

## Moottorikeskusten päivitys

Santeri Torikka

Opinnäytetyö  
Helmikuu 2020  
Tekniikan ala  
Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka

Tekijä(t) Torikka Santeri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Helmikuu 2020
	Sivumäärä 41	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Moottorikeskusten päivitys</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Olli Väänänen, Pasi Puttonen		
Toimeksiantaja(t) Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Teknologian tutkimuskeskus VTT:n Jyväskylän toimipisteellä on moottorikeskuksia, joiden ohjaamiseen käytetään INSUM-moottorinohjausjärjestelmää. Järjestelmä ollaan korvaamassa uudella ratkaisulla, joka vastaisi tämän päivän tarpeita. Ennen järjestelmän ja moottorilähtöjen uusimista tarvitsi laitteiston nykytila kuitenkin selvittää. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää nykyisen laitteiston tiedot riittävän tarkasti, jotta uuden laitteiston suunnittelu onnistuisi. Selvitystyön perusteella tehtiin oma ehdotus, jossa pyrittiin kiinnittämään huomiota käynnistysvirtahuippujen pienentämiseen.</p> <p>Selvitystyö toteutettiin tutkimalla keskuksia käytännössä käyttäen apuna olemassa olevaa dokumentointia. INSUM-järjestelmästä saatiin tietoa käytettävästä automaatiojärjestelmästä ja keskusmerkinnöistä. Moottorikeskusten tunnuksat ja moottoritiedot selvitettiin ja virheelliset tiedot korjattiin. Selvitystyön tuloksena saatiin tiedot moottorikeskusten käynnistyksistä, ohjattavista moottoreista ja tunnuksista INSUM-järjestelmässä. Tärkein huomio oli, että kaikkien moottorien käynnistäminen tapahtui suoralla verkkokäynnistyksellä. Joukossa oli suuriakin moottoreita, joiden käynnistäminen suoraan verkosta ei ollut kannattavaa. Omassa ehdotuksessa moottorit jaettiin tehojen mukaan kolmeen tehoalueeseen ja näille jokaiselle valittiin oma käynnistystapa. Moottoreille pyrittiin valitsemaan käynnistystavat niin, että saataisiin rajoitettua käynnistysvirtoja mahdollisimman hyvin huomioon ottaen rajoittavat tekijät.</p> <p>Selvityksessä saadut tulokset antavat toimeksiantajalle tarvittavat tiedot laitteiston nykytilasta ja mahdollistavat käytännön toteutuksen aloittamisen. Kehittämisehdotuksessa esitellyt käynnistystavat toimeksiantaja voi käyttää pohjana omalle suunnitelmalleen tai toteuttaa ehdotuksen sellaisenaan.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Sähkökäytöt, teollisuuskeskus, INSUM-moottorinohjausjärjestelmä, VTT		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Torikka Santeri	Type of publication Bachelor's thesis	Date February 2020 Language of publication: Finnish
	Number of pages 41	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Update of Motor Control Centers</b>		
Degree programme Bachelor's degree programme in Electrical and Automation Engineering		
Supervisor(s) Olli Väänänen, Pasi Puttonen		
Assigned by VTT Technical Research Centre of Finland Ltd		
Abstract  <p>The VTT Technical Research Centre of Finland's Jyväskylä office had Motor Control Centers which were controlled by INSUM-motor control system. The system was being replaced with a new solution that would meet contemporary needs. Before the system and motor starters were replaced, the current state of the implementation had to be verified. The goal was to find out the implementation data as clearly as necessary, so that the designing would succeed. Based on the research, a case-specific proposal was made which paid attention to reducing motor inrush current peaks.</p> <p>The research was accomplished by investigating the centers in practice and using the help of existing documentation. The INSUM system provided information on the available automation system and central markings. The motor center IDs-, and engine data were worked out and false data was corrected. The results of the research provided information about motor starting units, controlled motors and markings from the INSUM. The most important finding was that all motors were started via direct on line starting. The research included big motors that should not have been started with this method. In my proposal, the motors were divided into three different power ranges according their power and a specific starting method was chosen for each of them. The starting methods of each motors were chosen so that it was possible to limit the starting currents as well as possible and to consider all limiting factors.</p> <p>The information that the research produced will provide the necessary information about the current state of the setup and will allow the beginning of practical implementation. The starting methods presented in the given development proposal can be used as such or as a basis of the mandator's own plan.</p>		
Keywords/tags (subjects) electric drives, industrial center, Motor Management INSUM, VTT		
Miscellaneous (Confidential information)		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>4</b>
1.1	Tehtävien määrittely ja tavoitteet .....	4
1.2	Tutkimusmenetelmät ja tietoperusta .....	4
1.3	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.....	5
<b>2</b>	<b>Oikosulkumoottori .....</b>	<b>6</b>
2.1	Rakenne .....	6
2.2	Toimintaperiaate .....	7
2.3	Liittäminen verkkoon.....	9
2.3.1	Suora käynnistys .....	9
2.3.2	Tähtikolmiokäynnistys .....	11
2.3.3	Pehmokäynnistys.....	12
2.3.4	Taajuusmuuttajakäyttö .....	13
2.4	Kuormitustyyppit .....	14
<b>3</b>	<b>Säädetyt vaihtosähkökäytöt .....</b>	<b>16</b>
3.1	Taajuusmuuttaja.....	16
3.2	Moottorikäytön säätäminen .....	17
3.3	Moottoripiirien pääkojeet.....	20
<b>4</b>	<b>Nykyinen laitteisto .....</b>	<b>24</b>
4.1	Sähkönjakelu .....	24
4.2	MNS-pienjännitekeskus.....	25
4.3	Moottorinkäynnistinyksiköt .....	27
4.4	INSUM-moottorinohjausjärjestelmä .....	28
<b>5</b>	<b>Selvitystyön tulokset .....</b>	<b>29</b>
5.1	Pääkeskustila PK4 .....	29
5.2	Pääkeskustila PK5 .....	30
5.3	Pääkeskustila PK5.1 .....	31
5.4	INSUM:n ulkopuoliset moottorit.....	32

	2
<b>6 Oma toteutusehdotus.....</b>	<b>33</b>
6.1 Lähtökohdat .....	33
6.2 Moottorien käynnistysten valinta .....	34
<b>7 Pohdinta.....</b>	<b>37</b>
<b>Lähteet .....</b>	<b>39</b>

## Kuviot

Kuvio 1. Oikosulkumoottorin rakenne.....	6
Kuvio 2. Tähti- ja kolmiokytkennän kytkentäkaavio .....	10
Kuvio 3. Virtakäyrä suorassa käynnistyksessä .....	10
Kuvio 4. Tähtikolmiokäynnistyksen virtakäyrä .....	11
Kuvio 5. Pehmokäynnistyksen virtakäyrä .....	12
Kuvio 6. Taajuusmuuttajan momentti- ja virtakäyrä.....	13
Kuvio 7. Vakiomomenttikäytön tehokäyrät .....	14
Kuvio 8. Neliöllisen momentin kuormituskäyrät .....	15
Kuvio 9. Taajuusmuuttajan rakenne .....	17
Kuvio 10. DTC-säädön lohko-kaavio.....	18
Kuvio 11. Skalaariohjauksen ja -säädön lohko-kaavio .....	19
Kuvio 12. Vektorisäädön lohko-kaavio .....	20
Kuvio 13. Sähkönjakelu keskuksille PK4 ja PK5.....	25
Kuvio 14. MNS-kennokeskus .....	26
Kuvio 15. Ulosvedettävät käynnistinyksiköt .....	27
Kuvio 16. INSUM-järjestelmän kokoonpano .....	29
Kuvio 17. Moottorin elinkaarikustannuksien jakautuminen .....	36

**Taulukot**

Taulukko 1. Käynnistystapojen hyödyt ja haitat.....	9
Taulukko 2. Kontaktorien käyttöluokat .....	23
Taulukko 3. PK4 moottorit .....	30
Taulukko 4. PK5 moottorit .....	31
Taulukko 5. PK5.1 moottorit.....	32
Taulukko 6. INSUM:n ulkopuoliset moottorit .....	32

# 1 Johdanto

## 1.1 Tehtävien määrittely ja tavoitteet

VTT:n Jyväskylän toimipisteellä on moottorikeskuksia, joiden ohjaamiseen käytetään INSUM-moottorinohjausjärjestelmää. Yrityksellä oli suunnitelmissa korvata INSUM-järjestelmä ja uudistaa keskusten moottorilähdöt. Järjestelmän korvaaminen oli myös siinä mielessä tarpeellista, että laitevalmistajan tuki oli siirtynyt Limited-tilaan ja sitä myöten myös varaosien saatavuus.

Opinnäytetyössä oli tarkoitus selvittää järjestelmän ja moottorikeskusten nykytila siinä määrin, että työstä saatavilla tiedoilla VTT pystyisi aloittamaan päivityksen suunnittelun. Laitteiston nykytila ei ollut täysin tiedossa, koska dokumentointi ei ollut ajantasaista ja keskusten merkinnät puuttuivat tai olivat osittain virheellisiä.

Kartoitus rajattiin koskemaan tämänhetkisen laitteiston nykytilasta ja keskuksien ohjaamista moottoreista. Kartoitustyön lisäksi tarkoitus oli tuoda oma näkemys laitteiston päivittämisestä. Omassa ehdotuksessa pyrittiin kehittämään laitteistoa nykyisiä tarpeita vastaavaksi ja ottamaan huomioon moottorien käynnistyksissä syntyvien käynnistysvirtahuippujen rajoittaminen.

## 1.2 Tutkimusmenetelmät ja tietoperusta

Tutkimusotteeltaan opinnäytetyö on kehittämistutkimus, jonka tarkoituksena Kananen (2017,18) mukaan on aikaansaada konkreettinen muutos esimerkiksi tuotteelle tai menetelmälle. Tässä opinnäytetyössä kehitettävä kohde oli nykyinen moottorikeskus ja ohjausjärjestelmä. Laitteistoa haluttiin parantaa vastaamaan nykypäivän tarpeita sekä uudistaa moottoreiden käynnistykset niin, että käynnistysvirtoja saataisiin laskettua.

Työn käytännön osuus koostui selvitystyöstä, jossa tarkasteltiin laitteistoa ja tehtiin tämän jälkeen oma ehdotus sen pohjalta. Selvitystyössä keskityttiin keskusten ja niiden ohjaamien moottorien tietojen selvittämiseen. Selvitystyöstä saatujen tietojen avulla valittiin moottoreille käynnistystavat käytettyihin laitteisiin ja kuormituksiin perustuen. Omassa ehdotuksessa tukeuduttiin kerättyyn aineistoon sekä mietittiin käynnistystavoilla syntyviä kustannuksia.

Opinnäytetyön tietoperustan tavoite on antaa hyvä tietopohja omaa ehdotusta silmällä pitäen. Tietoperustassa perehdytään oikosulkumoottorin toimintaan yleisesti. Lisäksi käsitellään erityisesti moottorien käynnistystapoja sekä esitellään työssä pääasiallisesti esiintyviä kuormitustyyppisiä. Toisena pääalueena käydään läpi säädettyjen käyttöjen perusteita sekä taajuusmuuttajakäytössä esiintyviä säätötapoja.

### 1.3 Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy on kokonaan valtion omistuksessa oleva Pohjoismaiden johtava tutkimuskeskus, joka on perustettu vuonna 1942. VTT:n tarkoitus on tuottaa asiakkailleen tutkimus- ja kehityspalveluja. Sillä onkin merkittäviä pilotointi- ja tutkimusympäristöjä, jotka mahdollistavat tutkimuksen ja uuden tekniikan pilotoinnin. VTT:n pääkonttori sijaitsee Espoon Otaniemessä ja muut toimipaikat sijaitsevat Oulussa, Tampereella, Jyväskylässä sekä Kuopiossa.

