150%:n teholle. (Hietalahti 2012, 39.)

Tällaisia ylikuormitettavia taajuusmuuttajia voidaan esimerkiksi käyttää hyväksi suuren irrotusmomentin ratkaisuissa tai kuorman hidastuksessa ja kiihdytyksessä. Taajuusmuuttajien mitoituksen perusteet liittyvät siis lähes täysin tarvittavan suurimman virran arvoon. (Hietalahti 2012, 39.)

Taulukko 1. Esimerkki Siemens Sinamics tuotesarjan valinnasta (Siemens 2016, 4/8.)

Rated power <sup>1)</sup>		Base-load current $I_L$ <sup>2)</sup>	Base-load current $I_H$ <sup>3)</sup>	Frame size	Version	SINAMICS G120C without line filter	SINAMICS G120C with integrated line filter class A
kW	hp	A	A			Article No.	Article No.
380 ... 480 V 3 AC							
0.55	0.75	1.7	1.3	FSA	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE11-8UB1	6SL3210-1KE11-8AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE11-8UP1	6SL3210-1KE11-8AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE11-8UF1	6SL3210-1KE11-8AF1
					CANopen	6SL3210-1KE11-8UC1	6SL3210-1KE11-8AC1
0.75	1	2.2	1.7	FSA	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE12-3UB1	6SL3210-1KE12-3AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE12-3UP1	6SL3210-1KE12-3AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE12-3UF1	6SL3210-1KE12-3AF1
					CANopen	6SL3210-1KE12-3UC1	6SL3210-1KE12-3AC1
1.1	1.5	3.1	2.2	FSA	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE13-2UB1	6SL3210-1KE13-2AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE13-2UP1	6SL3210-1KE13-2AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE13-2UF1	6SL3210-1KE13-2AF1
					CANopen	6SL3210-1KE13-2UC1	6SL3210-1KE13-2AC1
1.5	2	4.1	3.1	FSA	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE14-3UB1	6SL3210-1KE14-3AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE14-3UP1	6SL3210-1KE14-3AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE14-3UF1	6SL3210-1KE14-3AF1
					CANopen	6SL3210-1KE14-3UC1	6SL3210-1KE14-3AC1
2.2	3	5.6	4.1	FSA	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE15-8UB1	6SL3210-1KE15-8AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE15-8UP1	6SL3210-1KE15-8AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE15-8UF1	6SL3210-1KE15-8AF1
					CANopen	6SL3210-1KE15-8UC1	6SL3210-1KE15-8AC1
3	4	7.3	5.6	FSA	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE17-5UB1	6SL3210-1KE17-5AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE17-5UP1	6SL3210-1KE17-5AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE17-5UF1	6SL3210-1KE17-5AF1
					CANopen	6SL3210-1KE17-5UC1	6SL3210-1KE17-5AC1
4	5	8.8	7.3	FSA	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE18-8UB1	6SL3210-1KE18-8AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE18-8UP1	6SL3210-1KE18-8AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE18-8UF1	6SL3210-1KE18-8AF1
					CANopen	6SL3210-1KE18-8UC1	6SL3210-1KE18-8AC1
5.5	7.5	12.5	8.8	FSB	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE21-3UB1	6SL3210-1KE21-3AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE21-3UP1	6SL3210-1KE21-3AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE21-3UF1	6SL3210-1KE21-3AF1
					CANopen	6SL3210-1KE21-3UC1	6SL3210-1KE21-3AC1
7.5	10	16.5	12.5	FSB	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE21-7UB1	6SL3210-1KE21-7AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE21-7UP1	6SL3210-1KE21-7AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE21-7UF1	6SL3210-1KE21-7AF1
					CANopen	6SL3210-1KE21-7UC1	6SL3210-1KE21-7AC1
11	15	25	16.5	FSC	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE22-6UB1	6SL3210-1KE22-6AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE22-6UP1	6SL3210-1KE22-6AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE22-6UF1	6SL3210-1KE22-6AF1
					CANopen	6SL3210-1KE22-6UC1	6SL3210-1KE22-6AC1
15	20	31	25	FSC	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE23-2UB1	6SL3210-1KE23-2AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE23-2UP1	6SL3210-1KE23-2AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE23-2UF1	6SL3210-1KE23-2AF1
					CANopen	6SL3210-1KE23-2UC1	6SL3210-1KE23-2AC1
18.5	25	37	31	FSC	USS, Modbus RTU	6SL3210-1KE23-8UB1	6SL3210-1KE23-8AB1
					PROFIBUS DP	6SL3210-1KE23-8UP1	6SL3210-1KE23-8AP1
					PROFINET, EtherNet/IP	6SL3210-1KE23-8UF1	6SL3210-1KE23-8AF1
					CANopen	6SL3210-1KE23-8UC1	6SL3210-1KE23-8AC1

<sup>1)</sup> The rated power of the device based on the rated output current  $I_L$  and a rated input voltage of 400 V 3 AC. The rated power is specified on the device rating plate.

<sup>2)</sup> The base-load current  $I_L$  is based on the duty cycle for low overload (LO). The current value is specified on the device rating plate.

<sup>3)</sup> The base-load current  $I_H$  is based on the duty cycle for high overload (HO). The current value is not specified on the device rating plate.

Mitoituksen avuksi monilla taajuusmuuttajien valmistajilla on valmiiksi luotuja taulukoita, joissa kuvataan relevantit tiedot, joiden perusteella taajuusmuuttaja valitaan. (Hietalahti 2012, 39) Taulukossa 1 nähdään Siemens Sinamics G120C -sarjan taajuusmuuttajamallisto.

Taajuusmuuttajien hyötysuhteet ovat 92 – 98%:n luokkaa, kun tehot ovat 1 – 400 kW:n välillä. Hyötysuhteeseen vaikuttavat taajuusmuuttajan ottama omateho tuuletusta ja prosessointia varten sekä kuormitus. Häviöt taajuusmuuttajan kuormituksessa ovat riippuvaisia kuormituksen suuruudesta ja kuormituksen tavasta. Vääntö ja pyörimisnopeus kuormituksessa ratkaisevat kuormituksen aiheuttaman hyötysuhteen muutokset. (Hietalahti 2012, 39 – 40.)

### 3.1.3 Monimoottorikäyttö

Monimoottorikäytössä käytetään useaa moottoria yhtäaikaisesti tuottamaan mekaanista energiaa prosessiin. Yleensä prosessi on kuorman liikutusta joko vertikaalisesti tai horisontaalisesti. Esimerkkejä tällaisista monimoottorikäytöistä ovat suurten massojen nostamiseen tarkoitetut laitteet, sähköajoneuvot ja paperikoneet. (Kokkonen 2007, 34.)

Monen moottorin nostaessa yhtä kiinteää massaa, voidaan moottorit mitoittaa osittaiskuormituksille ja nosto voidaan suorittaa massakeskipisteeseen nähden tasaisesti. Tällöin kuorman käyttäytymistä voidaan säätää tarkemmin, mutta tämä aiheuttaa moottoreille vaatimuksen hyvään säädettävyyden tarkkuuteen. Muotoutuvan kuorman tapauksessa moottoreiden säädöt voivat olla hieman yleispiirteisempiä. (Kokkonen 2007, 34.)

Esimerkiksi ABB ACS 600- ja 800 -sarjassa pystytään määrittämään drooping -parametrilla slavekäyttöjen ja masterkäyttöjen taajuusmuuttajien toimintaa yhteisellä kuormituksella. Taajuusmuuttajista yksi toimii masterkäyttönä ja slavekäytöt seuraavat masterkäytön nopeus- ja vääntömomenttiohjetta. Drooping -parametrilla määritellään käyttöjen toiminta tapauksissa, joissa esimerkiksi vääntömomentti alkaa kasvamaan reilusti muihin käyttöihin nähden. (Kokkonen 2007, 35.)

Monimoottorikäyttöjä voidaan ajaa myös automaation avustamana. Tällöin yksi automaation masterkäyttö ajaa muita slavekäyttöjä. Masterkäyttö ilmoittaa slavekäyttöille halutun nopeus- ja vääntöohjeen, jolla slavekäyttö ohjaa sähkökäyttöä. Slavekäyttö ilmoittaa omien anturiensa tietojen perusteella sähkökäytön toiminnan tilasta ja häiriöistä masterkäytölle, joka korjaa muiden sähkökäyttöjen toimintaa tasapainottamaan prosessin toimintaa.

### 3.2 Moottorin mitoittaminen

Mitoittaminen tulee tehdä sähkökäyttöön harkiten ja sen tekeminen vaatii käytössä olevan järjestelmän tuntemusta, kuten myös taustatekijöiden, sähkönsyötön, ympäristöolosuhteiden, käytettävän laitteen, moottoreiden ja käyttöjen tuntemista. Mitoituksen onnistuessa hyvin, voidaan saada suuriakin kustannussäästöjä. (Tekninen opas nro 7 2001, 5.)

