

Jukka Lehvonen

Liukurengaskoneen päivitys taajuus- muuttajakäytöksi karkeavalssaamon kuu- masahalla

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä	Jukka Lehvonen
Työn nimi	Liukurengaskoneen päivitys taajuusmuuttajakäytöksi karkeavalssaamon kuumasahalla
Toimeksiantaja	Ovako Imatra Oy Ab
Vuosi	2024
Sivut	28 sivua, liitteitä 3 sivua
Työn ohjaaja(t)	Tarmo Makkonen

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö tehtiin Ovako Imatra Oy Ab:n terästehtaan karkeavalssaamolle. Opinnäytetyön tavoitteena oli saada lähtömateriaali karkeavalssaamon kuumasaha 1:n vanhan liukurengasmootorin päivityksestä oikosulkumootorin ja taajuusmuuttajan muodostamaan käyttöön. Tässä käyttötarkoituksessa moottoria ja käyttöä kuormittavat huomattavan suuret hetkelliset kuormat sahauksen aikana. Päivityksen kohteena on nimenomaan kuumasahan päämoottori, joka pyörittää sahan noin 1700 mm halkaisijaltaan olevaa terää. Sahalla lyhennetään valssauksesta tulevat profiilit sopivaan pituuteen ennen raudan jäähtymistä.

Uuden käytön moottoritehon ja taajuusmuuttajan koon määrittämiseen tarvitaan paljon tietoa nykyisestä käytöstä otettavasta kuormituksesta. Nykyisen liukurengasmootorin tuottama teho pitää määrittää riittävällä tarkkuudella, jotta uuden käytön järkevä mitoittaminen oli mahdollista. Uuden käytön komponentit pyrittiin mahdollisuuksien mukaan mitoittaminen ylisuuriksi, jolla mahdollistetaan tarvittaessa moottorista otettavan hetkellisen tehon kasvattaminen.

Tämänkaltaisen käytön mitoittaminen ei ole mitenkään erityisen helppoa joh-tuen erittäin suurista ja hetkittäisistä kuormien vaihteluista. Täten olisi järkevää pyrkiä rauhoittamaan moottorilta otettavaa tehoa optimoimalla sahan syöttöä paremmin hallituksi. Moottorin mitoittaminen tässä työssä esitettävällä tavalla on mahdollista kohteeseen, jossa tila ja paino eivät tule ongelmaksi ja moottorin ja käytön käyttökustannukset eivät ole iso ongelma. Jatkovaa tehoa käyttäviin sovelluksiin moottoria ei kannata mitoittaa näin paljon ylitehoiseksi. Ylimi-toittamisella pyrittiin varmistamaan moottorin ja etenkin taajuusmuuttajan kes-tävyys pitkälle tulevaisuuteen. Samalla saadaan valssaamolle saha, jolla pys-tytään tarvittaessa katkaisemaan vielä nykyistäkin suurempia profiilikokoja kuumasahaamalla.

Asiasanat: Sähkökäytöt, sähkökoneet, sähkömoottori, taajuusmuuttaja

Degree title	Bachelor of engineering
Author (authors)	Jukka Lehvonen
Thesis title	Upgrading old slipring motor in to variable frequency drive at hot rolling mill.
Commissioned by	Ovako Imatra Oy Ab
Time	2024
Pages	28 pages, 3 pages of appendices
Supervisor	Tarmo Makkonen

ABSTRACT

This thesis is done for Ovako Imatra Oy Ab heavy bar mill. Goal of the thesis was to make a preliminary plan for replacing old slipring motor to the induction motor and variable frequency drive at hot saw 1. At this application motor and the frequency converter get significant amount of overload spikes during the sawing. The motor that will be replaced in this upgrade is the main motor of hot saw 1. The blade that motor is running is about 1700 mm in diameter. With this saw, the long profiles that come from milling are cut down. This cutting is done before the bar is cooled.

When designing the new electric drive, it's important to have all the necessary data from the old drive and how the power of the old use has behaved. It was important to define how much power will be drawn out from the old motor with sufficient accuracy before it is possible to design the new electric drive to this location. Components of the new drive was designed to be a bit overpowered to ensure the possibility to get enough peak power in every situation.

Designing this kind of electrical drive isn't an easy task because the power output variations are extremely big. Because of that it would be better to make feed movement of the saw much more controllable. Designing the motor this way is possible in the places, where the size or mass of the motor aren't a problem and the usage costs are not so important design features. In the application where motor output power is constant, designing the motor and frequency converter this much overpowered is not reasonable. In this case with oversizing the motor and the drive we ensure that those components are going to last long into the future. At the same time, we will get a heavy bar rolling mill saw that will be able to handle bigger bars than current ones, if needed.

Keywords: Electric drives, electric machines, electric motor, variable frequency drive

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	UUDEN JA VANHAN KÄYTÖN TEKNIikka	6
2.1	Nykyisen liukurengasmoottorikäytön perustiedot.....	6
2.2	Liukurengasmoottorin toiminta.....	7
2.3	Oikosulkumoottorin perusteita	9
2.4	Taajuusmuuttajan perustietoja.....	9
2.5	EMC-suojaus	10
3	KÄYTÖN MITOITUS.....	11
3.1	Nykyisen käytön perustiedot.....	11
3.2	Moottorin ottovirtojen mittaus sahauksen aikana	12
3.3	Moottorin tehon laskeminen.....	15
3.4	Uuden moottorin kierrosnopeus.....	17
3.5	Taajuusmuuttajan valinta	20
4	SÄHKÖSUUNNITTELU	23
4.1	Syöttö- ja moottorikaapelin mitoitus	23
4.2	Kaapeloinnin jännitteenalenema.....	27
4.3	Keskus kojeiden valinta	28
4.4	Sähköpiirustuksien piirtäminen	29
5	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET	33

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Ovako Imatra Oy Ab. Työn tarkoitus on tehdä perussuunnittelu ja moottorikäytön mitoitus karkeavalssaamalla sijaitsevalle kuumasaha 1:lle. Kuumasahauksessa oikeaan mittaan valssattu tanko katkaistaan määrämittaan kuumana (lämpötila noin 1000°C). Katkaiseminen tehdään pyörivällä terällä, jonka kehänopeus on noin 100 m/s. Tämä valikoitui opinnäytetyön aiheeksi johtuen saha 1:n vanhentuneesta liukurengasmootorikäytöstä, johon uuden varamootorin hankkiminen ei ole enää järkevä vaihtoehto.