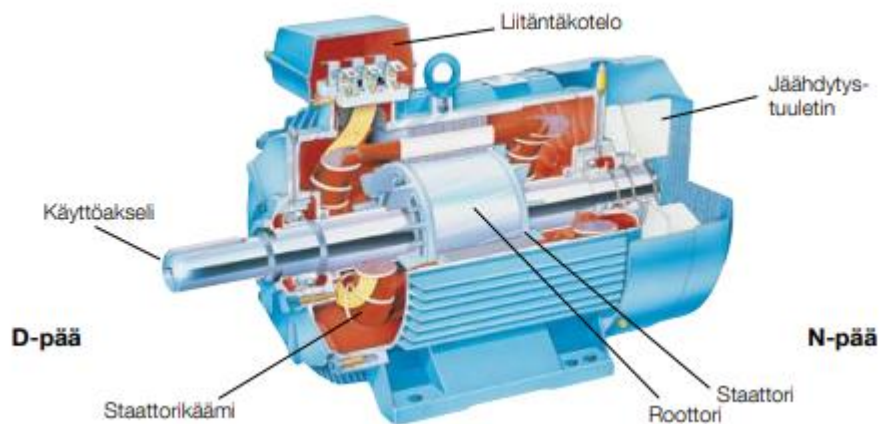
Asiakaskunta koostuu julkisen sektorin toimijoista sekä kotimaisista ja ulkomaisista yrityksistä. Yrityksen tarkoituksena on auttaa asiakkaitaan menestymään sekä kasvattaa niiden osaamista ja kilpailukykyä. Yksi VTT päätavoitteista onkin parantaa suomalaista kilpailukykyä maailmalla. Vuoden 2018 lopussa VTT:llä oli 2049 työntekijää. Korkeakoulututkinnon oli suorittanut kaikkiaan 82,6 %. Asiakkaita vuonna 2018 oli 1510 kpl ja tuottoa kertyi kaikkiaan 56 % kotimaasta ja 44 % ulkomailta. (VTT Vuosikertomus 2018.)

## 2 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottori kuuluu vaihtosähkökoneisiin ja on teollisuudessa käytetyin yksittäinen moottorityyppi. Siitä voidaan käyttää myös nimitystä epätahtikone tai induktiomoottori. Syy moottorin suosiolle on sen yksinkertaisessa rakenteessa, joka perustuu pyörivään magneettikenttään. Rakenteensa ansiosta moottori on luotettava käyttää ja edullinen valmistaa. (Hietalahti 2012, 55.)

### 2.1 Rakenne

Moottori kasataan yleisimmin alumiinista tai valuraudasta valmistettuun koteloon, mutta erikoismoottoreissa tai hyvin isoissa moottoreissa käytetään myös runkomateriaalina terästä. Akselinpäätä, johon kytketään moottorin kuorma, kutsutaan D-pääksi ja jäähdytystuulettimen päätä N-pääksi (ks. kuvio 1). (Mäkinen & Kallio 2004, 149-150.)



Kuvio 1. Oikosulkumoottorin rakenne (Pehmökäynnistinopas 2011, 4)

Moottorin rakenne koostuu kahdesta pääosasta: staattorista ja roottorista. Staattori rakentuu uritetuista metallilevyistä kasatusta rautasydäimestä ja staattorikäämiyksistä, jotka on asennettu staattorin käämiuriin. Käämiyksien päät on kytketty moot-

torin päällä sijaitsevaan kytkentäkoteloon, joihin kytketään moottorin syöttökaapelointi. Roottorilla on myös rautasydän, joka on kasattu kuten staattorissa. Rautasydämen uriin on asennettu kuparista tai alumiinista valmistetut käämisauvat käämityksien sijaan, jotka on oikosuljettu päistään metallisilla renkailla. Oikosulkumoottori onkin saanut nimityksensä oikosuljetun häkkikäämityksen vuoksi. (Mäkinen & Kallio 2004, 149-151.)

## 2.2 Toimintaperiaate

Moottorin perustoiminta-ajatus on sähkötehon muuttamiseen mekaaniseksi tehoksi. Oikosulkumoottorin toiminta perustuu staattorin pyörivään magneettikenttään, jonka pyörimisnopeus määräytyy syöttötaajuuden ja napapariluvun mukaan. Staattorin pyörimisnopeutta kutsutaan myös synkroniseksi nopeudeksi ja se voidaan laskea yhtälön 1 mukaisesti. (Korpinen 1998.)

$$n_s = 60 \frac{f}{p} \quad (1)$$

$n_s$  = staattorin pyörimisnopeus

$f$  = syöttöverkon taajuus, Hz

$p$  = napapariluku

Staattorin magneettikenttä leikkaa häkkikäämityksen sauvoja, mikä indusoi jännitteen roottorille. Roottorin oikosuljetussa häkkikäämityksessä syntyy virta, joka luo roottorille magneettikentän. Magneettikenttien välille syntyy keskinäinen voimavaikeus, mikä saa aikaan roottorin pyörimisliikkeen saman suuntaisesti staattorin kentän kanssa. Roottorin liikkeelle saaminen vaatii lisäksi sähköisen vääntömomentin, jonka on oltava suurempi kuin akselia kuormittavan vastavääntömomentin. Moottorin tuottama vääntömomentti voidaan laskea yhtälöstä 2. (Korpinen 1998.)

$$T = 9550 \frac{P}{n} \quad (2)$$

$T$  = moottorin tuottama vääntömomentti, Nm

$P$  = moottorin nimellinen teho, kW

$n$  = pyörimisnopeus, rpm

Oikosulkumoottorin pyörimisnopeuteen vaikuttaa napapariluvun ja taajuuden lisäksi myös sitä kuormittava vastavääntömomentti. Kuormituksen ollessa tasaista moottori pyrkii asettumaan nopeuteen, jolloin vääntömomentti asettuu saman suuruiseksi kuormituksen vääntömomentin kanssa. Kuormitusta kasvatettaessa moottorin virta ja jännite kasvavat, koska moottori pyrkii takaisin tasapainotilaan kasvattamalla sähköistä vääntömomenttia, jolloin pyörimisnopeus laskee tasapainotilan vaatimalle tasolle. (Hietalahti 2011, 60.)

Moottorin käydessä roottorin pyörimisnopeus jää jälkeen staattorin pyörimisnopeutta, tätä kutsutaan jättämäksi. Jättämän suuruus on yleisesti muutaman prosentin luokkaa ja se voidaan laskea yhtälöstä 3. Jättämän suuruuteen vaikuttaa moottorin tyyppi ja koko. Jättämä on moottorin toiminnan kannalta oleellinen, koska ilman jättämän aiheuttamaa nopeuseroa ei staattorin magneettikenttä leikkaisi roottorin häkkikäimitystä eikä moottorille syntyisi momenttia, jolloin moottori pysähtyisi. (Korpinen 1998.)

$$s = \frac{(n_s - n)}{n_s} 100\% \quad (3)$$

$s$  = jättämä

$n_s$  = staattorikentän pyörimisnopeus

$n$  = roottorin pyörimisnopeus

## 2.3 Liittäminen verkkoon

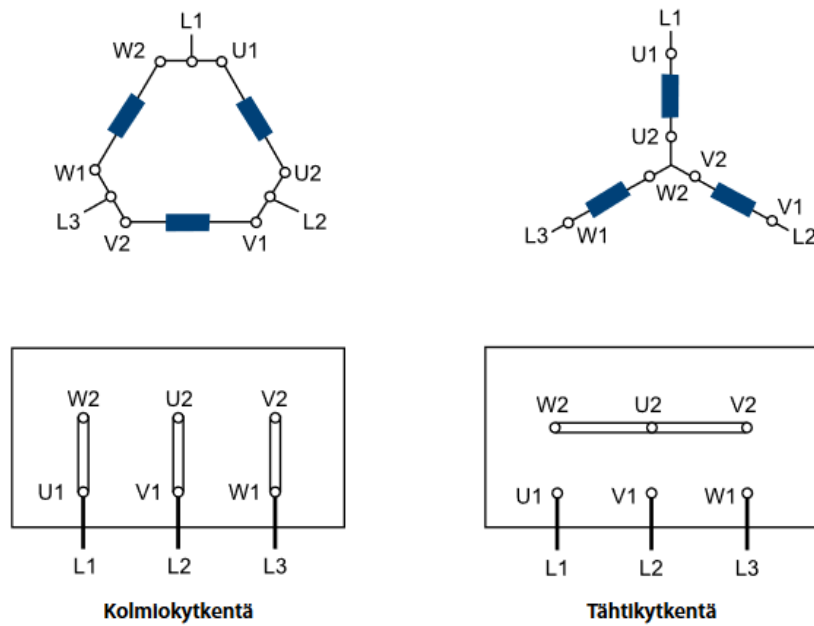
Oikosulkumoottorin käynnistämiseen voidaan käyttää useaa tapaa. Yleisimmät käynnistystavat ovat suora-, tähtikolmio- ja pehmokäynnistys sekä taajuusmuuttajakäyttö. Jokaisella käynnistystavalla on omat hyvät ja huonot puolensa, joita havainnollistetaan taulukossa 1.

Taulukko 1. Käynnistystapojen hyödyt ja haitat (Pehmokäynnistinopas 2011, 20)

Ongelman tyyppi	Käynnistysmenetelmän tyyppi			
	Suora käynnistys	Tähtikolmio-käynnistys	Taajuusmuuttaja	Pehmokäynnistin
Vetohihnojen luistaminen ja katkeaminen, laakerien nopea kuluminen	Kyllä	Keskitasoinen	Ei	Ei
Korkea käynnistysvirta	Kyllä	Ei	Ei	Ei
Vaihteiston voimakas kuluminen	Kyllä	Kyllä (käynnistys kuormalla)	Ei	Ei
Tavaroiden/tuotteiden särkyminen pysäytyksessä	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei
Käytönaikainen nopeuden säätö	Ei	Ei	Kyllä	Ei
Paineiskut putkissa pysäytettäessä	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei (poistuu momentinsäädöllä, pienenee jänniterampilla)
Voimansiirtohuiput	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei
Arvioidut keskimääräiset asennuskustannukset	1	3	> 12	6

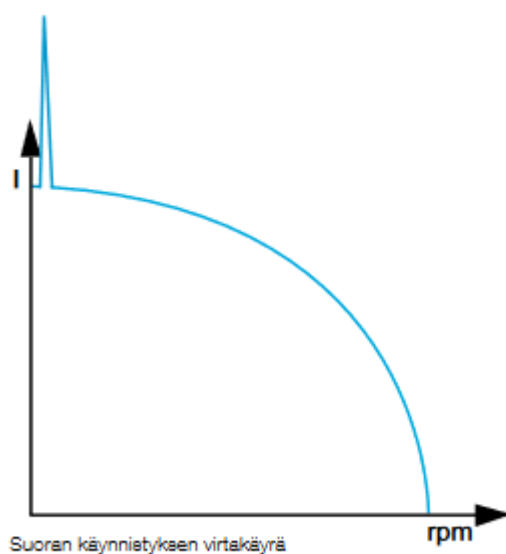
### 2.3.1 Suora käynnistys

Suora käynnistys on käytetyin tapa sähkömoottorien käynnistämiseen. Käynnistystapa on toimintavarma ja yksinkertainen toteuttaa. Suorassa käynnistyksessä moottori liitetään suoraan syöttöverkkoon kytkemällä se tähteen tai kolmioon riippuen moottorin syöttöjännitteestä (ks. kuvio 2). Suorassa moottorikäynnistyksessä moottori ottaa n. 5-10-kertaisen virran nimelliseen käyttövirtaan verrattuna (ks. kuvio 3). (Mäkinen & Kallio 2004, 162.)



Kuvio 2. Tähti- ja kolmiokytkennän kytkentäkaavio (Pehmokäynnistinopas 2011, 7)

Suuren käynnistysvirran takia suora käyttö ei ole suositeltava suurille moottoreille. Suuri käynnistysvirta aiheuttaa myös suuren momentin takia ylimääräistä rasitusta käytettävälle laitteistolle. Ylimääräinen mekaaninen rasitus kuluttaa osia normaalia nopeammin ja lisää huollontarvetta. (Pehmokäynnistinopas 2011, 13.)