Sähkökäytön moottorin tehon mitoittaminen tehdään moottorilla olevan kuorman perusteella. Moottorin mekaaninen teho nopeuden funktiona, tarvittava momentti tai vaadittu nopeusalue voivat olla mitoittavia tekijöitä moottorin mitoituksessa. Näiden arvojen muuttaminen muuttaa muiden arvojen suhdetta toisiinsa seuraavan kaavan 7 mukaisesti. (Hietalahti 2013, 94.)

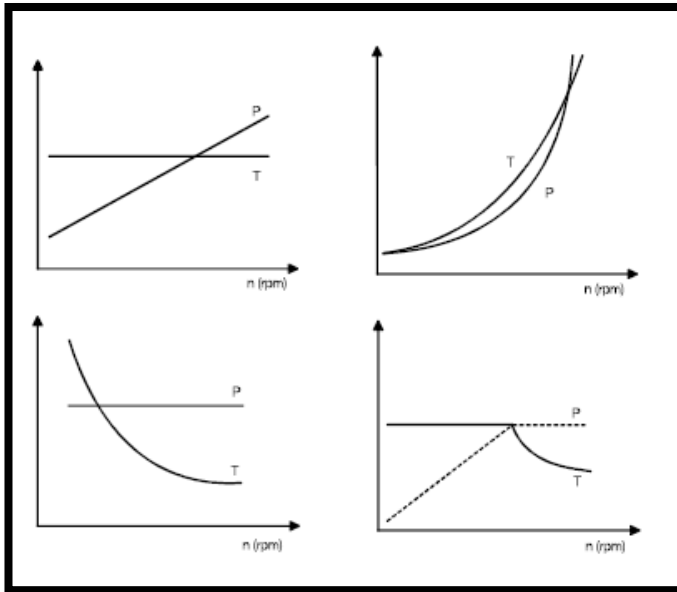
$$T = \frac{P_e}{\omega_m} = \frac{P_e}{2\pi * f_m} = \frac{60}{2\pi} * \frac{P_e}{n} \quad (7)$$

missä

$P_e$	on	Moottorin antoteho
$\omega_m$	on	Akselin mekaaninen kulmapyörimisnopeus
$f_m$	on	Pyörimisnopeus sekunnissa

#### 3.2.1 Kuormitustyypit

Moottoreiden tyypilliset kuormatyyppit teollisuudessa ovat vakiomomentti-, neliöllinen momentti-, vakioteho- ja vakiomomenttikäyttökuormitukset. Näiden käyttöjen kohteita on teollisuudessa paljon ja niitä käytetäänkin eniten. Kun tiedossa on kuormatyyppi, voidaan tämän avulla mitoittaa sähkökäyttö siten, että moottori pystyy tuottamaan vaaditun momentin annetulla nopeudella tai nopeusalueella. (Hietalahti 2013, 94.) Kuviossa 3 nähdään erilaisten kuormitusten tehon ja väännön suhde nopeuteen nähden.



Kuvio 3. Kuormitustyyppikuvaaja: Vakiomomentti, neliöllinen momentti, vakiotehokäyttö ja vakioteho- ja vakiomomenttikäyttö. (Tekninen opas nro 7 2001, 20 - 21.)

Kuormitustyypeille voidaan jaotella erilaisia käyttökohteita, kuten vakiomomenttiin nosturit ja syöttölaitteet, neliölliseen momenttiin puhaltimet ja pumpput, vakiotehokäyttöön rullaimet ja valssaimet sekä vakioteho- ja vakiomomenttikäyttöön paperikonekäytöt, joissa tarpeena saada jatkuva teho ja suuri nopeus. (Hietalahti 2013, 95 – 96.)

### 3.2.2 Nosturisovelluksen moottorin mitoittaminen

Nostimien mitoittaminen tehdään vakiomomentti kuormitustyyppin mukaisesti, nostimen suurimman sallitun kantavuuden mukaan. Moottorin tehon mitoittaminen voidaan tehdä kaavan 8 mukaisesti (Mikkola 2008, 11 – 12.).

$$P = \frac{1}{\eta} * [(m_1 + m_2) * g * v] \quad (8)$$

missä

P	on	tarvittava teho
$\eta$	on	hyötysuhde
$m_1$	on	nostettava nostimen massa
$m_2$	on	kuorman massa
g	on	putoamiskiihtyvyys
v	on	nostonopeus

Tarvittava jatkuva momentti, joka nostossa tarvitaan, voidaan laskea kaavalla 9 (Mikkola 2008, 12.).

$$T = P/\omega = P / \frac{2\pi n}{60} \quad (9)$$

missä

T	on	momentti
P	on	moottorin teho
n	on	moottorin pyörimisnopeus (r/min)

Noston alussa tulee ottaa huomioon kiihtyvyys, jolla haluttu nostonopeus saavutetaan. Dynaamisen momentin kaavalla 10 voidaan laskea kuorman kiihdytyksen vaatima lisämomentti (Mikkola 2008, 12.).

$$T_{dyn} = \frac{1}{\eta} \frac{\omega}{t} [J + (m_1 + m_2) * \left(\frac{v}{\omega}\right)^2] \quad (10)$$

missä

T <sub>dyn</sub>	on	dynaaminen momentti
η	on	hyötysuhde
ω	on	moottorin pyörimisnopeus radiaaneina
t	on	kiihdytysaika
J	on	hitausmomentti
m <sub>1</sub>	on	nostettava nostimen massa
m <sub>2</sub>	on	kuorman massa
v	on	nostonopeus

Nostossa tarvittava kokonaismomentti saadaan näin laskemalla yhteen dynaaminen momentti ja jatkuva momentti, kuten kaavassa 11 kuvataan (Mikkola 2008, 13.).

$$T_{max} = T + T_{dyn} \quad (11)$$

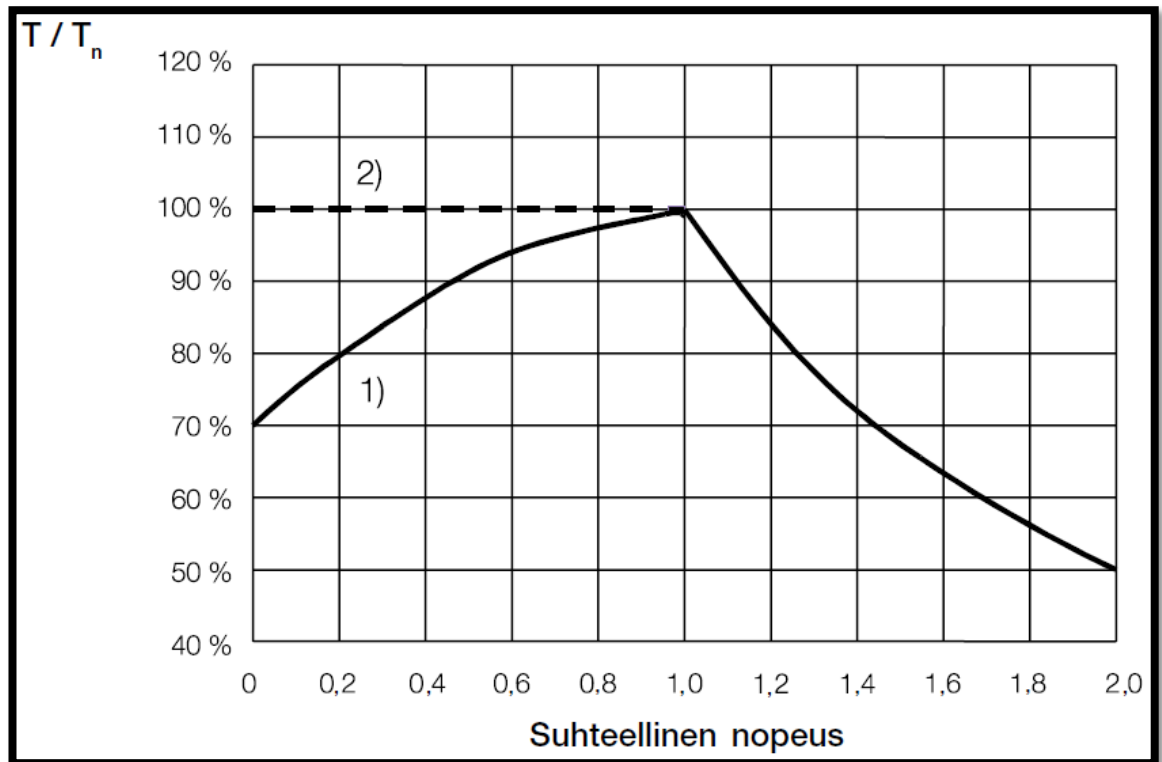
missä

T <sub>max</sub>	on	maksimimomentti
T	on	jatkuva momentti
T <sub>dyn</sub>	on	dynaaminen momentti

### 3.2.3 Moottorin terminen kuormitettavuus

Mitoituksen kannalta tärkeä sähkökäytön ominaisuus on pitkäaikainen maksimikuormitettavuus. Vakio-induktiomootorit jäädyttävät itsensä omalla tuuletinsivellä, joka on liitetty akselin päähän. Tästä johtuen alhaisilla kierrosnopeuksilla ei moottorista voida ottaa täyttä momenttia irti. (Tekninen opas nro 7 2001, 23.)