Oikosulkumootorin ja taajuusmuuttajan tai pehmokäynnistimen muodostama sähkökäyttö on lähes kaikissa uusissa sähkökäytöissä korvannut liukurengasmootorin. Nykyinen käyttö on toteutettu liukurengasmootorin kanssa johtuen kohtuullisen raskaasta käynnistyksestä (terä on noin 1700 mm halkaisijaltaan ja painoa on noin 600 kg). Toinen syy liukurengasmootorin käyttöön on nopeasti vaihteleva ja korkea kuormitus sahaushetkellä.

Mitoitukselle lähtökohdaksi otettiin, että tehoa on uudessa käytössä oltava mieluummin liikaa kuin liian vähän. Näin pystytään varmistamaan sahan tehon riittävyys tulevaisuudessakin mahdollisissa poikkeustilanteissa (jäähtyneiden rautojen sahaaminen). Tämän vuoksi tässä opinnäytetyössä sovellettu sähkökäytön mitoitus tapa ei sovellu normaaleihin moottorikäyttöihin. Sähkökäytön päivityksellä oikosulkumootoriksi saadaan myös varmistettua sahan sähkökomponenttien varaosasaatavuus pitkälle tulevaisuuteen.

2 UUDEN JA VANHAN KÄYTÖN TEKNIikka

Tässä osiossa käydään läpi olemassa olevan liukurengasmoottorikäytön tekniikkaa peruseräiteineen, suunniteltavan oikosulkumoottorikäytön tekniikkaa sekä molempien moottoreiden hyviä ja huonoja puolia.

2.1 Nykyisen liukurengasmoottorikäytön perustiedot

Olemassa oleva kuumasaha 1 pohjautuu alkuperäiseen versioon, joka on rakennettu nykyiselle paikalleen vuonna 1939. Tämän jälkeen sahaan on tehty vain pieniä muutoksia. Näistä muutoksista tämän työn kannalta merkittävin on tehty 90-luvulla, jolloin sahaan on vaihdettu toisen mallinen liukurengasmoottori (kyseinen moottori oli käytetty jo silloin). Käyttöön ei ole olemassa varalla sopivantehoista ja sopivalla kierrosnopeudella olevaa liukurengasmoottoria.

Saha itsessään on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen. Sahan terä, vauhtipyörä ja moottori ovat kaikki samalla akselilla. Tämä mainittu kokonaisuus on erillisen kelkan päällä, jota liikutetaan hydraulisylinterillä, sahan edestä kulkevaa rullarataa ja sillä olevaa kuumaa rautaa kohden. (Kuva 1.)



Kuva 1. Yleiskuva sahasta

Kuumasahaus on menetelmänä erittäin tehokas tapa katkaista valssattu rauta määrämitta. Tällä menetelmällä saadaan rautoihin myös kohtuullisen hyvä laatu katkaistun profiilin päähän, verrattuna moneen muuhun menetelmään.

2.2 Liukurengasmoottorin toiminta

Nykyisessä käytössä on käytetty liukurengasmoottoria, joka kuuluu epätahtikoneisiin, kuten normaali oikosulkumoottorikin. Liukurengasmoottorin staattori-käämitys on samankaltainen kuin normaalissa oikosulkumoottorissa. Kuitenkin liukurengasmoottorin roottori eroaa normaalista oikosulkumoottorin häkkikäämityksestä. Liukurengasmoottorin roottorille on käämitetty (tyypillisesti) kolmivaiheinen käämitys. (VEM 2017a.) Tämä käämitys on tyypillisesti kytketty tähteen ja käämityksien päät ovat tuotuna liukurenkaille. Nämä liukurenkaat sijaitsevat joko N- tai D-päädysssä moottoria (kuva 2).

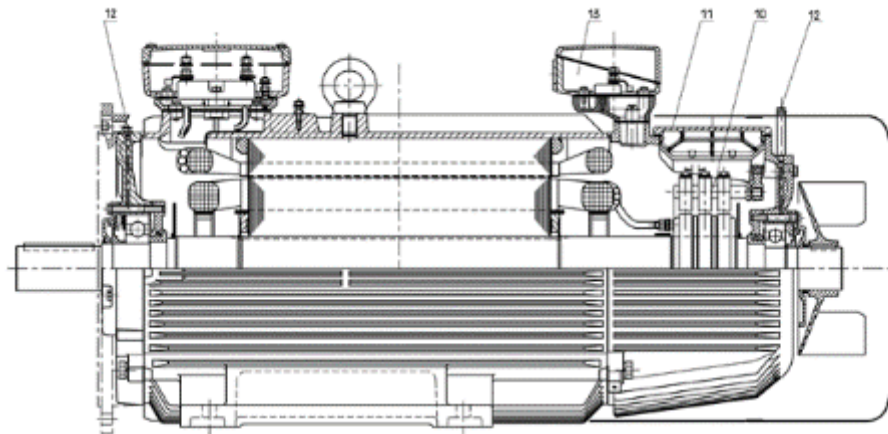


Figure 2: Mechanical design of slip-ring motor S11R/S11H 315 MX-LY

10 Slip-ring contact system
11 Service cover

12 Relubrication facility
13 Terminal box for slip-ring contact system

Kuva 2. Liukurengasmoottorin halkileikkaus (VEM 2017a)

Liukurenkaita vasten ovat hiiliharjat, joihin on kytketty kaapelin välityksellä roottorivastuspaketti (kuva 3). Roottorivastuksen resistanssia muuttamalla pystytään vaikuttamaan liukurengasmoottorin tuottamaan momenttiin.