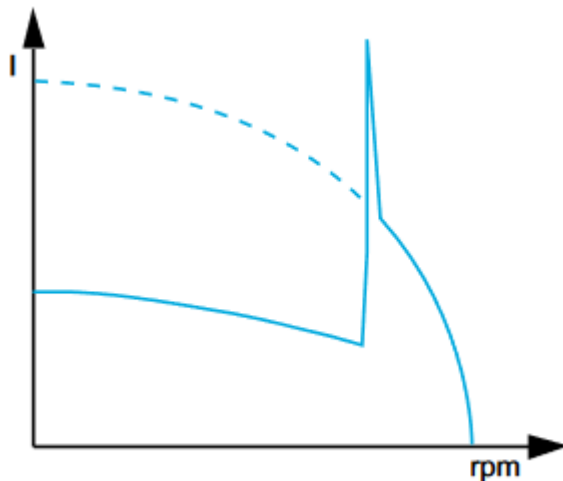
Kuvio 3. Virtäkäyrä suorassa käynnistyksessä (Pehmokäynnistinopas 2011, 13)

Suoran käynnistyksen etuina ovat pieni tilantarve ja komponenttien edullisuus sekä helppo saatavuus. Lisäksi kytkennän toteuttaminen on yksinkertaista. Moottorin pysäytykseen kuitenkin ainoa tapa on suora pysäytys, jossa moottori pysäytetään suoraan ajosta. Suora pysäytys voi aiheuttaa paineiskuja putkistoihin etenkin pumppu käytöissä ja voi vaurioittaa laitteistoa. (Pehmokäynnistinopas 2011, 13.)

### 2.3.2 Tähtikolmiokäynnistys

Suoran käynnistyksen sijasta voidaan käyttää tähtikolmiokäynnistystä, jolla voidaan rajoittaa käynnistyksessä syntyvää käynnistysvirtaa. Tässä käynnistystavassa moottori kytketään aluksi tähteen ja määrätyn ajan jälkeen kytkentä vaihdetaan kolmiokytkentään. Kytkennän vaihto tehdään automaattisesti käyttäen apuna aikarelettä ja kytkennät toteutetaan sähköisesti kontaktori kytkennöillä. (Korpinen 1998.)

Tähtikytkennässä moottori ottaa vain kolmasosan nimellisvirrasta ja -momentista (ks. kuvio 4). Tämä johtuu tähtikytkennästä, jossa moottorin käämitykset ovat kytkettynä sarjaan, joka aiheuttaa kolminkertaisen impedanssin. Kolmiokytkentään vaihdettaessa moottori ottaa täyden momentin ja virran, kun jokaisessa moottorin käämityksessä kulkee pääjännite (ks. kuvio 4). (Pehmokäynnistinopas 2011, 14.)

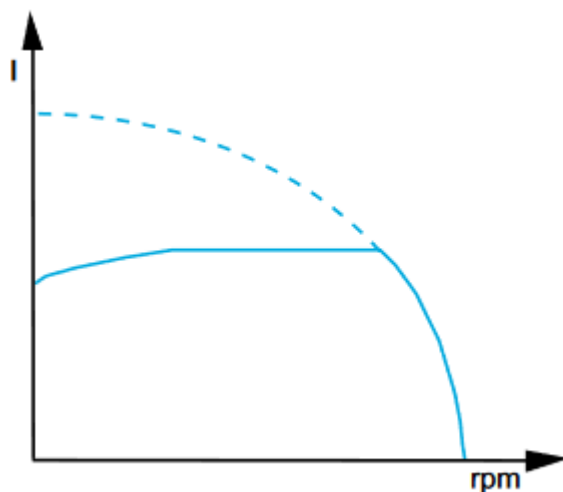


Kuvio 4. Tähtikolmiokäynnistyksen virtakäyrä (Pehmokäynnistinopas 2011, 19)

Tähtikolmiokäynnistyksessä ilmenee samoja ongelmia kuin suorassa käynnistyksessä. Moottorille voidaan käyttää vain suoraa pysäytystä kuten suorassa käynnistyksessä. Moottorin käynnistystilanne aiheuttaa myös mekaanista rasitusta laitteistolle sekä virtahuippuja, jotka voivat pahimmillaan olla suuremmat kuin suoralla käytöllä. (Pehmökäynnistinopas 2011, 14.)

### 2.3.3 Pehmökäynnistys

Pehmökäynnistintä käytetään moottorin käynnistämiseen pehmeästi ilman, että aiheutuu ylimääräistä rasitusta laitteistolle. Pehmökäynnistimessä on tyristorikytkentä, jolla voidaan rajoittaa virtaa ja leikata moottorin jännitettä, minkä ansiosta momenttia voidaan kasvattaa tasaisesti käynnistyksessä ja vaikuttaa siihen kuluvaan aikaan. Pehmeän käynnistyksen ansiosta käynnistysvirta laskee ja sähköverkon jännitteenalena käynnistyksen aikana pienenee (ks. kuvio 5). (Mäkinen & Kallio 2004, 144-145.)



Kuvio 5. Pehmökäynnistyksen virtakäyrä (Pehmökäynnistinopas 2011, 19)

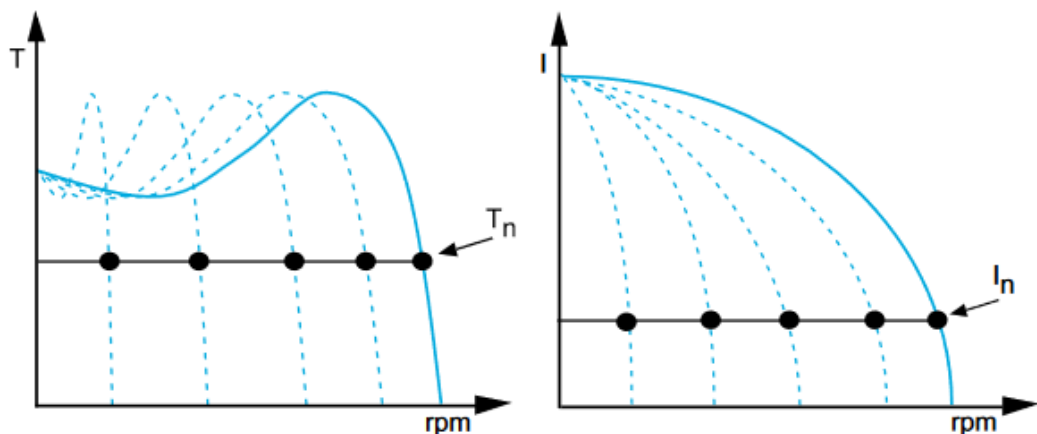
Pehmökäynnistin avustaa vain moottorin käynnistyksessä ja jarrutuksessa. Käynnistystilanteen jälkeen moottori toimii kuten suoraan verkkoon kytkeytyneenä. Koska pehmökäynnistin ei osallistu moottorin säätämiseen kuin käynnistys ja jarrutustilan-

teissa, se ei myöskään aiheuta häiriötä verkkoon muulloin kuin näissä tilanteissa. Tämän vuoksi se ei tarvitse erillisiä häiriösuodatuksia. Pehmokäynnistin seuraa moottorin kuormitusta sekä lämpenemistä, joten ei tarvita erillistä ylikuormitusuojaa. Pehmokäynnistin suojaa myös itseään ylikuormitukselta ja yllämpenemiseltä. Pehmokäynnistimen huollontarve on vähäistä ja keskittyy lähinnä jäähdytyksen toimivuuden tarkkailemiseen. (Mäkinen & Kallio 2004, 144-148.)

### 2.3.4 Taajuusmuuttajakäyttö

Taajuusmuuttajaa käytettäessä moottori voidaan käynnistää pehmeästi ilman turhaa laitteiston rasittamista. Moottoria voidaan säätää jatkuvasti käytön vaatimusten mukaisesti, joka säästää energiakustannuksissa ja parantaa toimivuutta. Taajuusmuuttajakäytöllä voidaan minimoida käynnistysvirtapiikit ja vähentää hetkellistä kuormitusta verkossa. (Mäkinen & Kallio 2004, 138.)

Taajuusmuuttajakäynnistyksessä moottorin syöttöjännitteen taajuutta kasvatetaan nolasta aina syöttöverkon taajuuteen asti, jolla voidaan nostaa moottorin pyörimisnopeutta portaittain. Koko käynnistyksen ajan moottori ottaa lähes nimellisen virran ja siltä saadaan nimellismomentti jokaisella taajuuden arvolla (ks. kuvio 6). (Pehmokäynnistinopas 2011, 16.)



Kuvio 6. Taajuusmuuttajan momentti- ja virtakäyrä (Pehmokäynnistinopas 2011, 16)

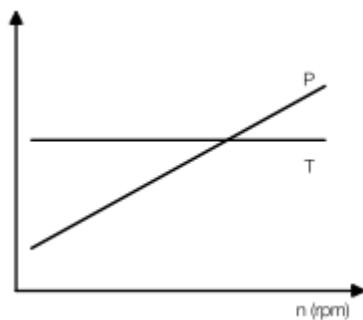
Taajuusmuuttajaa käytettäessä moottori voidaan pysäyttää pehmeästi ja sen pysähtymisaikaa voidaan säätää. Pehmeä pysäytys on hyvä varsinkin pumppukäytöissä, kun saadaan estettyä paineaaltojen ja -iskujen muodostuminen putkistoissa. Muuttajan rakenne kuitenkin vaikuttaa pysähtymisaikaan. Mikäli rakenne ei ole riittävä pysäyttämään moottori riittävän nopeasti, voidaan käyttää lisälaitteena jarruvastusta ja jarrukatkojaa. Näiden avulla moottori saadaan pysähtymään nopeasti. (Mäkinen & Kallio 2004, 138.)

Taajuusmuuttajan haittapuolena on sen suuri tilantarve, kallis hinta ja sen synnyttämät harmoniset yliaallot, jotka johtuvat muuttajan vaihtosuuntaajan tuottamasta vaihteleva taajuisesta siniaallosta. Taajuusmuuttajan ehdoton etu on moottorin jatkuva säädettävyys, joka myös parantaa energiatehokkuutta varsinkin neliöllisillä kuormilla käytettäessä. Taajuusmuuttajaa käytettäessä ei tarvita erillistä ylikuormitussuojaa, koska sillä on kyky suojata itseään sekä moottoria ylikuormittumasta. (Mäkinen & Kallio 2004, 141-142.)

## 2.4 Kuormitustyypit

### Vakiomomentti

Vakiomomenttikäyttö soveltuu kiinteiden määrien käsittelyyn, kuten erilaisille kuljettimille ja syöttölaitteille. Käytön momentti ei muutu vaan pysyy vakiona (ks. kuvio 7). Teho puolestaan määräytyy suoraan moottorin pyörimisnopeuden mukaan. (Sähkökäytön mitoitus 2001, 20.)

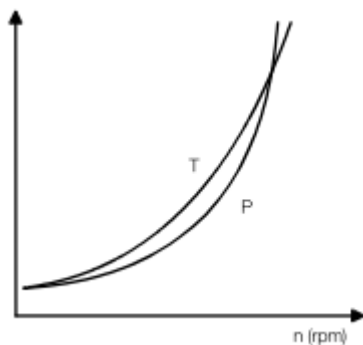


Kuvio 7. Vakiomomenttikäytön tehokäyrät (Sähkökäytön mitoitus 2001, 20)

Vakiomomenttikäytössä vaaditaan yleensä lähes moottorin nimellisen momentin suuruinen käynnistysmomentti. Käynnistysmomentin tarpeen vuoksi tähtikolmiokäynnistys ei ole käyttökelpoinen, koska sen tähtikytkentä laskee moottorin momenttia. Vakiomomenttikäytön käynnistykseen soveltuvat suora käynnistys, pehmoikäynnistys ja taajuusmuuttaja. Suoraa käynnistystä käytettäessä on huomioitava, että se aiheuttaa mekaanisia rasituksia käytettävälle laitteistolle. Esimerkiksi kuljettimissa se voi aiheuttaa hihnan luistamista ja vaihteiston nopeaa kulumista, jotka lisäävät huollon tarvetta. (Pehmokäynnistinopas 2011, 34-36.)

### Neliöllinen momentti

Neliöllinen momenttikäyttö on yleisin kuormitustyyppi, jossa momentti on neliöllisesti verrannollinen kierroslukuun. Käytön teho on sen sijaan kuutiollisesti verrannollinen kierroslukuun. Neliöllisen momenttikäytön tyypillisimmät sovellukset ovat pumppu- ja puhallinkäytöt. (Sähkökäytön mitoitus 2001, 20.)



Kuvio 8. Neliöllisen momentin kuormituskäyrät (Sähkökäytön mitoitus 2001, 20)

Neliöllisellä momentilla käynnistyksen alussa ei vaadita suurta käynnistysmomenttia (ks. kuvio 8). Suora käynnistys ei ole suositeltava, koska se aiheuttaa pumppukäytöissä paineaaltoja ja -iskuja putkistoon. Puhallinkäytöissä se aiheuttaa hihnojen luistoa liian suuren käynnistysmomentin vuoksi. Suoraa käynnistystä voidaan kuitenkin käyttää, jos moottoria ei ole tarvetta käynnistää useasti peräkkäin tai käsiteltävät tehot ovat pieniä. Myös tähtikolmiokäynnistys on neliöllisillä kuormilla haasteellista.