Taajuusmuuttajakäyttöihin voidaan oikosulkumoottoriin asentaa erillisjäähdytys, jolloin pienilläkin kierroksilla voidaan oikosulkumoottoria käyttää täydellä momentilla. Oikosulkumoottorin kentänheikennysalueella momenttia rajoitetaan terminen ominaisuuksien mukaan. Kuviossa 4 nähdään nopeuden vaikutus käytössä olevaan pitkäaikaiseen kuormitukseen. (Tekninen opas nro 7 2001, 23.)



Kuvio 4. Oikosulkumoottorin kuormitettavuus 1) ilman erillisjäähdytystä ja 2) erillisjäähdytyksellä. (Tekninen opas nro 7 2001, 23.)

Kuviossa 4 kuvataan pitkäaikaista termistä kestävyttä. Oikosulkumoottoria voidaan kuitenkin ylikuormittaa lyhytaikaisesti lähes maksimimomentilla ilman moottorin ylikuumentumista. Moottoreiden lämpeneminen kestää tavallisesti pienillä moottoreilla vähintään 15 minuuttia ja suurilla moottoreilla jopa monia tunteja. Terminen kestävyys tulee siis nopeammin vastaan taajuusmuuttajilla ja muilla komponenteilla. (Tekninen opas nro 7 2001, 23.)

### 3.3 Kaapeleiden ja komponenttien mitoittaminen

Kaapeleiden mitoittamisessa tulee ottaa huomioon kaapelin kuormitettavuus, joka tarkoittaa kaapelin kykyä siirtää virran aiheuttamaa lämpenemää ympäröivään tilaan. Kaapelin kuormitettavuutta eli suurinta lämpenemää ei saa ylittää, jotta kaapeli ei vahingoittuisi liian suuren lämpenemän takia. Kaapeleiden kuormitettavuuteen vaikuttavat itse kaapelin fyysiset ominaisuudet, kuten myös asennustavat, ympäristön lämpötila, muiden virtapiirien läheisyys sekä asennustapa. (Hietalahti 2013, 183.)

Huomioon tulee myös ottaa johdon nimellisjännite, joka määrittää suurimman sallitun jännitteen johdossa. Yleisimmät kiinteään asennuksen jänniteportaat 1000 V:iin ja alle käytettävissä johdoissa ovat 300/500 V, 450/700 V ja 0,6/1,0 kV. Taipuisissa johdoissa yleisimmin käytetyt jänniteportaat ovat 300/300 V, 300/500 V ja 450/750 V. (D1-2012 2013, 187.) Jännitteen ei tule laskea nimellisjännitteestä 5%:ia, tai tulee käyttää johtimia, joissa on suurempi poikkipinta-ala (SFS-EN 60204-1:2018 2018, 71).

SFS-EN 60204-1:2018 standardi määrittää minimipoikkipinta-alat kuparijohtimille sähkölaitteistoissa taulukon 2 mukaan, mutta tästä voidaan poiketa, jos vastaava mekaaninen lujuus pystytään toteuttamaan muilla tavoin. Jos käytetään alumiinijohtimia, tulee poikkipinnan olla vähintään 16 mm<sup>2</sup>. (SFS-EN 60204-1:2018 2018, 70.)

Taulukko 2. Kuparisten johtimien minimipoikkipinnat sähkölaitteistoissa (SFS-EN 60204-1:2018 2018, 70.)

Sijainti	Käyttö	Johtimen tyyppi, kaapeli				
		Yksijohtiminen		Monijohtiminen		
		Taipuisa luokka 5 tai 6	Yksilankainen (luokka 1) tai kerrattu (luokka 2)	Kaksijohtiminen vaipallinen	Kaksijohtiminen ilman vaippaa	Kolmi- tai useampi-johdintiminen vaipalla tai ilman vaippaa
Johdotus (suojaavan) koteloinnin ulkopuolella	Tehopiirit, kiinteät	1,0	1,5	0,75	0,75	0,75
	Tehopiirit, joihin kohdistuu liikettä	1,0	-	0,75	0,75	0,75
	Ohjauspiirit	1,0	1,0	0,2	0,5	0,2
	Tietoliikenne	-	-	-	-	0,08
Johdotus kotelon sisäpuolella <sup>a</sup>	Tehopiirit (liitäntöjä ei liikutella)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
	Ohjauspiirit	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Tietoliikenne	-	-	-	-	0,08
HUOM. Kaikki poikkipinnat mm <sup>2</sup> .						
<sup>a</sup> Lukuun ottamatta yksittäisten standardien erityisvaatimuksia, katso myös <a href="#">12.1</a> .						

Taulukossa 3 nähdään asennustavan vaikutus johtimen jatkuvaan kuormitettavuuteen. Tiedot kuvaavat PVC-eristeisen kuparijohtimen jatkuvan kuormitettavuuden muutosta käytettäessä erilaisia asennustapoja +40 °C:een asennuslämpötilassa. Taulukossa käytetyt esimerkkijohtimet ovat yleisiä koteloitten ja sähkölaitteiston asennukseen käytettyjä johtimia. (SFS-EN 60204-1:2018 2018, 70-71.)

Taulukossa 3 nähtävät asennustavat tarkoittavat seuraavaa (SFS-EN 60204-1:2018 2018, 106.):

- B1 Asennusputkia ja johtokanavajärjestelmiä käytetään suojaamaan ja tukemaan yksijohdinkaapeleita
- B2 B1, mutta monijohdinkaapeleille
- C Ilmassa vapaasti vaakaan tai pystyasentoon seinälle laitettut monijohdinkaapelit. Kaapelien väliin ei ole jätetty tyhjää tilaa.
- E Vapaasti vaaka- tai pystyasentoon ilmaan asennettu monijohdinkaapeli kaapelihyllyllä.

Taulukko 3. PVC-eristeisen kuparijohtimen jatkuvan kuormitettavuuden muutos asennustavasta riippuen (SFS-EN 60204-1:2018 2018, 71.)

Poikkipinta mm <sup>2</sup>	Asennustapa (ks. D.2.2)			
	B1	B2	C	E
	Kuormitettavuus I <sub>2</sub> kolmivaihepiireillä			
	A			
0,75	8,6	8,5	9,8	10,4
1,0	10,3	10,1	11,7	12,4
1,5	13,5	13,1	15,2	16,1
2,5	18,3	17,4	21	22
4	24	23	28	30
6	31	30	36	37
10	44	40	50	52
16	59	54	66	70
25	77	70	84	88
35	96	86	104	110
50	117	103	125	133
70	149	130	160	171
95	180	156	194	207
120	208	179	225	240
	Ohjauksiirien parit			
0,20	4,5	4,3	4,4	4,4
0,5	7,9	7,5	7,5	7,8
0,75	9,5	9,0	9,5	10

HUOM. 1 Taulukon 6 kuormitettavuusarvot perustuvat:  
 — yhteen symmetrisen kolmivaiheisen virtapiiriin poikkipinnaltaan 0,75 mm<sup>2</sup> ja suuremmille johtimille  
 — yhteen ohjauksiirin johdinparin poikkipinnaltaan 0,2...0,75 mm<sup>2</sup> johtimille.  
 Asennettaessa useita kuormitettuja kaapeleita/pareja, taulukon 6 arvoja alennetaan taulukon D.2 tai D.3 mukaisesti.  
 HUOM. 2 Kun ympäristön lämpötila poikkeaa +40 °C:sta kuormitettavuutta korjataan taulukon D.1 arvoilla.  
 HUOM. 3 Nämä arvot eivät päde rummille kelatuille taipuisille kaapeleille (ks. 12.6.3).  
 HUOM. 4 Muiden kaapelien kuormitettavuus, katso IEC 60364-5-52.

Kuormitettavuuteen vaikuttaa myös ympäristön lämpötila, kuten taulukon 3 huomioissa on kirjoitettu. Taulukko 3 on tehty +40 °C:een ympäristölämpötilaa ajatellen, jota voidaan pitää hyvänä suuntaa antavana arvona normaalitiloihin. Jos tiedossa kuitenkin ympäristön lämpeneminen yli +40 °C:een, voidaan kuormitettavuudelle käyttää korjauskertoimia ympäristönlämpötilan nousun johdosta. Taulukossa 4 nähdään kertoimet, jotka ovat käytössä SFS-EN 60204-1:2018 standardissa. (SFS-EN 60204-1:2018, 71,106.)

Taulukko 4. Korjauskertoimet ympäristön lämpötilan noustessa yli +40 °C:een (SFS-EN 60204-1:2018, 106.)

Ympäristön ilman lämpötila °C	Korjauskerroin
40	1,00
45	0,91
50	0,82
55	0,71
60	0,58

HUOM. Korjauskertoimet on johdettu standardista IEC 60364-5-52.  
 Maksimilämpötila normaaliolosuhteissa on PVC:llä 70 °C.