Kun liukurengasmootoria käynnistetään niin, roottorivastuksen resistanssi tulisi olla mahdollisimman suuri. Kun moottorin kierrokset kasvavat ja staattorivirta pienenee, pienennetään roottorivastusta, jolloin moottorin jättämä pienee ja kierrosnopeus pyrkii nousemaan. Kun moottorin kierrosnopeus on lähellä nimellistä kierrosnopeutta, kytketään vastuspaketti oikosulkuun, jonka jälkeen moottori toimii lähes normaalin oikosulkumoottorin tavoin.



Kuva 3. Liukurengasmootorin roottorivastuspaketti

Tyypillisesti roottorivastuksen säätäminen on toteutettu portaittain kontaktorien avulla, kontaktoreilla oikosuljetaan vastuksia tähtipisteen puoleisesta päästä alkaen (kuva 5).

Liukurengasmootorilla saavutetaan korkea käynnistysmomentti, pehmeäkö käynnistys ja matalahko käynnistysvirta. Haittapuolena ovat hiiliharjojen ja liukurenkaiden jatkuva huollon tarve, useat kuluvat kontaktorit, pyörimisnopeuden haastava säätäminen sekä vastukset hukkaavat energiaa kiihdytettäessä ja tilanteissa, joissa ne eivät ole oikosuljettuna. Tämän lisäksi liukurengasmootorit ovat nykyisin harvinaisia, ja uudet koneet ovat kalliita ja niiden toimivisaika on pitkä. Liukurengasmootorin erottaa oikosulkumoottorista helpoiten pitemmästä rakenteesta ja yleensä kahdesta erillisestä kytkentäkotelosta.

2.3 Oikosulkumoottorin perusteita

Oikosulkumoottori on yleisin teollisuudessa käytetty moottorityyppi. Oikosulkumoottori kuuluu epätahtimoottoreihin, kuten liukurengasmoottorikin. Tämän moottorityypin suureen suosioon on johtanut sen erittäin vähäinen huollon tarve, yksinkertainen rakenne, standardisoitu runkokokojärjestelmä ja nykyisin taajuusmuuttajakäyttöjen yleistyttyä kohtuullisen hyvä ja nopea nopeuden sekä momentin säädettävyys, myös ilman erillistä takaisinkytkentää. Haittapuolia ovat suuri käynnistysvirta suorassa käynnistyksessä ja matalahko käynnistysmomentti. (VEM 2017b.)

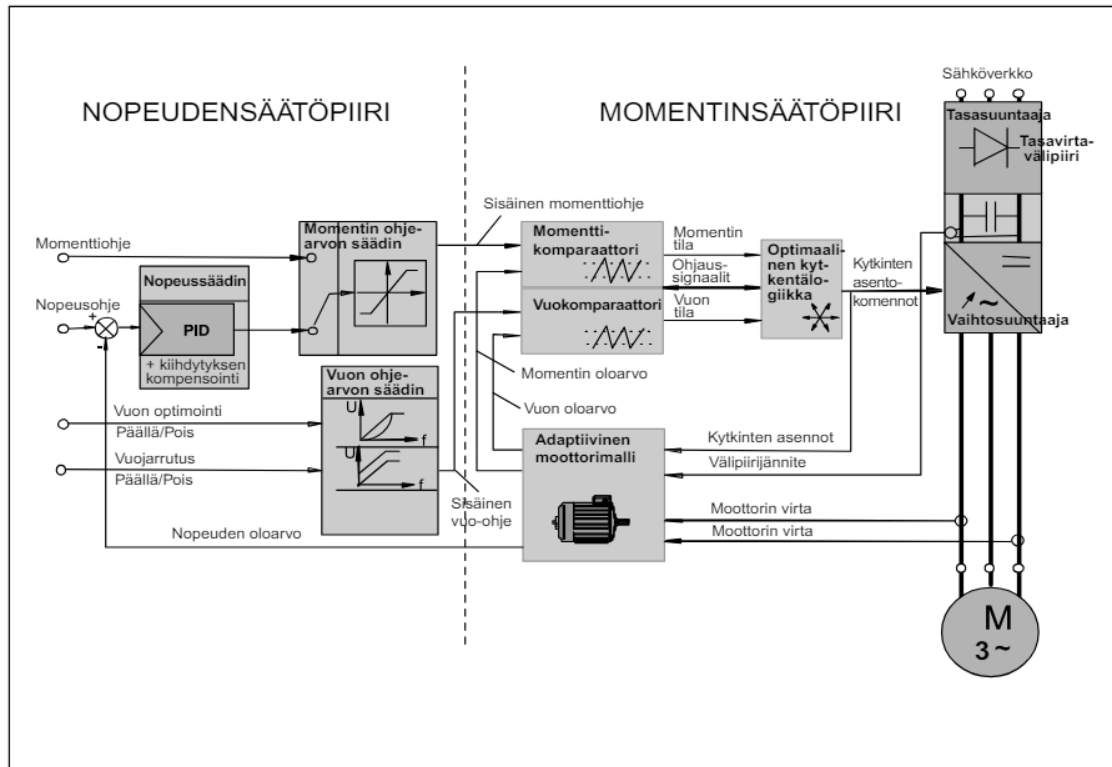
Oikosulkumoottori koostuu staattorista, johon on käämitty staattorikäänitys sekä roottorista, johon on tehty useimmiten alumiinista valamalla häkkikäänitys. Staattorikäänityksen muodostama magneettikenttä leikkaa roottorin häkkikäänityksen sauvat ja muodostaa näin häkkikäänitykseen virran. Tämä virta muodostaa roottoriin magneettikentän, joka pyrkii yhdessä staattorin kentän kanssa pyörittämään roottoria. (VEM 2017b.)

2.4 Taajuusmuuttajan perustietoja

Taajuusmuuttaja nimensä mukaisesti muuttaa siihen syötetyn sähkön taajuutta kuormana olevan laitteen tarpeen mukaiseksi. Tällä taajuuden muutoksella on tavoitteena saada moottori pyörimään, kyseiseen käyttöön sopivalla pyörimisnopeudella. Taajuusmuuttaja on mullistanut nopeuden säätöä vaativien käyttöjen kehityksen täysin. Aiemmin nopeuden säätö on jouduttu toteuttamaan lähes täysin DC-moottoreiden kanssa. Näiden ylläpito on kuitenkin työlästä ja DC-moottorin hiilien ja kommutaattorin toimiminen oikein (kommutointi) on suhteellisen tarkka lämpötilasta, kuormasta, ilman laadusta ja monesta muusta ympäristötekijästä johtuen. Nämä edellä mainitut seikat ovat tehneet taajuusmuuttajan ohjaamasta oikosulkumoottorista erittäin houkuttelevan vaihtoehdon nopeussäädettyihin käyttöihin. (ABB 2001a.)