Tähtikytkenästä kolmioon vaihdettaessa syntyy suuria virtahuippuja, joita suuri jarrutusmomentti entisestään kasvattaa. Suositeltavat käynnistystavat neliölliselle kuormitukselle ovatkin pehmokäynnistys ja taajuusmuuttajakäyttö. (Pehmokäynnistinopas 2011, 27-31.)

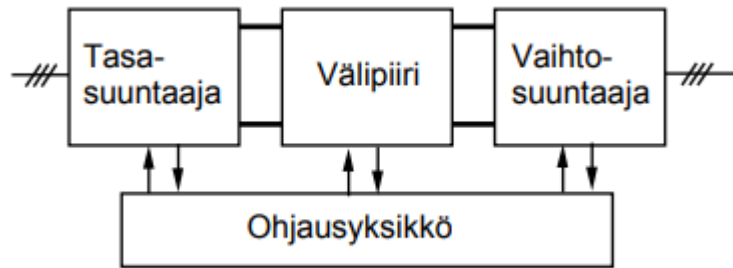
### **3 Säädetyt vaihtosähkökäytöt**

Säädetyissä käytöissä sähköenergiaa muutetaan mekaaniseksi energiaksi. Säädetyillä käytöillä saavutetaan tarkempi kuormalaitteiden ohjattavuus ja parempi energiatehokkuus perinteisiin säätämättömiin käyttöihin verrattuna. Tavallisesti säädetty käyttö koostuu sähköverkosta, taajuusmuuttajasta, moottorista ja sitä kuormittavasta työkoneesta. Moottorin tuottama mekaaninen teho välitetään mahdollisen vaiheen kautta työtä tekeväälle koneelle. (Hietalahti 2012, 1.)

#### **3.1 Taajuusmuuttaja**

##### **Rakenne ja toiminta**

Taajuusmuuttajan perusrakenne koostuu kolmesta osasta: tasasuuntaajasta, DC-välipiiristä ja vaihtosuuntaajasta (ks. kuvio 9). Lisäksi taajuusmuuttajassa on säätö- ja ohjauspiiri. Tasasuuntaajassa sähköverkon vaihtojännite muutetaan tasajännitteeksi ja DC-välipiiri tasaa tasasuuntaajasta tulevan jännitteen ja toimii energiavarastona moottorin ja verkon välillä. Välipiiriltä tuleva tasajännite vaihtosuunnataan ja siitä muodostetaan tarvittavan suuruista ja taajuista vaihtojännitettä vaihtosuuntaajassa. Vaihtosuuntaajan transistoreja ohjataan ohjaus- ja säätöpiirin avulla. (Taajuusmuuttajat N.d.)



Kuvio 9. Taajuusmuuttajan rakenne (Sähkömoottorikäytöt 2000-07, 17)

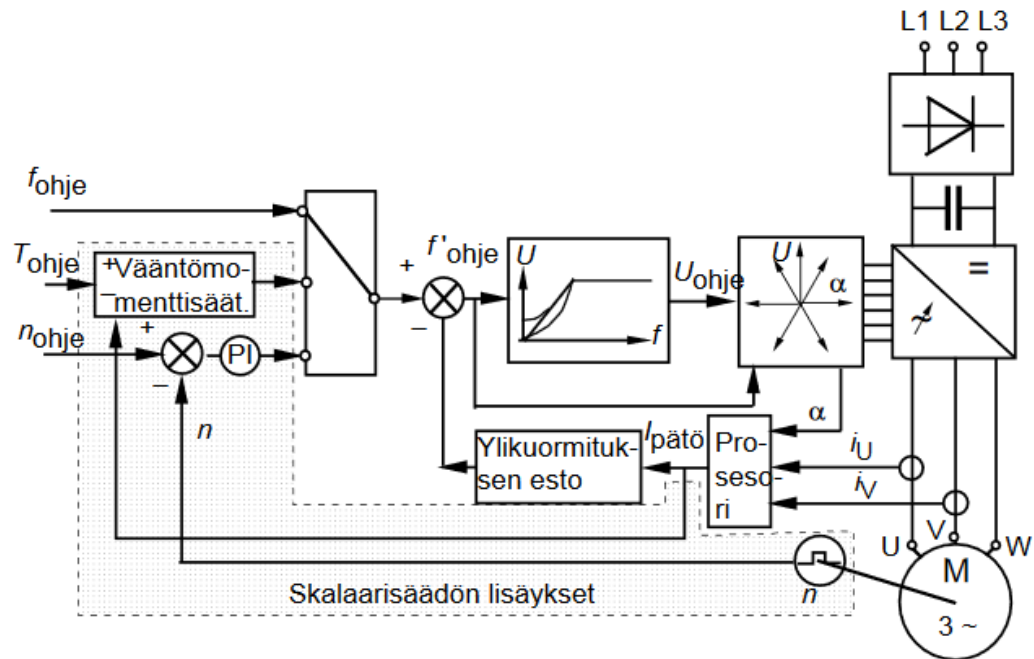
Taajuusmuuttajia on suoria sekä välipiirillisiä. Suorassa muuttajassa jännite vaihtosuunnataan suoraan, kun välipiirillisessä se tasasuunnataan ennen vaihtosuuntausta. Välipiirillisiä taajuusmuuttajia on virta- sekä jännitevälipiirillisiä. Jännitevälipiirilliset taajuusmuuttajat ovat käytetyimpiä ja yleisimmin niillä ohjataan sähkömoottoria. Virtavälipiirillisiä taajuusmuuttajia käytetään lähinnä tahtimoottorikäytöissä sekä sähköntuottamiseen, koska sen tasasuuntaajan tyristorisilta mahdollistaa sähkötehon syöttämisen verkkoon. (Farin, Peltonen, Pykälä & Uski-Joutsenvuo 2009, 38-39.)

## 3.2 Moottorikäytön säätäminen

### DTC-säätö

DTC- eli suora momenttisäätö koostuu pyörimisnopeutta ja momenttia säätävistä säätöpiireistä. Moottorin toimintaan vaikutetaan näiden kahden suureen avulla. Säädöllä pyritään saavuttamaan halutut säätöarvot mahdollisimman nopeasti sekä optimoimaan säädön tarkkuus. Säädön suurimmat edut ovat momenttivasteen nopea säätö sekä säädön tarkkuus. Suoran momenttisäädön avulla saavutetaan hyvät dynaamiset suoritusarvot ja säästöjä käyttökustannuksissa, kun moottoria käytetään kulloisenkin hetken vaatimalla tavalla. (Suora momenttisäätö 2001, 12.)



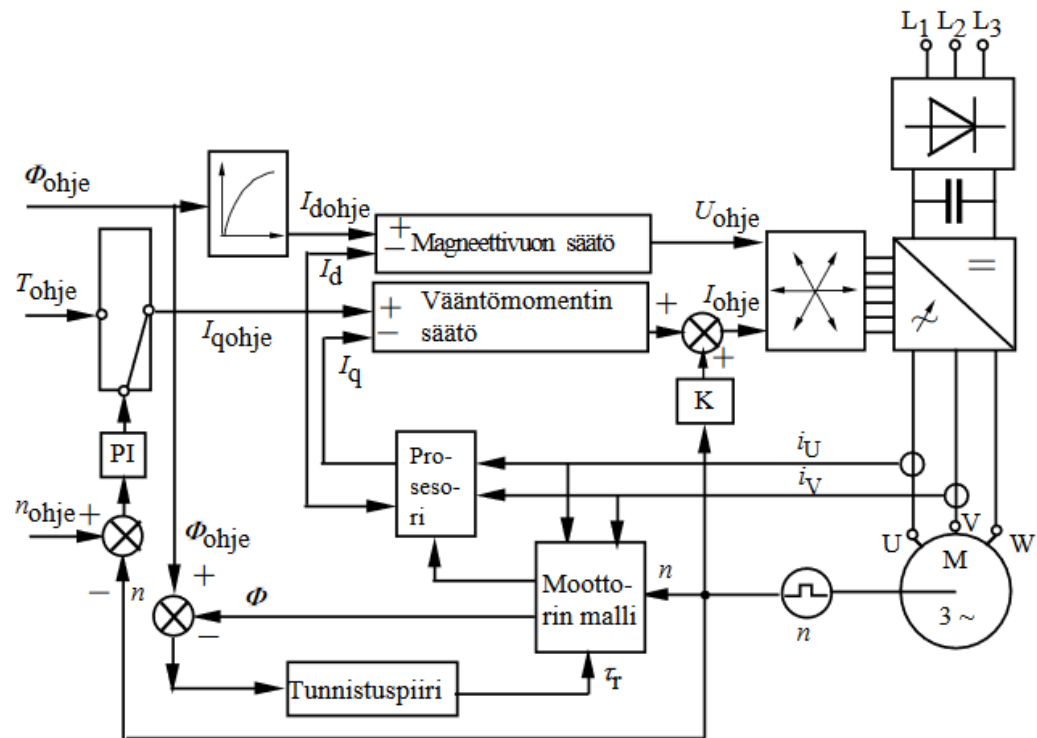


Kuvio 11. Skalaariohjauksen ja -säädön lohkokaavio (Sähkömoottorikäytöt 2000-07, 23)

Skalaarisäätö eroaa skalaariohjauksesta vain sillä, että moottorilta tuodaan pyörimisnopeuden ja virran mittaustiedot, joiden avulla voidaan säätää moottorin momenttia tai nopeutta, kuitenkin vain jompaakumpaa kerrallaan (ks. kuvio 11). (Sähkömoottorikäytöt 2000-07, 23.) Skalaarisäädön haittana on sen hitaus ja epätarkkuus muuttuvissa kuormitusilanteissa. Lisäksi säädön epätarkkuus kasvaa suuremmaksi, mitä nopeampia muutoksia halutaan tehdä momentin säätämiseen. Skalaarisäädön tarkkuus on kuitenkin riittävä moniin käyttötarkoituksiin, mutta vaativiin käyttöihin tarkkuus ei ole riittävä. (Hietalahti 2012, 84.)

### Vektorisäätö

Vektorisäätö perustuu vääntömomentin ja pyörimisnopeuden säätämiseen, joka tapahtuu muuttamalla taajuusmuuttajan taajuutta ja jännitettä. Vektorisäädössä vaaditaan aina takometri, jolla saadaan todennettua moottorin tarkka pyörimisnopeudenasento. Vektorisäädöllä saavutetaan tarkka pyörimisnopeuden säätö ja hyvät dynaamiset suoritusarvot. (Sähkömoottorikäytöt 2000-07, 24-25.)



Kuvio 12. Vektorisäädön lohkokaavio (Sähkömoottorikäytöt 2000-07, 25)

Vektorisäädössä mitataan moottorin virrat ja pyörimisnopeus. Mitatut arvot viedään taajuusmuuttajan matemaattiseen malliin, joka laskee tarvittavat säätöarvot moottorille (ks. kuvio 12). Moottorilta mitatut virrat jaetaan pitkittäiseen- ja poikittaiseen komponenttiin. Pitkittäinen komponentti vastaa moottorin magnetointia ja poikittainen komponentti koneen vääntömomenttia. Näiden avulla voidaan säätää erikseen moottorin momenttia sekä magnetointia. Vektorisäätö soveltuu jo huomattavasti paremmin muutostilanteiden säätämiseen, kuin skalaariohjaus ja -säätö. (Hietalahti 2012, 85-87.)

### 3.3 Moottoripiirien pääkojeet

#### Kytkinvaroke

Kytkinvarokkeita käytetään moottoripiirien oikosulkusuojaukseen ja erottamiseen sähköverkosta. Kytkinvaroke rakentuu kahdesta osasta: kuormakytkimestä ja varoke

alustasta. Varokealustassa on valmiit paikat joihin kahvasulakkeet saa liitettyä. Kyt-kinvarokkeessa olevan väänninosa kiinnitetään yleensä keskuksen kanteen, jolloin keskuksen kansi ei ole avattavissa kytkimen ollessa kiinni. Vasta käännettäessä kytkin nolla asentoon keskuksen kannen voi avata, jolloin varokkeen lähtöpuoli on jännit- teetön. Kytkinvipu on myös mahdollista lukita nolla asentoon, jolla voidaan estää jän- nitteen kytkeminen. (Mäkinen & Kallio 2004, 119.)