Muiden virtapiirien asentaminen samaan tilaan aiheuttaa lämpökuormaa johtimiin. Johtimien ryhmittely tulee ottaa huomioon kuormitettavuutta suunniteltaessa, ja arvioitaessa kuormitettavuuden muutosta johtotien johtimissa tulee käyttää taulukon 5 mukaisia kertoimia. Jos johtimen mitoitusvirta on alle 30% kuormitettavuudesta, ei sitä tarvitse huomioida mitoituksessa. (SFS-EN 60204-1:2018 2018, 71,108.)

Taulukko 5. Johtimien ryhmittelyn vaikutus kuormitettavuuteen (SFS-EN 60204-1:2018 2018, 108.)

Asennustapa (ks. kuva D.1) (ks. Huom. 3)		Kuormitettujen piirien/kaapeleiden lukumäärä			
		2	4	6	9
B1	(johtimet tai yksijohdinkaapelit) ja B2 (monijohdinkaapelit)	0,80	0,65	0,57	0,50
C	yksi kerros, ei ilmväliä kaapelien välissä	0,85	0,75	0,72	0,70
E	yksi kerros rei'itetyllä hyllyllä, ei ilmväliä kaapelien välissä	0,88	0,77	0,73	0,72
E	kuten edellä, mutta 2...3 hyllyä, hyllyjen välinen pystysuora etäisyys 300 mm (ks. Huom. 4)	0,86	0,76	0,71	0,66
Ohjauspiirien parit $\leq 0,5\text{mm}^2$ riippumatta asennustavasta		0,76	0,57	0,48	0,40
HUOM. 1 Näitä kertoimia käytetään					
— kaapeleille, kaikki samalla tavalla kuormitettuja, piiri kuormitettu symmetrisesti					
— eristettyjen johtimien tai kaapelien virtapiirien ryhmille, joilla on sama sallittu suurin käyttölämpötila.					
HUOM. 2 Samoja kertoimia käytetään					
— kahden tai kolmen yksijohdinkaapelien ryhmille					
— monijohdinkaapeleille.					
HUOM. 3 Kertoimet on johdettu standardista IEC 60364-5-52:2009.					
HUOM. 4 Rei'itetyssä kaapelihyllyssä reikien ala on vähintään 30 % hyllyn pohjan pinta-alasta (Johdettu standardista IEC 60364-5-52:2009).					

Johdot, komponentit ja moottori tulee suojata ylivirralla, jotta ylikuormitus ei lämmitä komponentteja ja johtoja liikaa ja aiheuta vika- ja vaaratilanteita. Esimerkiksi ylivirralla pystytään suojautumaan ylikuormitusreleellä eli lämpöreleellä oikosulkumoottorikäytössä. (Hietalahti 2013, 163.) Asettelu tulee olla seuraavan mukainen:

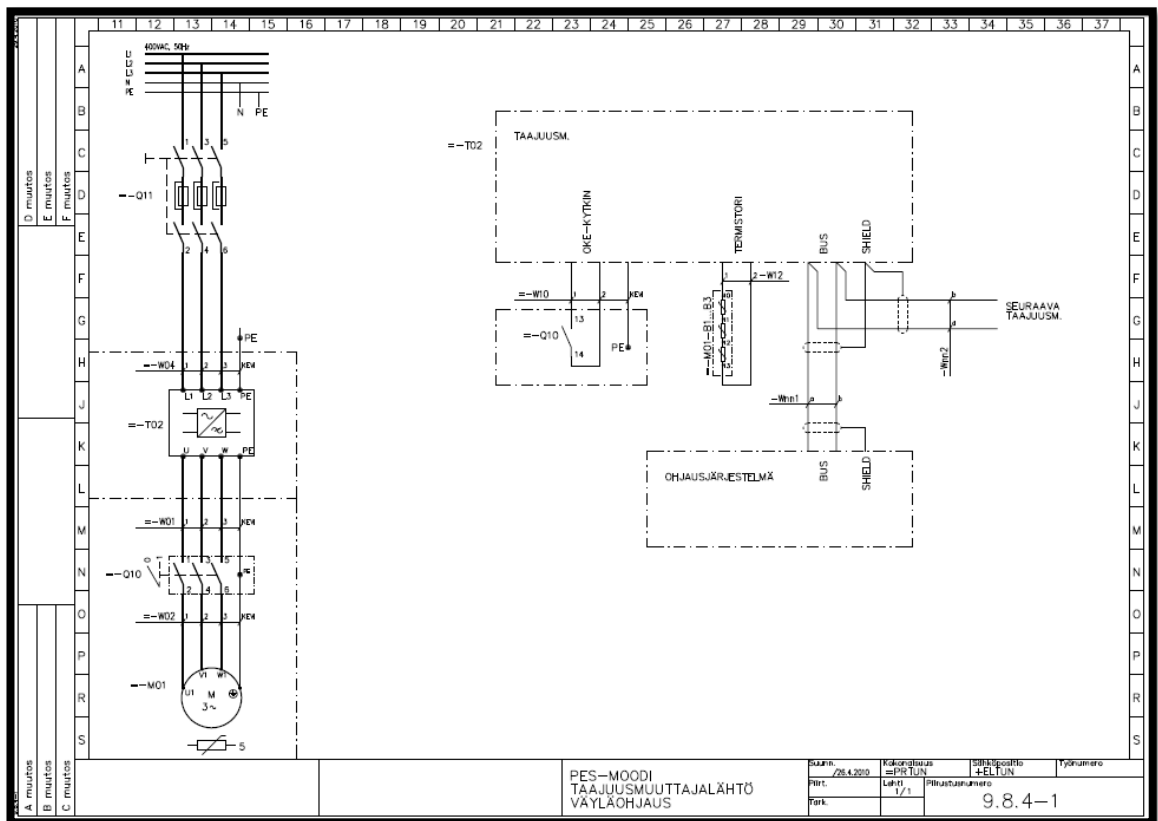
$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (12)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_z \quad (13)$$

missä

$I_b$	on	Virtapiiriin suunniteltu virta
$I_z$	on	Kaapelin jatkuva kuormitettavuus
$I_n$	on	Suojalaitteen mitoitusvirta
$I_2$	on	Pienin virta, jolla suojalaite toimii halutusti.

Muut komponentit sähkökäytön päävirtapiiriin ovat minimissään oikosulkusuoja, käynnistinkontaktori ja ylikuormitussuoja. Ohjauspuolella käytetään 230 VAC tai 24 VDC ohjausjännitettä ja sähkökäytöstä riippuen laitteistossa voi olla käynnistimenä erilaisia automaattioratkaisuita. (SFS-käsikirja 16, 63 – 64.) 24 V:n ohjausjännite voidaan tuottaa esim. erillisellä ohjausjännitemuuntajalla. Kuviossa 5 nähdään SFS-käsikirja 16:sta minimikalustuksella oleva taajuusmuuttajalähtö väyläohjauksella varustettuna.



Kuvio 5. Taajuusmuuttajalähtö väyläohjauksella esimerkkikalustus (SFS-käsikirja 16 2017, 128.)

Vikatilanteiden sattuessa sähkölaitteistossa tulee oikosulkusuojauksen toimia nopeasti ja virheettää. Moottorikäytöissä pitkäaikaiset ylikuormitukset, moottorien käynnistymiset, moottorin oikosulun aiheuttamat virtapiikit tai muuntajan virtasysäykset eivät saa laukaista oikosulkusuojausta. Yleisimpiä vikavirtasuojaukseen käytettyjä suojalaitteita ovat sulakkeet, jotka toimivat hyvin pienjännitteellä. (Hietalahti 2013, 177.)

Sulakkeilla on pienjännitteillä erittäin hyvä oikosulkuvirtaa rajoittava vaikutus. Tämä tarkoittaa kykyä rajoittaa oikosulkuvirtaa kasvamasta ennen oikosulun katkaisutilannetta. Ominaisuus perustuu sulakkeen sisällä syntyvän valokaaren suureen resistanssiin. (Hietalahti 2013, 177.)

Jos kaapelia ja laitteistoa suojaa vain sulake, tulee se mitoittaa kaapelin kuormitettavuuden mukaan. Käytettäessä ylikuormitussuojausta, voidaan sulakkeet määrittää toimimaan vain oikosulkusuojauksessa. Tällöin voidaan määrittää sulakekoko johtimen poikkipinta-alan mukaan tai muiden komponenttien valmistajien määrittämiin sulakekokoihin. (Hietalahti 2013, 177.)