Valtaosa taajuusmuuttajista on rakenteeltaan ja toiminnan peruseriaateiltaan samankaltaisia. Ensin taajuusmuuttajaan syötetty sähkö tasasuunnataan, joko passiivisilla diodeilla toteutetulla tasasuuntaussillalla tai aktiivisilla komponenteilla tehdyllä ohjattavalla sillalla. Tämä tasasuunnattu sähkö syötetään jänniteläipiiriin, joka koostuu kondensaattoreista.

Kondensaattoreilta tasasähkö syötetään ohjattavista puolijohteista (ylivoimaisesti yleisen puolijohdetyyppi on IGBT) tehdyllä sillalle. Tällä sillalla tasasähköstä muodostetaan sopivasti pätkimällä PWM-tekniikalla siniaallon kaltainen sopivalla taajuudella muuttuva jännite. (Kuva 4.) Tämä jännite syötetään eteenpäin moottorille. (ABB 2001a.)



Kuva 4. Taajuusmuuttajakäytön sisäinen rakenne on oikealla ja nopeussäätöpiirin lohkokaaquio vasemmalla (ABB 2001a, 26)

2.5 EMC-suojaus

Taajuusmuuttajan käyttämien moottoreiden kaapeloinnissa on käytettävä EMC-suojaukset täyttävää kaapelointia, koteloointia ja läpivientitarvikkeita. Tämän suojauksen toteuttaminen oikein on tärkeää, jotta saadaan minimoitua ympäristöön leviävien sähkömagneettisten häiriöiden määrä. Tämä suojaus toteutetaan keskuksen, taajuusmuuttajan, turvakytkimen ja moottorin osalta umpinaisella maadoitetulla metallisella koteloinnilla. Kaapeloinnin yhteydessä on käytettävä symmetristä johtavalla suojavaipalla varustettua kaapelointia. Tällainen kaapeli estää tehokkaasti sähkömagneettisten häiriöiden säteilemisen ympäristöön.

Ohjauspiirikaavioista selvisi, että vastuksien oikosulkuun tarkoitetut kontaktorit ajetaan yksi kerrallaan kiinni aikaviiveen avulla moottorin startissa eikä erillistä virranvalvontaa oltu toteutettu. Tämä yksinkertaisti moottorin tehon ja väännön käyttäytymistä sahauksen aikana huomattavasti, koska voidaan olettaa moottorin pyörivän oikosulkukoneena käynnistyksen jälkeen. Tämän johdosta tehon määrittystä lähdettiin tekemään suoraan staattorin sahauksen aikana ottamista virroista sekä moottorin tyyppikilpitiedoista.

Itse moottorin tyyppikilpitiedot ovat seuraavat.

Merkki	AEG
Malli	AM125B/6
Nimelliskierrosnopeus	970 rpm
Nimellisteho	100 kW
Nimellisjännite	380 V
Käytössä oleva kytkentä	Kolmio
Nimellisvirta	198 A
Paino	1210 kg

3.2 Moottorin ottovirtojen mittaus sahauksen aikana

Virtojen mittaus toteutettiin Hiokin MR8880 digitaalisella monikanavapiirturilla. Piirtoon otettiin vaiheiden L1 ja L3 virrat. Mittauksessa käytettiin Hiokin omia virtapihtejä (pihtien malli Hioki 9018-50). Virrat mitattiin moottorilähdöstä heti kontaktorin K1 jälkeen (kuva 6). Piirturin asetuksina käytettiin piirtonopeutta 2s/ruutu ja näytteenottotiheytenä 5000 näytettä/sekunti. Virranmittauksessa pihdit olivat skaalattu piirturilla olevan valmiin mallin mukaisesti, jolloin piirturi tarvittaessa korjaa mahdolliset pihdissä olevat vääristymät. Piirturin asetuksissa ei ole käytetty virralle erillisiä suodatuksia, ainoastaan RMS-laskenta oli päällä. Jännitteen vaihtelu oli olematonta, joten sen piirtämistä ei katsottu tarpeelliseksi tehoa määritettäessä.



Kuva 6 Sahan moottorilähdön kojeita sekä virranmittauspihtien sijainti.