Kytkinvarokkeen sulakkeita valittaessa on otettava huomioon moottorin käynnistys- virta ja moottorin mahdolliset uudelleenikäynnistykset. Sulake toimii oikosulkusuo- jana ja mahdollisesti myös ylikuormitussuojana. Tyypillisesti moottorikäytöissä käyte- tyimmät sulaketyypit ovat gG- ja aM-sulakkeet. Oikosulkusuojaus sekä kaapelin yli- kuormitussuojaus voidaan toteuttaa gG-sulakkeilla. Pelkkä oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa aM-sulakkeilla, jolloin tarvitaan erikseen ylikuormitussuoja. Sulakkeen kyky rajoittaa oikosulkuvirran suuruutta perustuu sulakkeen rakenteeseen, joka nostaa va- lokaariresistanssin suuruutta nopeasti sulakkeen sisällä. (Hietalahti 2013, 234-236.)

### **Katkaisijat**

Katkaisijoita käytetään, kun suojaus toteutetaan sulakkeettomasti. Tällöin katkaisija hoitaa suojauksen. Katkaisijan on pystyttävä sulkemaan tai avaamaan virtapiiri nimel- lisellä virralla sekä ylivirtatilanteissa oikosulun tai maasulun aikana. Ne voidaan sul- kea tai avata joko käsikäyttöisesti tai katkaisijan oman moottorin avulla. Avaaminen tapahtuu vikatilanteissa automaattisesti suojausjärjestelmän toimiessa. (Mäkinen & Kallio 2004, 115-116.)

Katkaisijoita käytetään suojaamaan keskuksia tai yksittäisiä lähtöjä. Pienjännitekes- kuksissa käytetään pääasiallisesti ilma- tai kompaktikatkaisijoita, joilla voidaan to- teuttaa keskusten tai yksittäisten moottoripiirien suojaus. Katkaisijoilla suojattavat moottoripiirit ovat yleensä suuritehoisia. (Hietalahti 2013, 219-220.)

Moottorinsuojakatkaisija on yleisesti käytetty suojalaite moottoripiireissä, jossa sitä käytetään valvomaan piirin ylikuormitusta ja oikosulkua. Se on tarkka ja laukeaa her- kästi pienelläkin ylivirran arvolla. Katkaisijalle asetellaan virta-arvo, joka vastaa moot- torin nimellisvirran arvoa. Sillä voidaan hoitaa moottoripiirin suojaus myös ilman su-

lakkeita, jolloin puhutaan sulakkeettomasta suojauksesta. Sulakkeiden pois jättäminen vaatii moottorinsuojakatkaisilta tarpeeksi hyvää katkaisukykyä. Laitteen sisällä on bi-metallielementti, joka taipuu katkaisijan läpi kulkevan virran lämpövaikutuksesta. Virran ollessa suurempi kuin asetellun virran arvo, katkaisija laukeaa, jonka jälkeen se on viritettävä uudelleen. Bi-metallielementillä valvotaan ylikuormitettavuutta ja sähkömagneettisella pikalaukaisulla hoidetaan oikosulkusuojaus. (Mäkinen & Kallio 2004, 115-117.)

### **Kontaktori**

Kontaktori on sähkömekaaninen kytkin, joka on suunniteltu käytettäväksi päävirtapiirissä ohjaamaan moottoria päälle ja pois. Kontaktorin toiminta on kuten releellä, mutta sillä ohjattavat jännitteet ja virrat ovat suurempia. (Sähkövoimatekniikan perusteet, 230-232) Toiminta perustuu kontaktorin sisällä olevaan kelaan, jonka kiinteä rautasydän muuttuu magneettiseksi ohjattaessa kontaktorin liittimiin jännite. Kiinteä rautasydän vetää liikkuvan rautasydämen kiinni itseensä, joka saa koskettimet vaihtamaan asentoaan. Kontaktorin koskettimet on numeroitu ja ne kertovat koskettimien toiminnan ja järjestysluvun. Koskettimien toiminta vastaa normaalitilannetta, jolloin kontaktori on jännitteetön. (Ahoranta 2011, 96-97.)

Kontaktori valitaan käytettävän laitteen mukaisesta käyttöluokasta eli se on mitoitetava ohjattavan laitteen käyttöluokan mukaan. Oikosulkumoottorikäytöissä yleisesti käytetään AC-3- ja AC-4-luokituksen kontaktoreja (ks. taulukko 2). Kontaktorin koko valitaan ohjattavan moottorin tehon ja käytettävän jännitteen mukaan. Ylimoittamalla kontaktori voidaan sen käyttöikä pidentää jonkin verran. (Hietalahti 2013, 230-232.)

Taulukko 2. Kontaktorien käyttöluokat (Pienjännitekytkinlaitteet 2000-07, 16)

Virtalaji	Käyttöluokat	Tyypilliset sovellukset
Vaihtosähkö	AC-1	Ei-induktiiviset tai lievästi induktiiviset kuormitukset, vastusuunit, sähkölämmitykset ja vedenlämmittimet
	AC-2	Liukurengasmootorit: käynnistys, pysäytys
	AC-3	Oikosulkumootorin käynnistys, pyörivän moottorin pysäytys (1)
	AC-4	Oikosulkumootorin tippakäynnistys (keskeytyvä käynnistys), suunnanvaihto ja vastavirtajarrutus
	AC-5 a	Purkauslamppujen kytkentä
	AC-5 b	Hehkulamppujen kytkentä
	AC-6 a	Muuntajien kytkentä
	AC-6 b	Kondensaattoriparistojen kytkentä
	AC-7 a	Lievästi induktiiviset kuormitukset kotitaloussähkölaitteissa ja vastaavissa sovelluksissa
	AC-7 b	Moottorikuormitukset kotitaloussovelluksissa
	AC-8 a	Hermeettisten jäähdytysmoottorikompressorien ohjaus, kun ylivirtakuormituslaukaisimen palautus on käsikäyttöinen (2)
	AC-8 b	Hermeettisten jäähdytysmoottorikompressorien ohjaus, kun ylikuormituslaukaisimen palautus on automaattinen (2)

## Lämpörele

Ylikuormitusrele tunnetaan paremmin nimellä lämpörele, sen avulla voidaan valvoa moottorin ylikuormitusta. Lämpöreleessä on bi-metallielementti kuten moottorin suojakatkaisijassa ja toiminta on samanlainen näiltä osin. Lämpörele ei kuitenkaan kykene havaitsemaan oikosulkua, joten käytettäessä lämpörelettä on piiri varustettava lisäksi oikosukusuojauksella. (Mäkinen & Kallio 2004, 118.)

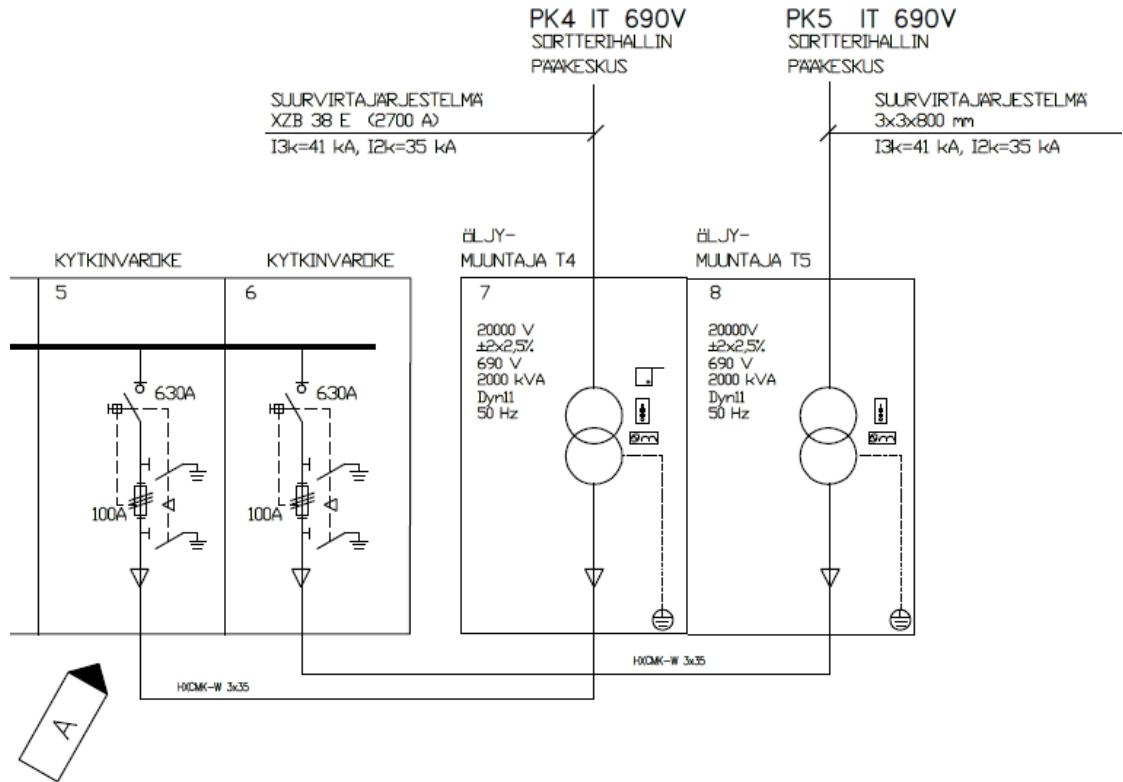
Lämpöreleen toiminta perustuu bi-metalliliuskaan, joka taipuu releen läpi kulkevan virran lämpövaikutuksesta. Ylivirtatilanteessa rele laukeaa ja koskettimet avautuvat, kun virta ylittää releelle asetellun arvon. Kun releen sisällä oleva bi-metalliliuska on jäähtynyt tarpeeksi, rele voidaan palauttaa jälleen toimintaan painikkeesta. (Aho-ranta 2011, 110.)

## 4 Nykyinen laitteisto

### 4.1 Sähkönjakelu

Opinnäytetyössä tarkasteltavina olivat VTT:n Jyväskylän toimipisteen moottorikeskuksetkeskukset PK4, PK5 ja PK5.1. Sähkönjakelu on toteutettu käyttäen IT-jakelujärjestelmää, jossa verkon jännitteenä käytetään 690 V. IT-jakelujärjestelmässä jännitteiset osat on erotettu maasta. Järjestelmässä on käytössä maasulun valvontalaitteisto normaalin TN-S-jakelujärjestelmän vikavirtavalvonnan sijaan. (Hietalahti 2013, 127.)

Järjestelmässä olevat jännitteelle alttiit osat, kuten muuntajan ja moottorien rungot, on suojamaadoitettu. Moottorien rungot on maadoitettu keskuksessa kulkevaan maadoituskiskoon, joka on päämaadoituskiskon kautta yhteydessä maadoituselektrodiin. Teho keskuksille PK4 ja PK5 syötetään muuntamosta M670 muuntajilta T4 ja T5 (ks. kuvio 13). Pääkeskukselle PK5.1:n syöttö tulee PK5:n kautta.



Kuvio 13. Sähkönjakelu keskuksille PK4 ja PK5

## 4.2 MNS-pienjännitekeskus

Kohteessa on ABB:n valmistamat MNS-pienjännitekeskukset, jotka on kasattu profiloituista teräslevyistä. Nämä työssä tarkastellut keskukset ovat kennokeskuksia, jotka on sijoitettu joko erillisiin pääkeskustiloihin tai samaan tilaan ohjattavien moottorien kanssa. Kennokeskuksissa jokainen moottorinkäynnistinyksikkö on omassa osastossaan irrallaan muista yksiköistä (ks. kuvio 14). Tarkasteltavana olevat keskukset on varustettu valokaarisuojauksella ja maasulunvalvonnalla, koska jakelujärjestelmänä käytetään IT-järjestelmää.