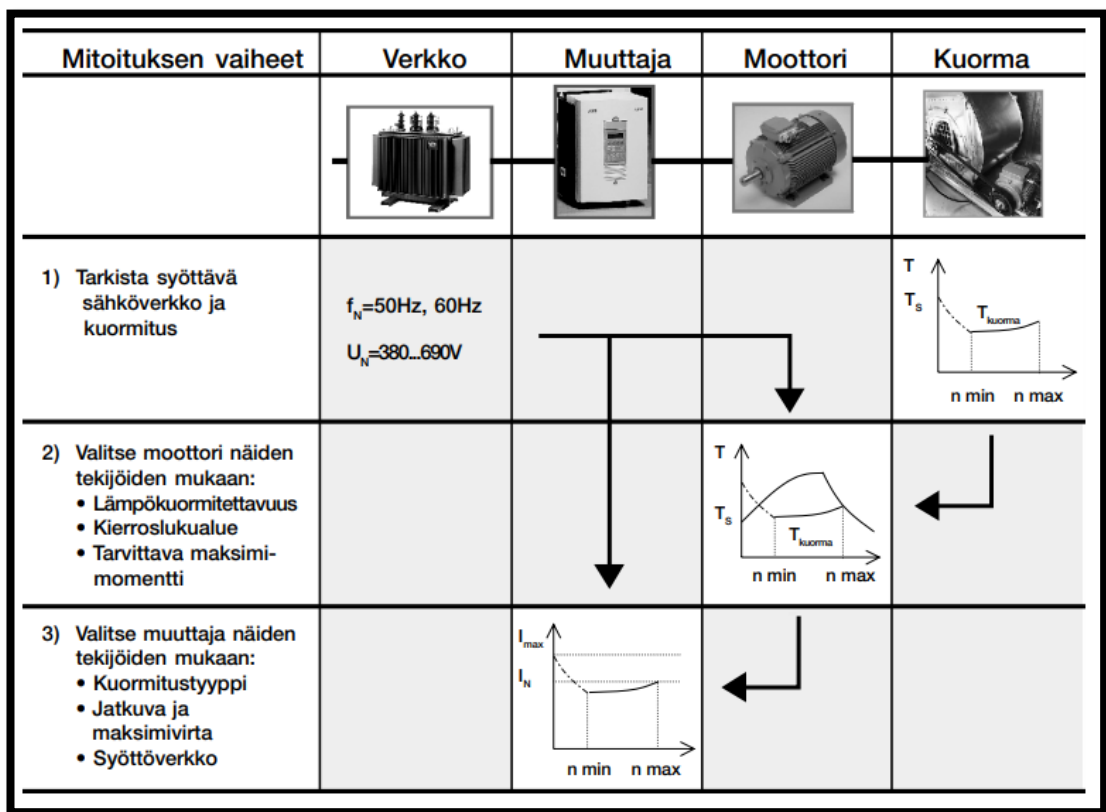
Tehon ohjauksessa teollisuudessa käytetään kontaktoreita. Kontaktori on kytkin, joka on toiminnallisesti samanlainen kuin rele, mutta eroavaisuus löytyy yleensä koko- ja virrankestoluokassa. Kontaktorit on tarkoitettu kytkinlaitteiksi päävirtapiireihin sähkölaitteissa ja releet ohjauspiirin puolelle. Tärkeitä tietoja kontaktoria valittaessa ovat käyttötapaluokka, esimerkiksi AC-3 ja tehonkestotarve. (Hietalahti 2013, 172-173.)

Käyttäjien ohjaamia kytkimiä lähdössä ovat pääkojeen pääkatkaisija ja moottorin turvakytkin. Pääkatkaisijaksi pienivirtaisiin moottorilähtöihin voidaan käyttää kuormakytintä ja turvakytkimenä voidaan käyttää hyväksytyjä turvakytkimiä. Kytkimiä valittaessa tulee ottaa huomioon käytössä oleva jännite- ja virtakestoisuus.

#### 4 MONIPILARINOSTIMEN SÄHKÖISTYS

Sähköistys jaetaan monipilarinostimien tapauksessa pilarikohtaisiksi, sillä kaikki pilarit ovat omia sähkökäyttöjään. Tällöin voidaan suunnitella yksi pilari ja muut ovat joko tämän kopiota tai yksi pilari toimii master -pilarina, joka säätää muiden pilarien toimintaa.

Kuviossa 6 nähdään yleiskuvaus, miten eri sähkökäytön tekijät vaikuttavat suunnitteluun ja sähkömoottorin valintaan momenttitarpeeseen perustuen.



Kuvio 6. Mitoituksen vaiheiden periaatekuva (Tekninen opas nro 7 2001, 8.)

Yleiskuvaus sähkökäytön momenttitarpeen mitoituksesta on seuraavanlainen:

1. Toimintaolosuhteiden tarkistaminen eli verkkojännite ja taajuus
2. Prosessin vaatimusten määrittely ja reunaehtojen luominen
3. Moottorin valinta momenttilähteeksi kuorman perusteella
4. Taajuusmuuttajan valinta moottorivirran perusteella

## 5. Kalustuksen valinta perustuen moottorin virtoihin ja taajuusmuuttajaan

### 4.1 Moottorin ja vaihteen mitoitus kuorman perusteella

Sähkömoottorikäytön mitoitus perustuu täysin moottorin kuormitukseen, kuormatyyppiin ja käyttötapaan. Opinnäytetyössä käsiteltävä nostin toimii vakiomomentilla ja siihen käytetään kuormatyyppinä vakiomomenttikäyttöä. Käyttöolosuhteet ovat normaalit sekä käytössä on 230/400 V:n jännitteet 50 Hz:n taajuudella.

Käytettäessä 4-pilarin yhdistelmää nostamaan maksimissaan 24 tn tasaista kuormaa, esimerkiksi raskastakalustoa, yhden pilarin tulee pystyä nostamaan vähintään 6 tn. Nostokorkeus määritetään esimerkiksi 1700 mm, nostonopeus on 4 mm/s ja mutterin kitkakertoimena pidetään 0,2, joka on yleisesti käytetty arvo. Kuviossa 7 nähdään näillä arvoilla laskettu tehon ja nopeuden tarve moottorille.

$$Md = \frac{F \cdot p}{2000\pi \cdot \eta_s} \cdot n$$

Desimaalierottimena tulee käyttää pistettä (.)

Haluttu lineaarivoima (F)	<input type="text" value="60000"/>	N
Haluttu nopeus (v)	<input type="text" value="4"/>	mm/s
Kierteen nousu (p)	<input type="text" value="7"/>	mm
Hyötysuhde	<input type="text" value="0.2"/>	
<input type="button" value="Laske"/> <input type="button" value="Tyhjennä"/>		
Tarvittava vääntömomentti (Md)	<input type="text" value="334.23"/>	Nm
Ruuvien pyörimisnopeus (n)	<input type="text" value="34.29"/>	1/min
	<input type="text" value="0.57"/>	1/s
<p style="color: red;">Muistathan tarkistaa, ettei kriittinen pyörimisnopeus ylity!</p>		
Tarvittava teho ruuvilla (P2)	<input type="text" value="1.20"/>	kW
<p style="color: red;">(voimansiirron hyötysuhdetta ei huomoitu)</p>		

Kuvio 7. Tehon, vääntömomentin ja nopeuden tarve (Oy Mekanex Ab 2019)

Vääntömomentin tulee tällöin olla yli 335 Nm, pyörimisnopeuden noin 35 1/min ja tehon ruuvilla 1.2 kW, jotta teho riittää noston suorittamiseen. Käytetään tavallisimmin käytettyjä sähkömoottoreita ja liitetään ruuvi sähkömoottoriin vaihteen välityksellä. Teho on laskettu kaavalla 4.

Jotta pyörimisnopeus ja vääntömomentti saadaan moottorilta oikeaksi, tulee asentaa vaihde moottorin ja prosessin väliin. Tämä voidaan laskea alla olevan kaavan mukaan, kun oletetaan että vaihteen hyötysuhde on 0,95 sekä käytettävä moottori on pyörimisnopeudeltaan 1500 1/min. Moottorin antotehossa tulee myös huomioida 1500/34,28 1/min vaihteen 0,95 hyötysuhde, jolloin tehon tarpeeksi tulee 1,26 kW.  $T_1$  on laskettu suhteellisuuden avulla, sillä  $P_1 = \eta * P_2$  vaihteen muuntaessa tuotetun energian pyörimisnopeudesta vääntömomentiksi.

$$T_1 = \frac{T_2}{\eta} * \frac{n_2}{n_1} = \frac{334,23}{0,95} * \frac{34,28}{1500} = 8,04 \text{ Nm}$$

Vaihteen suhteeksi tulee tällöin 43,75. Sijoitettaessa 1,5 kW:n ja 1500 1/min:n arvot kaavaan 3 saadaan tulokseksi 9,55 Nm, joka riittää prosessin vaatimuksiin suoraikäyttönä. Vaadittu 8,04 Nm:n vääntömomenttivaade on lähellä 9,55 Nm:n huippumomenttia. Laitteiston nimellisen nostokapasiteetin ollessa 6 tn, ovat laitteiston maksimirajat lähellä.



#### 4.2 Lähdön kalustus ja johdatus moottorin mitoituksen perusteella

Moottorilähtö voidaan kalustaa eri tavoin tarpeen mukaan. Kalustus voidaan tehdä itse valitsemalla kaikki komponentit erikseen, mutta tällöin pitää ottaa huomioon moottorin ominaisuudet ja eri virtojen, kuten käynnistysvirran, nimellisvirran ja oikosulkuvirran vaikutukset valintoihin. Varmin tapa on hankkia kalustus yhdeltä toimittajalta, jolloin vikatapauksissa voidaan kääntyä yhden valmistajan puoleen.