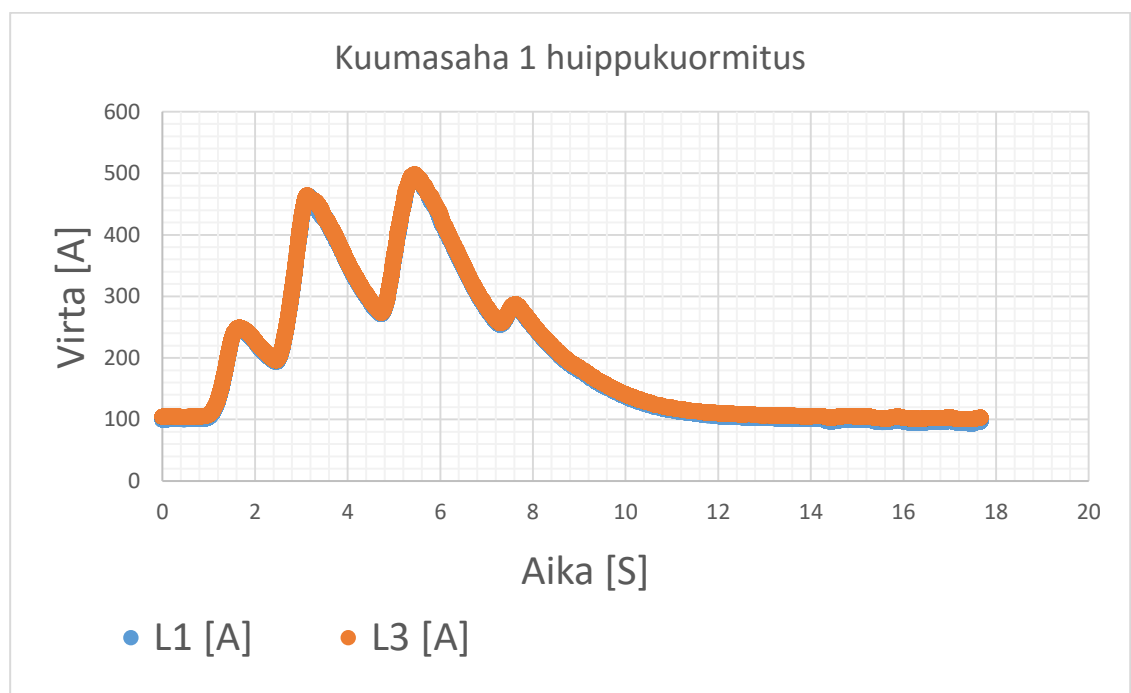
Piirturin virtapihdit asetettiin 200 A:n alueelle (kuva 7). Tällä alueella pihti kestää jatkuvasti 200 A:n virran ja maksimivirta, jonka pihdillä voi tällä alueella mitata on 500 A. Tämän alueen arvioitiin olevan sopiva, koska moottorin nimellinen virta oli 198 A. Mittauksen aikana sahalla oli ajossa halkaisijaltaan 190 mm oleva pyöreä tanko. Tämä koko on suurin pyöreä mitta, jota karkeavalssaamalla valssataan. Neliöpalkkia ajetaan jopa koossa 240x240 mm, mutta sitä ei ollut valmistusjärjestyksessä näkyvillä, joten päätettiin tyytyä pienempikokoiseen profiiliin.



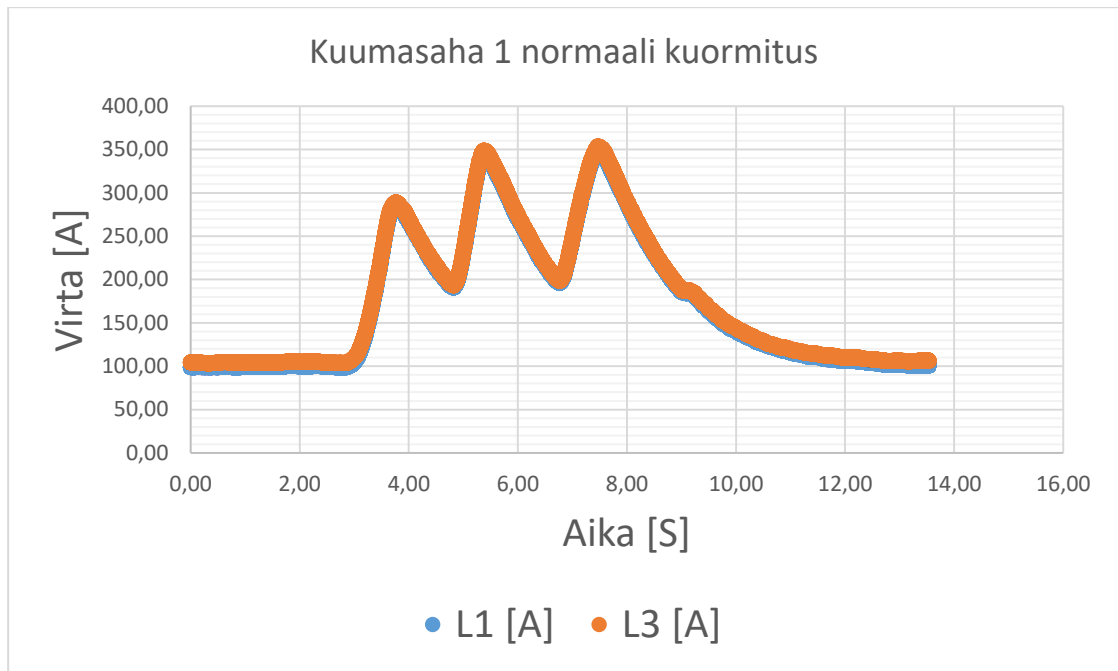
Kuva 7. Virtapihdin asetus ja asento johtimessa mittauksen aikana.

Mittauksen aikana havainnointiin myös sahan käyttäytymistä sahauksen aikana visuaalisesti ja akustisesti. Tämän havainnon perusteella voidaan todeta, että sahan hetkittäinen kuormitus ei voi olla tuon korkeampi, vaikka sahattava profiili olisi isompikin. Moottorin kierrosluku laskee selvästi niin alas, että todennäköisesti moottorin momentti ylittää näillä hetkillä momenttikäyrällä kippipisteen. Tämän vuoksi 190 mm:n pyöreä profiili oli riittävän kokoinen sahattavaksi testauksen aikana. Sahauksen kuormittavuus ja kuormituksen profiili riippuvat erittäin paljon sahaa käyttävän operaattorin tavasta sahata. Tämä vaihtelu johtuu siitä, että sahan syöttöliikettä ja liikenopeutta hallitaan täysin manuaalisesti.

Piirturin kanssa saadut tulokset tallennettiin ja käännettiin Hiokin oman tietokoneohjelmiston avulla Excelissä avautuvaan CVS-tiedostoon. Tästä oli helppo muodostaa pistekaavio, joka havainnollistaa hyvin moottorin ottamaa virtaa sahauksen aikana. Piirtoja otettiin 10:stä eri sahauksesta. Tämä katsottiin riittäväksi määräksi, koska kuvaajat olivat hyvin paljon toistensa kaltaisia. Yksi kuvaaja (kuva 8) erottui joukosta erittäin kovan hetkellisen virran takia. Muut kuvaajat olivat keskenään hyvin samankaltaisia, ja virta-arvot olivat hyvin lähellä toisiaan. Tällaista normaalia sahaustilannetta edustaa hyvin kuva yhdeksän 9.



Kuva 8. Sahan moottorin mitatut virrat suurimmillaan.