Keskuksissa on käytössä ulosvedettävät käynnistinyksiköt, jotka on mahdollista irrottaa keskuksen ollessa jännitteellinen. Käynnistinyksikön virran syöttö tapahtuu keskuksessa olevien koskettimien avulla, johon käynnistinyksikössä olevat virranottimet

työnnetään. Käynnistinyksiköiden ulosvedettävyyden vuoksi syöttö- tai ohjausvirta-kaapelointia ei tuoda suoraan käynnistinyksikköön, vaan lähtökenttien sivussa on oma tila kaapeloinneille. Kaapelitilaan tuodaan ohjaus ja syöttökaapelit. Kaapelitilassa on myös riviliittimet ohjauskaapeleille ja käynnistinyksiköiden syöttökenttien kytkennät. Keskuksissa on myös maadoituskisko, joka kulkee keskuksen koko leveydellä ja se on kiinnitetty suoraan keskuksen runkoon. Maadoituskiskoon on myös tehty pystykiskot kaapelitiloihin, joihin moottorien syöttökaapelien maadoituskaapelit ovat kytkettyinä.



Kuvio 14. MNS-kennokeskus

### 4.3 Moottorikäynnistinyksiköt

Moottorikäynnistinyksiöt ovat ulosvedettäviä, ja ne on jaettu omiin osastoihinsa. Ulosvedettävyys mahdollistaa huolto- ja muutostyöt kaukana jännitteellisistä osista. Yksikön ulosvetoa helpottaa yksikön edessä oleva vetokahva (ks. kuvio 15). Yksikköjen koot on vakioitu, ja ne määräytyvät käytettävän moottorin tehon perusteella. Yksikön ulosveto onnistuu helposti ilman työkaluja kääntämällä yksikön kannessa oleva kytkin erotusasentoon. Erotusasennossa takaseinän liitäntäyksikön jännitteisiä osia suojaavat kosketussuojat, jolloin jännitteisiin osiin ei ole mahdollista päästä vahingossa koskettamaan. (MNS iS moottorikojeisto 2005, 13-14.)



Kuvio 15. Ulosvedettävät käynnistinyksiköt

Käynnistinyksikköön on kasattu tarvittavat ohjaus- ja päävirtakomponentit moottorin käyttöä varten. Se on liitetty väyläliitynnällä kommunikointiyksikköön. Työssä tarkasteltujen moottorilähtöjen rakenteet ovat samanlaisia keskenään. Tarkasteltavina olevien keskusten käynnistinyksiköt sisälsivät:

- kytkinvarokkeen
- kontaktorin
- ohjauspiirin sulakkeen

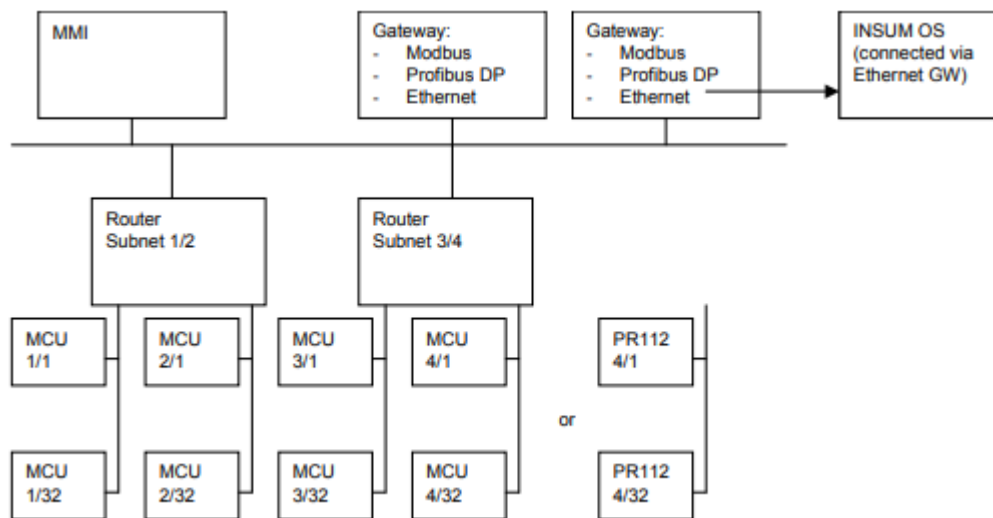
Jokaisessa käynnistinyksikössä on lisäksi MCU2-moottorinohjausyksikkö (Motor Control Unit), jonka tehtävänä on suojata ja hoitaa moottorin ohjaaminen. Yksikkö sisältää kenttäväyläliitynnän, jolla se yhdistetään INSUM-järjestelmään. MCU2 koostuu pääyksiköstä ja virran mittaussyksiköstä sekä mahdollisesta jännitteen mittauksesta. (MCU User's Guide 2006, 7.)

#### 4.4 INSUM-moottorinohjausjärjestelmä

Moottorien ohjaamiseen käytetään INSUM-moottorinohjausjärjestelmää. INSUM-järjestelmän sisällä tiedonsiirto tapahtuu Profibus DB -kenttäväylän avulla. Jokaisessa keskuksessa on oma kommunikointiyksikkö (INSUM Communication Unit) sekä käyttöpaneeli (Man Machine Interface). Kommunikointiyksikkö sisältää taustalevyn, johon kiinnitetään verkkoyhdyskäytävät, reitittimet ja virtalähde. Kommunikointiyksikkö tarjoaa INSUM:n sisäisen viestintärajapinnan sekä rajapinnan ohjausjärjestelmien ja INSUM:n välillä. MMI:tä voidaan hallita kommunikointiyksikköön liitettyjä kenttä- ja viestintälaitteita. Sillä voidaan ohjata MCU2:ta ja lukea sen lähettämää dataa. (MCU User's Guide 2006, 87) MMI:n avulla onnistuu lisäksi

- kenttälaitteiden parametrien tarkastelu ja muuttaminen
- laitteiden lisääminen ja poistaminen
- moottorien tilan tarkastelu ja mittaustiedot
- MCU2 lähettämien hälytyksien tarkastelu ja kuittaus.  
(MMI Operating Instructions 2002, 13.)

INSUM OS (Operator Station) on tehokas työkalu, jonka avulla voidaan parametroida, valvoa ja ohjata INSUM-järjestelmän sisäisiä laitteita (ks. kuvio 16). Se on PC-pohjainen ohjelmisto, joka on tarkoitettu Windows ympäristöön. MCU2-yksiköjä voidaan ohjata lisäksi hajautettuja ohjausjärjestelmiä käyttäen. Kommunikointiyksikön verkkoyhdyskäytävän avulla kommunikointi on mahdollista tässä tapauksessa käytössä olevan Valmet DNA -automaatiojärjestelmän kanssa. (Operator Station Installation Guide V2.3b 2003, 20.)



Kuvio 16. INSUM-järjestelmän kokoonpano (MCU User's Guide 2006, 6)

## 5 Selvitystyön tulokset

### 5.1 Pääkeskus PK4

Sähköpääkeskus PK4:ssä on kaikkiaan 17 moottorilähtöä, jotka selvitystyön jälkeen jäivät jäljelle päivitettäväksi uuteen. Lähdöt sijaitsevat keskuksen PK4 lohkoissa 06 ja 07 (ks. taulukko 3). Moottorien tehot ovat pääasiassa pienehköjä, mutta joukossa on myös muutama isompi moottori.

Keskuksessa on alun perin ollut enemmänkin lähtöjä, mutta osa näistä moottorinlähdöistä on poistunut käytöstä laitteiston vaihtuessa ajansaatossa. Osa vanhoista käytöistä on myös muutettu taajuusmuuttajaohjatuiksi. Kaikkien jäljelle jääneiden moottorilähtöjen käynnistystapana on suora käynnistys ja kuormat ovat pääasiassa puhallin- ja pumppukäyttöjä.

Taulukko 3. PK4 moottorit

Positio	Nimi	INSUM	Kenno Nro	Sijainti	Moottori(kW)	Virta(A)
822-B-002	KESKIPAKOPUHALLIN	2/1	06031	PK4-06	11	11,6
812-A-012	SORTTERIN NOKKASÄILIÖN 2.POTKURISEKOITIN	2/2	06032	PK4-06	11	13,3
812-P-013	Tyhjöpumppu 2	2/3	06033	PK4-06	11	12,4
812-P-016	Lukkovesisäiliön pumppu	2/4	06034	PK4-06	5,5	6,4
812-E-012	Poistomassan kuljetin	2/6	06042	PK4-06	3	3,6
822-B-001	SIVUKANAVAPUHALLIN	2/9	06051	PK4-06	12,5	16,2
822-P-001	SUIHKUVESIPUMPPU	2/10	06052	PK4-06	37	37
02-27-M02	Puristimen alatelan moottorin jäähdytys	2/12	06062	PK4-06	2,2	3
812-P-007	Vesisäiliön tyhjennospumppu	2/14	06072	PK4-06	18,5	20
822-P-007	SEKOITUSSUIHKUVESIPUMPPU	2/15	06011	PK4-06	11	12,5
812-A-040	SORTTERIN VESISÄILIÖN POTKURISEKOITIN	2/16	06010	PK4-06	22	25
812-P-002	Massasäiliön tyhjennospumppu	2/17	06009	PK4-06	30	32,5
823-E-003	OSKILLOINTI AV	2/18	07011	PK4-07	0,03	0,115
823-E-004	OSKILLOINTI YV	2/19	07012	PK4-07	0,03	0,115
822-B-003	SIVUKANAVAPUHALLIN	2/20	07013	PK4-07	3	3,7
822-P-005	LAIMENNUSVESIPUMPPU	2/22	07014	PK4-07	15	16,7
812-A-110	SORTTERIN MASSASÄILIÖN POTKURISEKOITIN	2/24	0702	PK4-07	22	25

## 5.2 Pääkeskustila PK5

Pääkeskustila PK5 sijaitsee samassa keskustilassa PK4:n kanssa. Keskuksessa on huomattavasti vähemmän moottorilähtöjä käytössä ja niitä jäi käyttöön kaiken kaikkiaan vain seitsemän (ks. Taulukko 4). Varauksia moottorilähdöille on kuitenkin runsaasti, varsinkin pienemmässä kokoluokassa.

Kaikki keskuksen ohjaamat kuormat ovat pumppukäyttöjä. Moottorien koot ovat pääasiassa pieniä kuten PK4:ssä, mutta muutama isompikin on lisäksi. Moottorilähdöt sijaitsivat kaikki keskuksen lohossa 06.

Taulukko 4. PK5 moottorit

Positio	Nimi	INSUM	Kenno Nro	Sijainti	Moottori(kW)	Virta(A)
822-P-019	LÄMMINVESIPUMPPU	3/1	06031	PK5-06	5,5	6,1
822-P-020	KAARISIH TIPUMPPU	3/2	06032	PK5-06	18,5	19,4
822-P-021	HIVAC 1KAMMIO EKSTRAKTIO PUMPPU	3/3	06033	PK5-06	5,5	6,1
833-P-004	PU JA HUOPAIMUTELA EKSTRAKTIO PUMPPU	3/5	06041	PK5-06	1,5	1,95
833-P-005	SIIRTOIMUTELA EKSTRAKTIO PUMPPU	3/6	06042	PK5-06	1,5	1,95
833-P-006	ALAHUOPAIMURI EKSTRAKTIO PUMPPU	3/7	06043	PK5-06	2,2	2,96
822-P-023	ALASPUDOTUSPUMPPU	3/9	0608	PK5-06	37	38,4

### 5.3 Pääkeskustila PK5.1

Keskus PK5.1 sijaitsee eri tilassa kahden muun keskuksen kanssa. Keskus ei ole erillisessä sähkötilassa, vaan samassa tilassa sen ohjaamien moottorien kanssa. Tässä keskuksessa on kaikkiaan 11 moottorilähtöä, jotka jäivät käyttöön (ks. taulukko 5). Lähdöt sijaitsevat keskuksen lohkoissa 02 ja 03. Keskuksessa ei ole yhtäkään pois jäänyttä moottorilähtöä.

Moottorien käyttämät kuormat ovat pääasiassa pumppuja, mutta joukossa on myös sekoittimet varastosäiliölle. Moottorien koot ovat pääasiallisesti suurempia kahteen muuhun keskuksen verrattuna. Suurimpien moottoreiden tehot ovat 160 kW ja näidenkin moottorien käynnistystapana on suora käynnistys.