Moottorit ABB					Keskuksen kojeet						Sulake	
P	In / [A] 400V 50Hz /				Kontak-	Lämpörele					Kytkin-	OFA_
	Moottorin kierr. [r/min]				tori-		Asettelualue / Moottorin kierr. [r/min]				varoke <sup>2)</sup>	[A]
[kW]	750	1000	1500	3000	tyyppi <sup>2)</sup>	Tyyppi	750	1000	1500	3000		
0,09	0,53	-	-	-	A9	TA25TU	0,4-0,63	-	-	-	OS 32D12	2aM
0,12	0,63	0,59	-	-			0,4-0,63	0,4-0,63	-	-		2aM
0,18	0,9	0,75	0,72	-			0,63-1,0	0,63-1,0	0,63-1,0	-		2aM
0,25	1,18	0,92	0,83	0,7			1,0-1,4	0,63-1,0	0,63-1,0	0,63-1,0		2aM
0,37	1,6	1,25	1,12	0,93			1,3-1,8	1,0-1,4	1,0-1,4	0,63-1,0		2aM
0,55	2,4	1,78	1,45	1,33			1,7-2,4	1,3-1,8	1,3-1,8	1,0-1,4		2aM
0,75	2,7	2,4	1,9	1,7			2,2-3,1	1,7-2,4	1,7-2,4	1,3-1,8		4aM
1,1	3,35	3,3	2,55	2,4			2,8-4,0	2,8-4,0	2,2-3,1	2,2-3,1		4aM
1,5	4,5	4,1	3,4	3,3			3,5-5,0	2,8-4,0	2,8-4,0	2,8-4,0		6aM

Kuvio 8. ABB:n taulukko kojeiden valinnalle osa 1. (Sähkömiehen käsikirja 2016, 4.)

Kuviossa 8 näkyy 1,5 kW:n moottorin kalustuksen sisältö ABB:n komponenteilla, kun käytetään suoraa moottorilähtöä. 1,5 kW:n kolmivaihemoottorin kontaktori A9, lämpörele TA25TU ja asettelualue, kytkinvaroke OS 32D12 sekä sulake 6 aM. Alla olevassa kuviossa 9 nähdään taulukon loppuosa, josta voidaan valita kaapelin mitoitus ja turvakytkin.

Kaapeli			Turvakytkin <sup>2)</sup>	
MCMK <sup>2)</sup>	AMCMK <sup>2)</sup> *AXCMK	[m] <sup>1)</sup>		
3X1,5+1,5			OTP16T3M	OTP16T3M
		370		
		270		
		210		
		140		
3X2,5+2,5		180		

Kuvio 9. ABB:n taulukko kojeiden valinnalle osa 2. (Sähkömiehen käsikirja 2016, 5.)

Lisäksi johdotuksessa tulee ottaa huomioon johtojen sijoittaminen keskenään. Kappaleen 3.3 ehdot tulee tarkistaa johtojen asentamisessa ja huomioida tarpeen mukaan. Jos käytetään taajuusmuuttajaa, tulee käyttää MMCMK tai vastaavia suojattuja johtoja sekä EMC-nippoja läpivienneissä, jotta EMC-suojaus pystytään toteuttamaan laadukkaasti. Taajuusmuuttajakäytössä kalustusta voidaan riisua ja nousujohtot voidaan suojata esimerkiksi SACE S3 250 kuormakyt-kimellä.

#### 4.3 Taajuusmuuttajan valinta ja konfigurointi

Taajuusmuuttaja valitaan moottorin virtojen mukaan. Tässä tapauksessa on valittu 1,5 kW:n moottori, joten valitaan taajuusmuuttajien toimittajilta soveltuva tuote. Taulukossa 1 Siemens Sinamics G120C -sarjan tuotteista voitaisiin valita Sinamics G120C 6SL3210-1KE14-xxxx, joka pystyy syöttämään moottorin tarvitseman virran.

Taajuusmuuttaja konfiguroidaan asennetun moottorin mukaan ja siihen määritetään vakiomomenttikäyttö. Taajuusmuuttajan käyttäminen ei ole pakollista, mutta sen avulla pystytään nostoa ajamaan tarkemmin ja prosesseissa, joissa tarkkuus on vaatimus, taajuusmuuttajien käyttö on järkevää.

Nostettaessa raskasta kalustoa 4-pilarisella nostolaitteistolla, ei ole tarvetta käyttää taajuusmuuttajia noston ohjaamiseen, vaan voidaan käyttää erilaisia moottorinkäynnistimiä lisäominaisuuksilla, esimerkiksi Siemens Sirius -sarjan tuotteita, joista esimerkki liitteessä 1.

#### 4.4 Taloudellinen tarkastelu ja mitoittaminen

Oikosulkumoottorin hankinnassa huomioidaan moottoreiden energiatehokkuus. Jatkuvässä käytössä olevaksi oikosulkumoottoriksi on taloudellisista syistä järkevää hankkia hyvän hyötysuhteen moottori. Hyvän hyötysuhteen moottorit maksavat yleensä enemmän, mutta tuottavat säästöjä elinkaarensa aikana hyvän hyötysuhteensa takia. (Hietalahti 2013, 29.) Energiatehokkuuden hyödyt tulevat jatkuvassa käytössä nopeasti esille, mutta nostinkäytössä energiatehokkuus ei ole

merkitsevä asia. Sähkökäyttö toimii hetkellisesti nostaen kuormaa ja tämän jälkeä nostin on staattisessa tilassa, eikä tehon kulutusta ole.

Jaksottainen käyttö nostinsovelluksessa antaa mahdollisuuden käyttää sähkömoottoria ylikuormitettuna. Tyyppikilven mukaista S1 käyttöä vastaava nimellisteho kerrotaan S3 käytössä, eli 10 minuutin kuormitusjakson aikana, esim. 1,3 jos nostin on käytössä 25% 10 minuutin jaksosta. (Hietalahti 2013, 20 – 21.) Tällöin voidaan mitoittamisessa olettaa vaatimuksen ja moottorikoon ollessa hyvin lähellä, että turvamarginaali on tarpeeksi suuri sähkömoottorin käyttötavan vuoksi.

Sähkömoottorin vääntömomentti on suhteessa roottorin säteeseen ja pituuteen ja tämän takia on usein järkevää käyttää yksinkertaista ja pyörimisnopeudeltaan nopeaa sähkömoottoria hitaan työkoneen pyörittämiseen (Hietalahti 2012, 21 – 22). Sähkömoottorin ja työkoneen väliin asennetaan vaihde, jonka avulla pystytään nostamaan vääntömomenttia ja pienentämään kierrosnopeutta (Hietalahti 2012, 8 – 9).

Sähkömoottoreiden hinnat nousevat momentin ja koon kasvaessa, jolloin taloudellisin vaihtoehto on yleensä pienin soveltuva moottori (Hietalahti 2012, 22).

#### 4.5 Koneturvallisuuden huomioiminen

Konelaki eli oikealta nimeltään laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta, ohjaa valmistajan suunnittelu- ja valmistustyötapoja tekniselle laitteelle, jotta se soveltuu ominaisuuksiltaan työkoneeksi. Konelakia vielä tarkennetaan asetuksella koneiden turvallisuudesta, joka tunnetaan koneturvallisuuden parissa nimityksellä koneasetus. Koneturvallisuuden suunnittelun kokonaisuuteen kuuluu myös työturvallisuuslaki ja työsopimuslaki, joiden vaatimukset vaikuttavat myös koneturvallisuuteen. (Siirilä & Tytykoski 2016, 30 – 31.) Koneasetusta tarkennetaan vielä erikoissäädöksillä niiden toiminnan mukaisesti. Esimerkiksi sähköllä toimivia koneita säätelee vielä lisäksi pienjännitedirektiivi ja elektromagneettista yhteensopivuutta (EMC) käsittelevät direktiivit. (Siirilä & Tytykoski 2016, 48 – 49.)

Koneasetusta sovelletaan hyvin laajaan valikoimaan erilaisia koneita ja laitteita, joita ei normaalikielenkäytössä ajatella edes koneiksi. Esimerkkeinä koneasetuksen sovelluslaitteista ovat koneet, vaihdettavat laitteet, turvakomponentit, nostoapuvälineet, nostoköydet ja osittain valmiit koneet. (Siirilä & Tytykoski 2016, 34 – 35.) Kirjo on siis laaja ja esim. autojen ja kuljetusvälineiden nostoon tarkoitettut laitteet kuuluvat asetuksen pariin.

Monipilarinostimen sähköistyksessä ja suunnittelussa vastaan tulevat koneturvallisuuteen vaikuttavat tekijät ovat ohjauksen sijoittaminen nostinpilareihin, sähköisen turvallisuuden huomioiminen pilarin ohjauskeskuksella, ohjauskeskuksen nappien vaatimuksenmukaisuuden huomioiminen, moottorijohtojen ja anturijohtojen sijoittaminen ja mitoitus, anturien käyttötapojen mukainen valinta (turva-anturi vai tavallinen), kalustuksen oikea mitoitus, turvakomponenttien käyttö vaadituissa paikoissa, laitteen koekäyttö ja sähköinen tarkastus ja dokumentointi.