Kuva 9. Sahan moottorin mitatut virrat normaalissa kuormitustilanteessa.

Suurimmillaan sahausajan aikana sahan moottori ottaa siis noin 500 A:n hetkellisen virran. Yleisemmin moottorin maksimivirta kävi noin 350 A:n kohdalla sahaushetkellä.

3.3 Moottorin tehon laskeminen

Kuten edellä havaittiin, moottorin ottama kuormitus on erittäin hetkellistä ja koneen kuormitus ylittää hetkellisesti $\sim 2,5$ -kertaisesti nimellisvirran. Tämän perusteella voidaan päätellä, että uuden koneen mitoittamista varten, nykyisestä moottorista otettavan tehon määrittäminen ei tarvitse olla erityisen tarkka. Tämän perusteella voidaan valita, että käytetään moottorin likimääräisen ottovirran kaavaa nro 1 (ABB 2001b, 13).

$$I_m = \frac{T_{kuorma}}{T_n} * \frac{n}{n_n} * I_n \rightarrow I_m = \frac{P_{kuorma}}{P_n} * I_n \quad (1)$$

Jossa	I_m	Virta määrättyllä momentilla	[A]
	T_{kuorma}	Momentti määrättyllä kuormalla	[Nm]
	T_n	Nimellismomentti	[Nm]
	n	Määrätty kierrosluku	[rpm]
	n_n	Nimelliskierrosnopeus	[rpm]
	I_n	Nimellisvirta	[A]
	P_{kuorma}	Teho määrättyllä kuormalla	[kW]
	P_n	Nimellisteho	[kW]

Sovelletaan kaavaa 1 eteenpäin jotta saadaan ratkaistua P_{kuorma} .

$$I_m = \frac{P_{kuorma}}{P_n} * I_n \rightarrow P_n * I_m = I_n * P_{kuorma} \rightarrow P_{kuorma} = \frac{P_n * I_m}{I_n}$$

Lasketaan sovelletun kaavan avulla moottorin antama teho sahauksen virtapiikkien kohdalla. Otetaan virroiksi edellisessä kohdassa mitatut hetkelliset huippuarvot kaikkein pahimmalta sahaukselta ja keskimääräiseltä sahaukselta.

Nämä virrat olivat siis.

$$I_{mk} = 350 \text{ A}$$

$$I_{mh} = 500 \text{ A}$$

$$P_{kuorma k} = \frac{P_n * I_{mk}}{I_n} \rightarrow P_{kuorma k} = \frac{100 \text{ kW} * 350 \text{ A}}{198 \text{ A}} \sim 177 \text{ kW}$$

$$P_{kuorma h} = \frac{P_n * I_{mh}}{I_n} \rightarrow P_{kuorma h} = \frac{100 \text{ kW} * 500 \text{ A}}{198 \text{ A}} \sim 253 \text{ kW}$$

Edellä lasketun perusteella voidaan päätellä, että tulevasta moottorista täytyy saada hetkellistä akselitehoa enimmillään likimain 250 kW.

3.4 Uuden moottorin kierrosnopeus

Uuden moottorin ja taajuusmuuttajan kanssa haluttiin myös optimoida sahanterän kehänopeus. Uudemmallalla saha 2:lla käytössä on havaittu optimaaliseksi nopeudeksi 6000 m/min. Tämä kehänopeus täytyy saavuttaa sahanterän halkaisijoilla 1800 mm – 1600 mm. Terän kehänopeus saadaan laskettua kaavalla 2 (MAOL 2012, 124).

$$v = r * \omega \quad (2)$$

Jossa	v	Kehänopeus	[m/s]
	r	Terän säde	[m]
	ω	Kulmanopeus	[rad/s]

Sovelletaan kaavaa 2 eteenpäin niin, että saadaan laskettua tarvittava kulmanopeus (ω).

$$v = r * \omega \rightarrow \omega = \frac{v}{r}$$

Lasketaan saadun kaavan avulla moottorilta vaadittavat kulmanopeudet, kun terälle tarvitaan kehänopeus $v = 6000$ m/min. Ääripäät käytössä oleville teräkoille ovat aiemmin mainitut $d_1=1600$ mm ja $d_2=1800$ mm.

Muunnetaan lähtötiedot oikeisiin yksiköihin.

$$d_1=1600 \text{ mm} \rightarrow d_1=1,6 \text{ m} \rightarrow r_1 = 0,8 \text{ m}$$

$$d_2=1800 \text{ mm} \rightarrow d_2=1,8 \text{ m} \rightarrow r_2 = 0,9 \text{ m}$$

$$v= 6000 \text{ m/min} \rightarrow v = 100 \text{ m/s}$$

Sijoitetaan arvot kaavaan ja lasketaan kulmanopeudet ω_1 ja ω_2

$$\omega_1 = \frac{v}{r_1} \rightarrow \omega_1 = \frac{100 \text{ m/s}}{0,8 \text{ m}} = 125 \text{ rad/s}$$

$$\omega_2 = \frac{v}{r_2} \rightarrow \omega_2 = \frac{100 \text{ m/s}}{0,9 \text{ m}} = 111 \text{ rad/s}$$

Muunnetaan kulmanopeudet w_1 ja w_2 yksikköön r/s kaavan 3 avulla (MAOL 2012, 29).

$$\pi * rad = 180^\circ \quad (3)$$

Koska kokonainen ympyrä on 360° , kerrotaan kaavan 3 molemmat puolet 2:lla jotta saadaan muutettua kulma edustamaan kokonaista ympyrää.

$$2\pi rad = 360^\circ \rightarrow 360^\circ = \frac{rad}{2\pi}$$

Yhtälö voidaan soveltaa kulmanopeutta ja kierrosnopeutta edustavaan muotoon, muuttamalla koko ympyrää edustava kulma 360° kierrosnopeudeksi n ja kulma rad kulmanopeudeksi w .

$$360^\circ = \frac{rad}{2\pi} \rightarrow n = \frac{w}{2\pi}$$

Jossa

n	Kierrosnopeus	r/s
w	Kulmanopeus	rad/s

Lasketaan kierrosnopeudet n_1 ja n_2 .