Taulukko 5. PK5.1 moottorit

Positio	Nimi	INSUM	Kenno Nro	Sijainti	Moottori(kW)	Virta(A)
833-P-010	GLYKOLIPUMPPU	4/1	02011	PK5.1-02	15	15,9
833-P-009	TIIVISTEVESIPUMPPU	4/2	02012	PK5.1-02	4	4,8
833-P-001	TYHJÖPUMPPU 3	4/3	0205	PK5.1-02	160	167
833-P-002	TYHJÖPUMPPU 4	4/4	0206	PK5.1-02	160	167
822-P-004	TYHJÖPUMPPU 2	4/5	0306	PK5.1-03	110	112
822-P-003	TYHJÖPUMPPU 1	4/6	0305	PK5.1-03	132	134
822-P-040	Varastos.1 pumppu	4/7	0204.2	PK5.1-02	22	24,6
822-A-021	Varastos.1 alempisekoitin	4/8	0204.1	PK5.1-02	22	25
822-A-020	Varastos.1 ylempisekoitin	4/9	02013	PK5.1-02	11	13,2
822-P-041	Varastos.2 pumppu	4/10	02014	PK5.1-02	15	17,4
822-A-022	Varastos.2 sekoitin	4/11	0304.1	PK5.1-03	22	25

#### 5.4 INSUM:n ulkopuoliset moottorit

Keskuksissa PK5 ja PK5.1 on lisäksi moottorilähtöjä, joita ei ole liitetty INSUM:iin (ks. taulukko 6). Nämä lähdöt on toteutettu releohjauksina, joita ohjataan digitaalilähtöjen avulla. Nämä moottorit haluttiin kuitenkin liittää tulevaan laitteistoon.

Moottoreiden käynnistyksessä käytetään suoraa käynnistystä kuten kaikissa muissakin työssä tarkastelluissa moottoreissa. PK5.1:n moottorit ovat kaikki hydraulikka keskuksen toimintaan vaikuttavia. PK5 moottoreissa oli pääasiassa lyhyitä kuljettimia ja oskillointeja.

Taulukko 6. INSUM:n ulkopuoliset moottorit

Positio	Nimi	Kenno Nro	Sijainti	Moottori(kW)	Virta(A)
834-P3-019	Suodatus ja jäähdytyskierto	03011	PK5.1-03	15	17
834-H-019	Lämmitys hydraulikkakeskus	03012	PK5.1-03	vastukset 3x3	8
834-P1-019	Puristin nipin kuormituspumppu	0302	PK5.1-03	37	39,5
834-P2-019	Puristin nipin voitelu, hydraulikkakeskus	0303	PK5.1-03	22	25
853-P-003	Rullain vesileikkuri, pitkän kuljettimen vieressä	06011	PK5-06	5,5	6,4
853-M-001	Hylkykuljetin poikittaishihna	06012	PK5-06	0,55	0,75
834-M-012	1.puristimme alahuopa suihkuputken oskillointi	06013	PK5-06	0,18	0,4
834-M-011	P-U huopa suihkuputken oskillointi	06014	PK5-06	0,06	0,23
834-M1-016	Hylkykuljetin pitkittäishihna M1	0607	PK5-06	1,5	2,8
834-M2-016	Hylkykuljetin pitkittäishihna M2	0607	PK5-06	1,5	2,8

## 6 Oma toteutusehdotus

### 6.1 Lähtökohdat

Alkuperäisessä laitteistossa on ABB:n valmistama MNS-pienjännitekeskus, jonka käyttöjännite on 690 V. Sama keskusrakenne oli käytössä kaikissa tarkastelluissa keskuksissa, joissa oli INSUM-ohjausjärjestelmä käytössä. Ennen työni aloittamista ABB:ltä oli kysytty korvaavaa järjestelmää INSUM:lle. Ehdotuksena ABB oli suositellut UMC-järjestelmää, joka oli varustettu älykkäillä moottorikäynnistinyksiköillä. Ehdotusta ei ollut vielä kuitenkaan lähdetty viemään eteenpäin, koska ensin oli selvitettävä laitteiston nykytila.

Laitevalmistaja tulisi melko varmasti olemaan uudessa laitteistossa myös ABB, mikä myös toimeksiantajan puolesta kerrottiin jo työn alussa. Työssä ei siis tarvinnut vertailla laitevalmistajia keskenään vaan tehdä ehdotus uuden laitteiston toteuttamisesta. Keskuksia oltiin vain uusimassa osittain, joten valitsemalla ABB laitevalmistajaksi säästyttäisiin myös keskusten turhalta purkamiselta ja muutostöiltä.

Selvitystyössä ilmeni myös muutamia seikkoja, joilla olisi vaikutuksia uusimiseen. Nykyiset kaapeloinnit haluttiin säilyttää, mutta ne oli mitoitettu niin, että ne juuri riittivät nykyisiin käynnistinyksiköihin. Tämä vaikuttaisi osaltaan siihen, että käynnistinyksiköiden fyysinen sijainti olisi oltava samassa paikassa, jotta kaapeloinnille ei tarvitsisi tehdä muutoksia. Käynnistinyksiköt haluttiin uudessa laitteistossa yhdistää Profibus-väylään, joten väyläliityntä mahdollisuus pitäisi olla uudessa ratkaisussa. Keskustilat nykyisellään olivat ahtaita eikä niissä ollut tyhjää seinätilaa juurikaan, joka sulkisi taajuusmuuttajien käytön lähes kokonaan pois lukuun ottamatta pääkeskus PK5.1:tä.

#### **UMC100.3**

MNS UMC on älykäs moottorinohjaus ratkaisu. Sitä käytetään moottorien ohjaamiseen ja suojaukseen. Normaalisti signaalien tuottamiselle, valvonnalle ja ohjauksille vaadittaisiin erilliset laitteensa, mutta UMC-releessä on nämä kaikki ominaisuudet,

joten kaikki hoituu yhden laitteen avulla. Yhden yksikön myötä vähenee myös kaapeloinnin tarve. Moottorinohjain lähettää jatkuvasti tietoa moottorilta ja sen lähettämän virhediagnostiikan avulla voidaan ennaltaehkäistä vikojen aiheuttamia katkoksia. (Mäkynen 2012, 19.)

UMC-yksikköä voidaan käyttää itsenäisenä laitteena, jolloin sitä ohjataan sen omasta LCD-paneelistai tai se voidaan liittää haluttuun kenttäväylään, jolloin etäkäyttö on mahdollista. Yksikössä itsessään on virran mittaus 63 A asti. Tätä suuremmilla virroilla on käytettävä erillisiä virtamuuntajia, jotka muuntavat virran pienemmäksi. (Technical Description UMC100.3 Universal Motor Controller 2015, 9-10.) Yksikköön on myös sisäänrakennettuna ohjauksia, kuten:

- ylikuormitusrele
- suora käynnistys
- tähtikolmiokäynnistys
- kaksinopeuskäyttö (navanvaihto, Dahlander)
- toimilaitteohjaukset
- pehmokäynnistys
- Transparent (Technical Description UMC100.3 Universal Motor Controller 2015, 73-96)

Releessä on lisäksi suojausominaisuuksia, jotka voidaan kytkeä päälle tai ottaa pois päältä. Osa suojauksista on aina päällä ja osa kytkeytyy päälle moottorin käynnistytksen aikana tai käynnistytksen jälkeen. Ylivirtasuojaus on kuitenkin aina käytössä.

(Technical Description UMC100.3 Universal Motor Controller 2015, 40.)

## 6.2 Moottorien käynnistysten valinta

Keskuksissa olevien moottorien koot vaihtelevat rajusti, joten kaikkien moottorien käynnistäminen ja mahdollinen ohjaaminen samalla tavalla ei olisi järkevää. Moottorit jaettiin kolmeen eri kokoluokkaan ja niille tehtiin omat toteutusehdotukset perustuen moottorin tehoon. Käynnistystavat on valittu niin, että ne olisi mahdollista toteuttaa nykyiseen kennokeskukseen.

### **Moottorit alle 10 kW**

Keskuksissa on paljon moottorilähtöjä, joiden tehot jäävät pieniksi. Käytettävät laitteet ovat pumppuja, puhaltimia, kuljettimia ja oskillointeja. Joukossa on myös yksi lämmitysryhmä, joka huolehtii hydraulikkakeskuksen lämmittämisestä.

Näille moottoreille ei nähty tarpeelliseksi käynnistystavan vaihtamista, vaikka suorassa käynnistyksessä ilmeneekin joitakin ongelmia käynnistyksen aikana. Nykyisellä käynnistystavalla ei ole ilmennyt mekaanisten osien nopeampaa kulumista tai muita huollon tarvetta lisääviä ongelmia. Lisäksi käynnistysvirrat ovat suhteessa pienempiä verrattuna isompiin moottoreihin, joten hetkellistä kuormitusta verkkoon ei synny niin paljoa. Osa käytettävistä laitteista on käytössä vain vähän, joten käynnistyskerrota ei kerry paljoa tai ne ovat pidempiä aikoja päällä yhtäjaksoisesti.

Näiden alle 10 kW teholtaan olevien moottorien käynnistämiseen ja käyttämiseen tulisi lisäksi lisäyksenä UMC-rele, joka on liitettävissä väylään. UMC-rele korvaisi nykyisen MCU2-releen. Näiden moottorien käynnistysyksiköihin ei siis tulisi muita muutoksia, kuin uusi UMC-rele nykyisen tilalle. Näin voitaisiin käyttää saman kokoisia yksiköitä käynnistämiseen kuin aiemminkin.

### **Moottorit 10-37 kW**

Tämän kokoluokan moottoreiden käyttämät laitteet olivat pääasiassa pumppuja, puhaltimia ja sekoittimia. Näiden moottorien käynnistys oli toteutettu samoin kuin pienemmilläkin moottoreilla eli suorana käynnistysenä. Näissä käytöissä ei vaadita suurta käynnistysmomenttia, jonka suora käynnistys aiheuttaa. Varteenotettavimpina käynnistystapoina ovat pehmokäynnistin ja taajuusmuuttaja, koska kuormitukset ovat pääasiallisesti neliöllisiä.

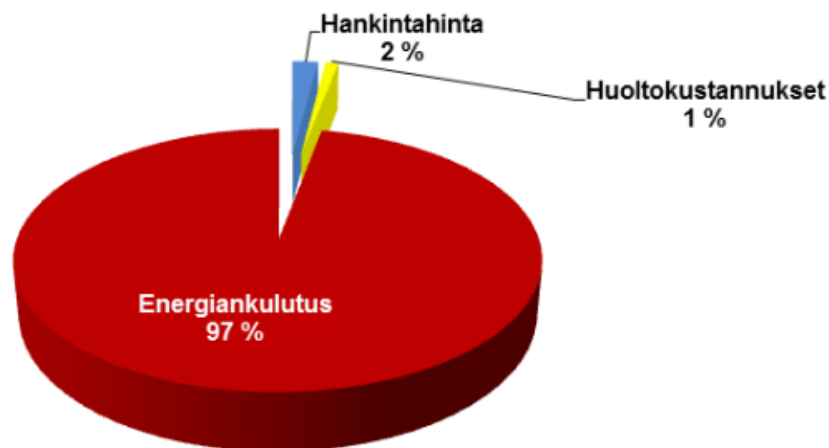
Moottorien säätämislle ei ole välttämätöntä tarvetta, joten pehmokäynnistys on hyvin varteenotettava vaihtoehto. Keskustiloissa ei lisäksi ole juurikaan seinätilaa nykyisellään, johon taajuusmuuttajat voisi asentaa. Pehmokäynnistin on myös tarkaste-lujen mukaan mahdollista mahduttaa ulosvedettävän käynnistinyksikön sisälle ja liittää väylään aivan kuten taajuusmuuttajakin. Pehmokäynnistimen hinta on myös tässä kokoluokassa puolet pienempi, joten pehmokäynnistin on hyvä valinta näille moottoreille.

## Tyhjiöpumput

PK5.1 kanssa samassa tilassa sijaitsevat tyhjiöpumput, joiden tehot ovat 110, 132, 160 ja 160 kW (ks. Taulukko 5). Näiden moottorien käynnistystapana on suora käynnistys. Tämän kokoisten moottorien kohdalla suoralla käynnistyksellä syntyvät käynnistysvirrat ovat suuria ja mekaaniset rasitukset laitteistolle ovat voimakkaita.