Seuraavassa on lueteltu eräitä direktiivejä, standardeja ja standardikokoelmia, jotka on huomioitava monipilarinostimen suunnittelussa ja toteutuksessa sähkötekniikan puolesta:

- **Konedirektiivi 2006/42/EY**

Otettu käyttöön Suomessa asetuksena koneiden turvallisuudesta VNa 400/2008 eli koneasetuksena.

- **SFS-EN 60204-Koneturvallisuus**

Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: yleiset vaatimukset.

- **SFS-EN 60529 + A1**

Sähkölaitteiden kotelointiluokat eli IP-koodit ja perusteet.

- **SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset**

Esittää vaatimuksia ja ohjeita erilaisiin sähköasennuksiin.

- **SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus**

Asettaa vaatimukset sähkölaitteistojen käyttöön ja niiden läheisyydessä toimimiseen turvallisesti.

- **SFS-EN 13135 Nosturit**

Tämä C-typin standardi määrittelee erityisvaatimuksia nostureiden suunnitteluun ja sähkölaitteistoon tavoitteena suojata henkilöstöä vaaratekijöiltä.

Seuraavassa on lueteltuna teknisiä raportteja ja muita julkaisuja, joissa käsitellään koneturvallisuuteen liittyviä sähköisiä ratkaisuja

- *IEC/TR 62513* Koneturvallisuus. Suuntaviivat tietoliikennejärjestelmien käyttämiseen turvallisuuteen liittyvissä sovelluksissa.
- *SFS 5974* Opastusta standardien ISO 13849-1 ja IEC 62061 soveltamiseksi koneen turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien suunnittelussa.

## 5 MONIPILARINOSTIMEN AUTOMAATIO

Monipilarinostimia voidaan käyttää suoraan ohjauspiirin ohjatessa kontaktoreita, jolloin perinteinen sähkötekniikan releiden ja kytkimien sijoittelu ratkaisee, miten monipilarinostimet toimivat. Tällöin ei kuitenkaan pystytä vaikuttamaan nostoon kovinkaan paljoa, vaan noston aikana esimerkiksi eri pilarit voivat nostaa kuormaa eri nopeudella kuormituksesta riippuen.

Automaation avulla voidaan tuottaa kuitenkin nostotapahtuman aikana paljon erilaista informaatiota antureiden ja erilaisten lisälaitteiden avulla. Anturit voivat hyvin yksinkertaisilla ratkaisuilla mitata nostimen siirtymää ja ohjata eri nostimia toimimaan hitaammin tai nopeammin kuin muut nostimet. Taajuusmuuttajien avulla nostoa pystytään hallitsemaan antureiden antamien tietojen perusteella sekä nykyaikaisissa taajuusmuuttajissa on itsessään ylivirtasuojaus, jolloin päävirtapiirissä ei tarvita erillistä lämpörelettä.

Aiemmin ohjauspiiriin on täytynyt kytkeä hätäseis -piirit ja muut ohjaukseen liittyvät anturit, jolloin ohjauspiirin koko on voinut muuttua hyvinkin suureksi ja sen johdatuksesta on tullut vaikeasti käsitettävä kokonsa puolesta. Nykyaikaiset väyläratkaisut, kuten profinet, helpottavat laitteiden liittämistä automaatioon ja johtojen määrää voidaan vähentää yhteisen väylän avulla sekä tuottaa laitteiden ohjaamiseen vaadittavat ohjaussignaalit keskitetysti.

Automaatiolla ja sen tuottamalla digitaalisella informaatiolla voidaan myös helposti tuottaa erilaisia HMI:tä (käyttöliittymiä), ohjauksia ja turvaominaisuuksia. Perinteinen sähköistys ei anna mahdollisuuksia käyttää muita kuin mekaanisia kytkimiä, mutta automaation avulla pystytään tekemään interaktiivisia ohjauspaineeleita, joiden kautta pystytään myös näkemään prosessin tilaa.

Erilaisia antureiden tuottamiin tietoihin perustuvia ohjauksia pystytään tuottamaan automaation avulla, jolloin esimerkiksi kappaleen lähestyessä ääriasentoon voidaan prosessin nopeutta hidastaa ennen kappaleen saapumista ääripisteeseensä. Myös erilaisten turvaominaisuuksien tuottaminen onnistuu automaatiolla. Tällöin tulee kuitenkin käyttää turva-antureita ja turva-automaation sovelluksia, jotta pystytään säilyttämään turvaominaisuuksille vaadittu toimintavarmuus.

## 5.1 Automaatiojärjestelmän toteutus monipilarijärjestelmälle

Automaatiojärjestelmä voidaan toteuttaa monipilarijärjestelmillä erilaisilla ratkaisumalleilla, kuten perinteisellä I/O -liitynnällä, jolloin käytetään esim. Harting -liitimiä ja monijohtimisia kaapeleita siirrettäessä automaatio-ohjauksen tarvitsemia signaaleja. Suuremmissä kokonaisuuksissa kuitenkin johtojen määrä kertaantuu nopeasti ja esimerkiksi 8 pilarinen nostin vaatii jo toimintaansa varten hyvin suuren määrän yksittäisiä johtoja.

Monipilarinostimissa väyläratkaisut helpottavat asennusta ja käyttöä huomattavasti, sillä tällöin rikkoutumistapauksissa yhden kaapelin uusiminen riittää ja asennusvaiheessa johtojen kytkeminen vähenee huomattavasti. Väyläratkaisut vähentävät asennus- ja huoltoaikoja, mutta lisäävät komponenttien tarvetta sekä monimutkaistavat automaatio-ohjelman suunnittelua hieman.

Toteutettaessa automaatio-ohjausta, voidaan rakentaa ohjauskeskus pilariin tai erilliseksi ohjauspulpetiksi. Tällöin ohjauskeskuksesta viedään väyläkaapeli kaikille nostinpilareille tai pilarit kytketään sarjaan. Pilareiden väylään liitettävät laitteet, kuten turva-anturit, anturit ja käyttölaitteet, liitetään I/O-liitäntäyksikköön, joka koodaa antureiden tiedot väylään soveltuviksi.

Turva-antureiden liittäminen tulee kuitenkin tehdä niille varatuille paikoille, sillä niiden toiminta tulee olla vaatimusten mukaisella turvallisuuden eheystasolla (SIL tasolla).

## 6 KÄYTTÖÖNOTTO JA DOKUMENTOINTI

Käyttöönnotossa sähkölaitteistoille tulee suorittaa käyttöönottotarkastus, joko valmistumisen jälkeen tai ennen käyttöönottoa. Sähköturvallisuuslain (1135/2016) 43 §:ssä esitetään vaatimukset sähkölaitteistojen käyttöönottotarkastuksille. (SFS-käsikirja 600-1-1 2017, 440.)

Käyttöönottotarkastus on tehtävä siinä laajuudessa, että voidaan todeta sähkölaitteiston vaatimustenmukaisuus ja ettei siitä ole vaaraa tai häiriötä 6 §:n mukaan. Käyttöönottotarkastuksen suorittaa sähkölaitteiston rakentaja ja tämän lainminlyödessä velvollisuuttaan tai ollessa kykenemätön sitä tekemään, tulee laitteen haltijan suorittaa tarkastus. (SFS-käsikirja 600-1-1 2017, 440.)

Käyttöönottotarkastuksesta tulee laatia tarkastuspöytäkirja laitteiston haltijalle, ellei työtä katsota vähäiseksi. Tässäkin tapauksessa sähkölaitteiston rakentajalla tulee olla pyydettyessä testauksen tulokset annettavaksi laitteiston haltijalle. (SFS-käsikirja 600-1-1 2017, 440 – 441.)

Tarkastuspöytäkirjaan tulee merkitä kohteen yksilöintitiedot, sähkötöiden johtaja, sähkölaitteiston rakentaja, yhteystiedot, selvitys sähkölaitteiston määräysten- ja säännöstenmukaisuudesta, laitteistoon sovelletut standardit, poikkeamista sähköturvallisuuslain 34 §:n mukainen selvitys, kuvaus tarkastuksessa käytetyistä menetelmistä ja pöytäkirja tehdyistä tarkastuksista ja tuloksista. Dokumentin allekirjoittaa ammattihenkilö tai muu tarkastuksen pätevä tekijä sekä sähkötöiden johtaja. (SFS-käsikirja 600-1-1 2017, 448.)

Käyttöönottotarkastus sisältää tarkastuksia eri laajuudessa, kohteena olevan sähkölaitteiston mukaan. Laitteistolle suoritetaan jännitteettömänä aistinvarainen tarkastelu, jossa tarkastetaan laitteiston standardinmukaisuus ja käytettyjen komponenttien oikeellisuus sekä sähkölaitteiston kunto. (SFS-käsikirja 600-1-1 2017, 441 – 442.)

Sähkölaitteisto tulee käyttöönottotarkastuksessa myös testata sähköisiltä ominaisuuksiltaan mittauksin. Jännitteettömät mittaukset, jotka suoritetaan, ovat suoja-johtimen jatkuvuuden mittaaminen, asennuksen eristysresistanssin mittaaminen

ja jännitteellisenä tehtävä syötön automaattisen poiskytkennän toiminnan varmistaminen ja toimintatestit eri käyttölaitteille, kuten hätäseislaitteille. (SFS-käsikirja 600-1-1 2017, 447.)