$$n_1 = \frac{w_1}{2\pi} \rightarrow n_1 = \frac{125 \text{ rad/s}}{2\pi} = 19,894 \text{ r/s}$$

$$n_2 = \frac{w_2}{2\pi} \rightarrow n_2 = \frac{111 \text{ rad/s}}{2\pi} = 17,67 \text{ r/s}$$

Muunnetaan kierrosnopeudet n_1 ja n_2 muotoon r/min.

$$n_1 = 19,894 \text{ r/s} * 60 \text{ s/min} = 1194 \text{ r/min}$$

$$n_2 = 17,67 \text{ r/s} * 60 \text{ s/min} = 1060 \text{ r/min}$$

Näiden kierrosnopeuksien perusteella vaikuttaisi jo suoraan järkevimmältä valita käyttöön 200 kW:n 1000 r/min moottori. Tarkastamme kuitenkin vielä laskemalla, että tuottaako 4-napainen vai 6-napainen moottori korkeimmalla vaa- ditulla (1194 r/min) kierrosnopeudella korkeamman väännön.

Taulukossa 1:si on esitetty tarkasteluun valittujen moottoreiden tekniset arvot. Moottoreiden runkokoko haluttiin rajata kokoon 315. Tämän vuoksi 6-napai- nen (1000 r/min) moottori on korotetun tehon versio. 4-napaisista (1500 r/min) moottoreista otettiin vertailuun 250 kW:n moottori, koska suoraan nimellisar- voista voidaan päätellä, ettei 200 kW:n version vääntö tule riittämään.

Output kW	Motor type	Product code	Speed r/min	Efficiency IEC 60034-30-1: 2014			Power factor Cos φ	Current			Torque			Moment of inertia J = 1/4 GD ₂ kgm ₂	Weight kg	Sound pressure Level L _{pk} dB
				Full load 100%	3/4 load 75%	1/2 load 50%		I _n A	I _v /I _n	T _n Nm	T _v /T _n	T _v /T _n				
200	M3BP 315LKE 6	3GBP313850-→M	993	96,3	96,5	96,2	0,81	372	7,0	1923	2,2	2,8	9,2	1600	76	
200	M3BP 315LK3 4	3GBP312820-→K	1487	96,0	96,4	96,4	0,86	351	6,8	1284	2,4	3,0	3,4	1480	74	
250	M3BP 315LK 4	3GBP312830-→K	1488	96,0	96,2	96,0	0,84	445	7,7	1604	2,5	3,2	4,4	1460	73	
315	M3BP 315LKE 4	3GBP312850-→K	1489	96,0	96,2	96,1	0,84	558	8,3	2020	3,0	3,3	5,5	1600	73	

Taulukko 1. Tarkasteluun valittujen moottoreiden tekniset arvot (ABB 2024a, 20,24)

Oikosulkumoottorista saadaan nimelliskierrosnopeuden alapuolella nimellis- vääntö T_{nb} (ABB 2001b, 10). Joten 250 kW:n 1500 r/min moottori valitsemalla saadaan 1194 kierroksen kohdalla väännöksi 1601 Nm moottorin virralla 432 A (taulukko 1). Moottori toimii vakioteholla nimellispisteen yläpuolisella kierrosnopeusalueella (ABB 2001, 10). Tällöin moottorin tuottama momentti laskee, kun kierrosnopeus nousee. Näin 200 kW:n 1000 r/min moottorista saadaan samat 200 kW:a tehoa kierrosnopeudella 1194. Joten käytössä oleva vääntö saadaan laskettua kaavan 4 avulla (ABB 2001b, 14).

$$T = \frac{9550 * P_n}{n} \quad (4)$$

Jossa	T	Momentti	[Nm]
	9550	Vakiokerroin	
	P _n	Nimellisteho	[kW]
	n	Kierrosnopeus	[r/min]

Lasketaan toteutuva vääntö kierrosnopeudella 1194 r/min.

$$T = \frac{9550 * P_n}{n} \rightarrow T = \frac{9550 * 200 \text{ kW}}{1194 \text{ rpm}} = 1599,6 \text{ Nm} \sim 1600 \text{ Nm}$$

Lasketaan vielä tarvittava virta kyseisen väännön saavuttamiseen kaavan 1 avulla:

$$I_m = \frac{T_{kuormaa}}{T_n} * \frac{n}{n_n} * I_n \rightarrow I_m = \frac{1599,6 \text{ Nm}}{1923 \text{ Nm}} * \frac{1194 \text{ r/min}}{993 \text{ r/min}} * 372 \text{ A} = 372 \text{ A}$$

Toistetaan laskut isomman teräkseen vaatimalla pienemmällä kierrosnopeudella 1060 r/min. Lasketaan toteutuva vääntö kierrosnopeudella 1061 r/min.

$$T = \frac{9550 * P_n}{n} \rightarrow T = \frac{9550 * 200 \text{ kW}}{1060 \text{ rpm}} = 1802 \text{ Nm}$$

Lasketaan vielä tarvittava virta kyseisen väännön saavuttamiseen kaavan 1 avulla:

$$I_m = \frac{T_{kuormaa}}{T_n} * \frac{n}{n_n} * I_n \rightarrow I_m = \frac{1802 \text{ Nm}}{1923 \text{ Nm}} * \frac{1061 \text{ r/min}}{993 \text{ r/min}} * 372 \text{ A} = 372 \text{ A}$$

Näiden laskelmien perusteella on järkevämpi valita käyttöön 6-napainen (1000 r/min) moottori. Tämän moottorin tuottama vääntömomentti on korkeampi ja momentti vielä tarvittaessa nousee kierroksien pudotessa.

3.5 Taajuusmuuttajan valinta

Tämän kaltaisessa käytössä, jossa moottoria ylikuormitetaan hetkittäisesti, taajuusmuuttajan mitoituksessa on tärkeää, että muuttaja pystyy syöttämään moottorille reilusti virtaa ilman, että taajuusmuuttaja itse ylikuormittuu. Edempänä käyttöön valittiin 6-napainen (1000 r/min) 200 kW:n moottori. Tämän moottorin nimelliset arvot ovat seuraavat, $I_n = 372 \text{ A}$, $P_n = 200 \text{ kW}$, $n_n = 993 \text{ r/min}$, $U_n = 400 \text{ V}$, $f_n = 50 \text{ Hz}$ (taulukko 1).