Kyseessä on pumppukäyttö, joten varteenotettavat vaihtoehdot moottorin käynnistämiseen ovat pehmokäynnistin ja taajuusmuuttaja. Moottorien tehot huomioon ottaen, ei muita järkeviä vaihtoehtoja ole. Kummallakin näistä käynnistysvirtojen rajoittaminen onnistuu hyvin ja käynnistys saadaan suoritettua ilman turhaa laitteiston raskittamista. Tyhjiöpumppujen käyttöön parempi näistä kahdesta on taajuusmuuttaja, koska se tarjoaa mahdollisuuden säätää moottoria tarvittavalla tavalla. Taajuusmuuttajassa käytettäisiin hyväksi DTC-säätöä, joka tarjoaa tarkimman säädettävyyden.

Taajuusmuuttajan hinta pehmokäynnistimeen verrattuna on noin kaksinkertainen tässä kokoluokassa. Hinta eroa on paljon, mutta moottorin hankintahinta on hyvin pieni osa koko moottorin elinkaaren aikana syntyvistä kustannuksista (ks. kuvio 17). Kustannukselliset erot kääntyvät taajuusmuuttajan eduksi pitkällä aikavälillä, kun moottoria kuormitetaan vain tarvittavalla teholla, joka säästää energiakustannuksissa.



Kuvio 17. Moottorin elinkaarikustannuksien jakautuminen (Kujala 2017)

Nykyisellään pumppujen paineen säätöön käytetään venttiilejä. Venttiilien käyttö tulisi tarpeettomaksi, kun säätö voitaisiin tehdä taajuusmuuttajaa käyttäen. Taajuusmuuttajan käyttö myös vähentäisi huollon tarvetta, kun säätöventtiileitä ei enää tarvittaisi.

## 7 Pohdinta

Työn tarkoituksena oli selvittää nykyisen INSUM-järjestelmän nykytila ja selvittää tarvittavat tiedot uuteen laitteistoon siirtymistä varten. Laitteiston nykytilan selvittäminen oli tarpeellista, koska nykyisen järjestelmän huoltotuki ja sitä kautta myös varaosien saanti oli loppumassa. Selvitystyön lisäksi työn kehittävänä osuutena oli oman näkemyksen tuominen moottorien käynnistämiseksi ja käyttämiseksi. Oman näkemyksen tarkoituksena oli tuoda uutta näkökulmaa INSUM-järjestelmän ja moottorien käynnistysten päivittämiseksi.

Selvitystyön tuloksena saatiin keskusten PK4, PK5 ja PK5.1 nykytila selville tarvittavilta osin, jotta uuden laitteiston suunnittelu olisi mahdollista. Keskusten ohjaamat moottorit, moottorien kilpitiedot sekä INSUM-tunnukset koottiin samaan tiedostoon. Aiemmin laitteiston tiedot olivat hajallaan eri paikoissa, joten kaiken selkeyttämiseksi ne yhdistettiin samaan paikkaan. Keskuksissa oli lisäksi moottorilähtöjä, joita ei ollut liitetty osaksi INSUM:a. Näistä INSUM:n ulkopuolisista moottoreista selvitettiin vastaavat tiedot ja ne otettiin työhön mukaan, jotta ne saataisiin yhdistettyä uuteen laitteistoon.

Selvitystyössä saatuja tietoja voidaan pitää luotettavina, koska moottorien kilpitiedot kerättiin moottorien tunnusten perusteella. Selvitystyön tuloksena saatuja tietoja tarkasteltiin lisäksi kriittisesti käyttäen hyväksi moottorinkilpitietoja, dokumentointia sekä keskusten moottorinkäynnistinyksiköiden tutkimista käytännössä. Hyötyä oli myös Valmet DNA -automaatiojärjestelmästä sekä Elomaticin 360°tools kunnossapito-ohjelmasta, josta näki moottorien ohjaustietoja sekä niiden huoltohistoriaa.

Selvitystyöhön perustuen tehtiin oma ehdotus moottorien käynnistystä ja käyttöä koskien. Ehdotukseen sisällytettiin myös INSUM:in ulkopuoliset moottorilähdöt,

koska ne sijaitsivat samoissa keskuksissa INSUM ohjattujen moottorilähtöjen kanssa. Ehdotuksen tekemisessä tukeuduttiin teoriapohjassa käsiteltyyn aineistoon, joka antaa hyvää pohjaa oikosulkumoottoriin ja sen käyttöön liittyen. Ehdotuksen toteutusta rajoitti nykyisen laitteiston kaapelointi, keskustilojen ahtaus ja seinätilan puute. Nykyinen kennokeskus osoittautui hyväksi ja keskuksen päivittämisessä voitaisiin käyttää tätä rakennetta hyödyksi, koska se tarjoaa hyviä ominaisuuksia ja muunneltavuutta.

Omassa ehdotuksessa jaettiin moottorit tehojensa perusteella kolmeen luokkaan, joka helpotti toteutuksen suunnittelua. Tehoihin perustuva lähestymistapa valittiin, koska keskuksessa olevat moottorien käynnistinyksikköjen koot määräytyvät tehojen perusteella. Ehdotuksessa otettiin myös huomioon mahdollisimman hyvin käytännön toteutusta rajoittavat tekijät. Pienimmille alle 10 kW moottoreille valittiin suora käynnistys, koska tehot olivat pieniä ja käynnistysvirrat suhteellisen pieniä verrattuna suurempiin moottoreihin. Moottoreille joiden teho oli välillä 10-37 kW käynnistystavaksi valittiin pehmokäynnistys, jolla voitaisiin käynnistää moottorit tasaisesti ilman turhaa mekaanista kuormitusta laitteistolle. Käytettävien laitteiden kuormitus oli lähinnä neliöllistä joten pehmokäynnistimen valinta oli hyvä varsinkin kun ei ollut paljoa tilaa käytettävissä. Suurimpien tyhjiöpumppujen käynnistämiseen ja säätämiseen valittiin taajuusmuuttajat joilla voitaisiin säätää myös moottorin tuottamaa painetta. Taajuusmuuttajan myötä ei olisi enää perusteltua säätää pumppujen painetta erillisillä venttiileillä.

Opinnäytetyön pohjalta voidaan lähteä miettimään laitteiston päivityksen käytännön toteuttamista, kun tarvittavat tiedot laitteistosta ovat selvillä. Nykyinen laitteisto on siirtynyt Limited-tilaan, joten sen varaosien saatavuus on jo nyt hyvin rajoitettua ja tämä varmasti tulee vauhdittamaan laitteiston uusimista. Annetun ehdotuksen pohjalta voidaan miettiä sopivien käynnistystapojen valintaa, jotta saadaan laskettua moottorien käynnistysvirtoja. Pieniä moottoreita lukuunottamatta suorasta käynnistyksestä pois siirtymien varmastikin on kannattavaa. Vähäinen tila pääkeskuksissa rajoittaa säädettyihin käyttöihin siirtymistä, joten miettimisen arvoista varmasti tulevaisuudessa onkin keskustilojen laajentaminen.

## Lähteet

Ahoranta, J. 2011. Sähköasennustekniikka. 9. uud. p. Helsinki: Sanoma Pro.

Farin, J., Peltonen, L., Pykälä, M. & Uski-Joutsenvuo, S. 2009. Taajuusmuuttajien rakenne, mitoitus ja säätö generaattorikäytöissä. VTT:n tutkimusraportti. Viitattu 1.11.2019. <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/TAMU-loppuraportti.pdf>

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Tammertekniikka

Hietalahti, L. 2012. Säädetyt sähkömoottorikäytöt. Tampere: Tammertekniikka.

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Tampere: Tammertekniikka.

Kananen, J. 2017. Kehittämistutkimus Interventiotutkimuksen muotona. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Korpinen, L. 2008. Sähkövoimatekniikkaopetus. Sähkökoneet, osa 1. Viitattu 23.9.2019 [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/10sahkokoneet\\_1osa.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf)

Kujala, S. 2017. Energian säästäminen sähkömoottorilla nyt ja tulevaisuudessa. Artikkelin VEM Motors Finlandin verkkosivustolla 8.12.2017. Viitattu 27.11.2019. <https://www.vem.fi/uutiset/energian-saastaminen-sahkomoottorilla-nyt-ja-tulevaisuudessa/>

MCU User's Guide Version 3.0d. 2006. Käyttöopas Motor Management INSUM -järjestelmäoppaasta. Viitattu 4.12.2019. [https://library.e.abb.com/public/91f04021c8c99f95c12574c800306243/060815\\_1TGC901022M0201\\_MCU%20Users%20Guide%20V3.0d.pdf](https://library.e.abb.com/public/91f04021c8c99f95c12574c800306243/060815_1TGC901022M0201_MCU%20Users%20Guide%20V3.0d.pdf)

MMI Operating Instructions Version 2.3. 2002. Toimintaohje Motor Management INSUM -järjestelmäoppaasta. Viitattu 4.12.2019. [https://library.e.abb.com/public/76b999c9b20f7cf0c1256caf0043524a/1TGC901034M0201\\_MMI%20Operating%20Instructions%20V2.3.pdf](https://library.e.abb.com/public/76b999c9b20f7cf0c1256caf0043524a/1TGC901034M0201_MMI%20Operating%20Instructions%20V2.3.pdf)

MNS iS Moottorikojeisto Version 1.5/0. 2006. Järjestelmäohje ABB Oy:n moottorikojeistosta. Viitattu 7.11.2019. <https://library.e.abb.com/public/6368abab4ece495d8c5932bf04734d23/1TFC902008B1801.pdf>

Mäkinen, M. & Kallio, R. 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Helsinki: Otava.

Mäkynen, A. 2012. UMC100 Toiminnallisuus. Opinnäytetyö, AMK. Vaasan ammattikorkeakoulu, Tekniikan ja liikenteen ala, sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 19.11.2019.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40755/UMC100\\_Toiminnallisuus\\_Final\\_theseus.pdf?sequence=3](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40755/UMC100_Toiminnallisuus_Final_theseus.pdf?sequence=3)

Niiranen, J. 1999. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki: Otatieto.

Operator Station Installation Guide V2.3b. 2003. Asennusohje MNS Motor Management INSUM -järjestelmäoppaasta. Viitattu 4.12.2019. <https://library.e.abb.com/public/1efcd39b55ef0e00c1256ccd0035c5d7/1TGC901065M0201%20Insum%20OS%20Installation%20Guide%20V2.3b.pdf>

Pehmökäynnistinopas. 2011. ABB Oy:n opas. Viitattu 28.11.2019.

[https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12\\_01.pdf](https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf)

Pienjännitekytkinlaitteet. 2000-07. ABB:n TTT-käsikirja, luku 12.3. Viitattu 15.11.2019.

[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/12\\_3\\_Pienj%84nnitekytkinlaitteet.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/12_3_Pienj%84nnitekytkinlaitteet.pdf)

Suora momentinsäätö. 2001. ABB Oy:n Tekninen opas nro 1. Viitattu 23.10.2019.

<https://library.e.abb.com/public/fdba0b31a34b89d1c1256d280040b4ae/Tekninenopasnro1.pdf>

Sähkökäytön mitoitus. 2001. ABB Oy:n tekninen opas nro 7. Viitattu 27.9.2019.

[https://library.e.abb.com/public/b11dfe92973be93c1256d2800415027/Tekninen\\_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11dfe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf)

Sähkömoottorikäytöt. 2000-07. ABB:n TTT-käsikirja, luku 18. Viitattu 24.10.2019.

[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/18\\_S%84hk%94moottorik%84yt%94t.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/18_S%84hk%94moottorik%84yt%94t.pdf)

Taajuusmuuttajat. N.d. Gradian sähkö- ja automaatiotekniikan perustutkinnon oppimateriaalisivusto. Viitattu 28.10.2019. <https://blogit.gradia.fi/sahkonet/sahko-ja-automaaioasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/>

Technical Description UMC100.3 Universal Motor Controller. 2015. Tekninen kuvaus ABB Oy:n tuotteesta UMC100.3. Viitattu 25.11.2019. <https://library.e.abb.com/public/00c5e886fce94931a3a2f18627421813/2CDC135032D0203.pdf>

VTT Vuosikertomus 2018. N.d. Vuosikatsaus VTT Oy:n verkkosivustolla. Viitattu 27.09.2019

[https://www.vtt.fi/Documents/vtt\\_tietoa\\_meista/esittelymateriaalit/vtt\\_katsaus/VT\\_T\\_Vuosikertomus\\_2018.pdf](https://www.vtt.fi/Documents/vtt_tietoa_meista/esittelymateriaalit/vtt_katsaus/VT_T_Vuosikertomus_2018.pdf)