Sähkölaitteiston dokumentointia koskeva vaatimus tulee koneasetuksen liitteessä 7. Siinä määritellään koneen tekninen tiedosto, joka sisältää koneen suunnittelussa, tuotannossa ja testauksessa tuotetut dokumentit ja asiakirjat. Erityisesti sähköisen suunnittelun osalta teknisessä tiedostossa tulee olla sähköiset piirustukset ja kaaviot sekä selitykset ja kuvaukset koneen toiminnasta. Tämän lisäksi siinä tulee käydä ilmi suunnittelussa käytetyt laskelmat, testaustulokset ja todistukset, jotta pystytään toteamaan laitteiston turvallisuus käyttäjälle. Käyttöönottopöytäkirjalla vahvistetaan, että laitteisto on soveltuva asennettavaksi ja käyttöönotettavaksi haltijalla. Sähkölaitteiston sisältämien erikseen hankittujen turvakomponenttien, koneiden tai muiden tuotteiden EY-vaatimustenmukaisuustodistukset tulee sisällyttää tekniseen tiedostoon. (Siirilä & Tytykoski 2016, 111 - 112.)

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyöprojekti oli haasteellinen ja työtä tehdessä huomasin monien opittujen ja uusien asioiden yhdistyvät sähkölaitteistojen suunnittelussa kokonaisuudeksi. Suunnittelun aikana havaitsin, ettei sähkölaitteiston suunnittelu ole järkevää toteuttaa yksittäin, sillä sähkölaitteiston toimintaa ja kokoonpanoa määrittelevät monet standardit ja direktiivit, joiden tuntemus on tarpeellista suunnittelussa.

Suunnittelussa tutustuin erilaisiin komponentteihin ja oikosulkumoottoreihin, joihin en ollut päässyt tutustumaan koulun laboraatioissa ja tämä toi uutta näkökulmaa erilaisiin ratkaisumalleihin, joita voidaan käyttää teollisuudessa. Automaatioväylänä suunniteltu profinet -ratkaisu oli itselleni uusi ja sen johdotus ja suunnitteluperiaatteet olivat mielekästä opiskeltavaa.

Valitettavasti ulkoisten tekijöiden johdosta työtä ei pystytty jatkamaan suunnitellua ja mitoitusta pidemmälle. Tutustuin yrityksen muihin nostintuotteisiin ja niiden sähköistykseen ja ratkaisuihin saadakseni yleiskuvan toteutuksesta ja parhaista käytänteistä.

Työn lopputuloksena saatiin aikaiseksi sähkölaitteiston mitoitus, komponenttien valinta sähköisten ja taloudellisten perusteiden mukaan sekä teknologiaselvitys. Työn lopputuotteita voidaan käyttää muiden nostimien mitoituksessa ja mitoitus-ten tarkistamisessa laskennallisesti.

Työn dokumentoinnin tarkoituksena oli lisäksi miettiä, mitä tulee ottaa huomioon, jos laitteistojen sähköistykseen eri osa-alueita aletaan tuottamaan paikallisesti. Opinnäytetyössä otettiin kantaa erilaisiin näkökohtiin, jotka tulee ottaa huomioon sähkölaitteiston suunnittelussa ja toteutuksessa, jotta sähkölaitteisto täyttää sille määritellyt direktiivit ja standardit.

## LÄHTEET

- Aura, L. & Tonteri, A. 1995. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Helsinki: WSOY:n graafiset laitokset.
- D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2013. 20. painos. Espoo: Sähköinfo Oy.
- Hietalahti, L. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Tampere: AMK kustannus Oy.
- Hietalahti, L. 2012. Säädetty sähkömoottorikäytöt. Tampere: AMK kustannus Oy.
- Kokkonen, J. 2007. Sähkökäytön valintaperiaatteet ja monimoottorikäytöt malmin laaduntasauksessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Diplomityö.
- Melamies, E. 2018. Sodankylässä kaukana rautatiestä valmistuu junannostimia maailman radoille – ”Minua ei saisi Helsingin kupeeseen näitä tekemään”. Lapin Kansa 6.11.2018. Viitattu 18.6.2019 <https://www.lapinkansa.fi/lappi/sodankylassa-kaukana-rautatiesta-valmistuu-junannostimia-maailman-radoille-minua-ei-saisi-helsingin-kupeeseen-naita-tekemaan-200513187/>.
- Mikkola, V. 2008. Siltanosturin sähköistys. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
- Moves Oy 2019. Moves oikosulkumoottoreiden käyttö- ja huolto-ohjeet. Viitattu 21.6.2019 [http://www.moves.fi/web\\_documents/moves\\_moottoreiden\\_k\\_ytt\\_-\\_ja\\_huolto-ohje.pdf](http://www.moves.fi/web_documents/moves_moottoreiden_k_ytt_-_ja_huolto-ohje.pdf).
- Niiranen, J. 1999. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki: Otatieto.
- Nordlift Oy 2019a. Lift Up – Junanostimet, esimerkkejä. Viitattu 19.6.2019 <https://nordlift.fi/wp-content/uploads/2018/09/Junanostin-k%C3%A4ytt%C3%B6kohteita-Downloads-Nordlift-403.pdf>.
- Nordlift Oy 2019b. Lift Up – Nosta tuottavuutta. Viitattu 18.6.2019 <https://nordlift.fi/wp-content/uploads/2017/10/Nordlift-Downloads-Nordlift-FI-87.pdf>.
- Nordlift Oy 2019c. Nordlift HDL 15000. Viitattu 13.10.2019 <https://nordlift.fi/nordlift-hdl-15000/>
- Oy Mekanex Ab 2019. Ruuvikäytön momentti. Viitattu 24.8.2019 <https://www.mekanex.fi/laskenta/ruuvikayton-momentti/>.
- SFS-EN 60204-1:2018 2018. Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. OSA 1: Yleiset vaatimukset. 4. painos. Helsinki: SFS Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-käsikirja 16. 2003. Moottorikeskukset ja ohjelmoitavat ohjaukset. Vakiosovelluksia enintään 1000V moottorikäyttöille. 5. painos. Helsinki: SFS Suomen standardisoimisliitto.

SFS-käsikirja 600-1-1 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa1-1: Yleisvaatimukset (SFS 6000 osat 1-6). 1. painos. Helsinki: SFS Suomen standardisoimisliitto.

Siemens AG 2016. SINAMICS Inverters for Single-Axis Drives and SIMOTICS Motors. Viitattu 22.9.2019 <https://www.industry.usa.siemens.com/data-pool/us/DT/Drives/docs/Catalog-D31-Complete.pdf>.

Siirilä, T. & Tytykoski, K. 2016. Koneturvallisuuden käsikirja. Helsinki: Inspecta Oy.


Sähkömiehen käsikirja 2016. ABB. Viitattu 24.8.2019 <https://library.e.abb.com/public/f334844964896d85c12571e2002d1b54/1SCC011007C1801.pdf>.

Tekninen opas nro 7. 2001. Sähkökäytön mitoitus. ABB. Viitattu 23.6.2019 [https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen\\_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf).

## LIITTEET

- Liite 1. Siemens Sirius -moottorikäynnistin 3RM1307-1AA04
- Liite 2. Projektisuunnitelma (Luottamuksellinen)
- Liite 3. Teknologiaselvitys (Luottamuksellinen)
- Liite 4. Sähköinen mitoitus ja kalustuksen valinta (Luottamuksellinen)

## Liite 1. Siemens Sirius -moottorikäynnistin 3RM1307-1AA04

Technical data	
	
Fail-safe reversing starter, 3RM1, 500 V, 0.55 - 3 kW, 1.6 - 7 A, 24 V DC, screw terminals	
Product brand name	SIRIUS
Product category	Motor starter
Product designation	Failsafe reversing starters
Design of the product	With electronic overload protection and safety-related disconnection
Product type designation	3RM1
General technical data	
Trip class	CLASS 10A
Product function	
• Intrinsic device protection	Yes
Suitability for operation Device connector 3ZY12	Yes
Power loss [W] for rated value of the current at AC in hot operating state per pole	1.13 W
Insulation voltage	
• rated value	500 V
Surge voltage resistance rated value	6 kV
maximum permissible voltage for safe isolation	
• between main and auxiliary circuit	500 V
• between control and auxiliary circuit	250 V
Protection class IP	IP20
Shock resistance	6g / 11 ms
Vibration resistance	1 ... 6 Hz, 15 mm; 20 m/s <sup>2</sup> , 500 Hz
Operating frequency maximum	1 1/s
Mechanical service life (switching cycles)	
• typical	30 000 000
Reference code acc. to DIN 40719 extended according to IEC 204-2 acc. to IEC 750	Q
Reference code acc. to DIN EN 81346-2	Q
Reference code acc. to DIN EN 61346-2	Q
Product function	
• direct start	No
• reverse starting	Yes
Product function Short circuit protection	No