Lasketaan näiden tietojen perusteella tarvittava moottorivirta kaavan 1 avulla hetkellisellä maksimiteholla 250 kW.

$$I_m = \frac{P_{kuorma}}{P_n} * I_n \rightarrow I_m = \frac{250 \text{ kW}}{200 \text{ kW}} * 372 \text{ A} = 465 \text{ A}$$

Lasketun virran perusteella valitaan kohteeseen soveltuva taajuusmuuttaja. Muuttajan valinnassa varmistetaan, että kuormitettavuus riittää varmasti käytön tarpeisiin. Näin myös varmistetaan, että moottoria pystytään tarvittaessa ylikuormittamaan reilusti sahauksen niin vaatiessa. Moottorin ylikuormituksessa määrääväksi tekijäksi tulee erittäin lyhyessä ylikuormituksessa taajuusmuuttajan kyky syöttää maksimivirtaa (kuva 7) I_{MAX} . Tämä on rajoittava tekijä silloin, kun kuormituksen kesto on 0 - ~6 s. Kun ylikuormitusta jatkuu hieman pidempään, ongelmaksi tulee taajuusmuuttajan tehokomponenttien kuumeneminen. Tämän vuoksi taajuusmuuttaja rajoittaa maksimivirran arvoon I_n . Taajuusmuuttaja pystyy syöttämään kyseistä virtaa I_n jatkuvasti ilman liiallista kuumenemista normaaleissa olosuhteissa.

Taulukossa 2 on tarkasteluun valitut ABB:n ACS880-sarjan taajuusmuuttaja mallit. Taajuusmuuttajaa valittaessa erilaiset käyttösovellukset määrittävät taajuusmuuttajan ja moottorin koon suhteen. Taulukossa 2 sarakkeessa 1 näkyy taajuusmuuttajan malli, sarakkeessa 2 moduulin runkokoko, sarakkeessa 3 nimellisvirta I_n , sarakkeessa 4 maksimivirta I_{max} , ja sarakkeessa 5 taajuusmuuttajan nimellisteho, joka on samalla moottorin nimellisteho kevyessä käytössä. Näillä arvoilla voidaan valita taajuusmuuttaja kevyeen käyttöön, esimerkiksi pumppuun tai puhaltimeen, joka pyörii normaalisti tasaisella kuormalla. Tämän jälkeen tulevissa sarakkeissa 6,7 ja 8 näkyviä arvoja käytetään taajuusmuuttajan mitoituksessa, kun kyseessä olevassa käytössä moottoria joudutaan kevyesti ylikuormittamaan. Tällainen käyttö voisi olla esimerkiksi kuljetin, jonka käynnistämiseksi tarvitaan jonkin verran ylikuormaa. Sarakkeet 9 ja 10 ovat moottorin kilpiarvot raskaassa käytössä. Tällaisia käyttäjiä ovat monet erikoisemmat sovellukset, joissa joudutaan ylikuormittamaan moottoria rajusti ja toistuvasti. Lasketaan arvoilla I_{MAX} ja I_n , mikä vaihtoehdoista olisi soveltuvin. (ABB 2024b.)

$U_n = 400 \text{ V}$ (range 380 to 415 V). The power ratings are valid at nominal voltage 400 V (45 to 1400 kW).

Drive type	Frame size	Nominal ratings			Light overload use		Heavy-duty use		Noise level (dB(A))	Heat dissipation (W)	Air flow (m ³ /h)
		I_N (A)	I_{MAX} (A)	P_N (kW)	I_{Ld} (A)	P_{Ld} (kW)	I_{Hd} (A)	P_{Hd} (kW)			
6-pulse diode											
ACS880-07-0505A-3	R10	505	560	250	485	250	361	200	72	6102	2950
ACS880-07-0585A-3	R10	585	730	315	575	315	429	250	72	6909	2950
ACS880-07-0650A-3	R10	650	730	355	634	355	477	250	72	8622	2950
ACS880-07-0725A-3	R11	725	1020	400	715	400	566	315	72	9264	2950

Taulukko 2 Tarkasteluun valitut taajuusmuuttajavaihtoehdot (ABB 2024b, 33).

Lasketaan (kaava 1), kuinka paljon moottoritehoa saadaan tarvittaessa käyttöön piikkinä tai lyhytkestoisesti, erikokoisilla taulukossa olevilla taajuusmuuttajilla, aiemmin valitusta 200 kW:n 1000 r/min moottorista. Arvioidaan tämän jälkeen saatujen arvojen perusteella, mikä taajuusmuuttajamalli on paras valinta kyseiseen käyttöön.

$$P_{kuorma} = \frac{P_n * I_m}{I_n}$$

Lasketaan ensin nimellisteholtaan 250 kW:n taajuusmuuttajalle hetkellinen teho ja sen lisäksi pitempikestoinen teho.

$$P_{Piikki} = \frac{P_n * I_{max}}{I_n} \rightarrow P_{kuorma} = \frac{200 \text{ kW} * 560 \text{ A}}{372 \text{ A}} = 301 \text{ kW}$$

$$P_{hetkellinen} = \frac{P_n * I_{nt}}{I_n} \rightarrow P_{kuorma} = \frac{200 \text{ kW} * 505 \text{ A}}{372 \text{ A}} = 271 \text{ kW}$$

Lasketaan seuraavana vastaavat arvot nimellisteholtaan 315 kW:n taajuusmuuttajalle.

$$P_{Piikki} = \frac{P_n * I_{max}}{I_n} \rightarrow P_{kuorma} = \frac{200 \text{ kW} * 730 \text{ A}}{372 \text{ A}} = 392 \text{ kW}$$

$$P_{hetkellinen} = \frac{P_n * I_{nt}}{I_n} \rightarrow P_{kuorma} = \frac{200 \text{ kW} * 585 \text{ A}}{372 \text{ A}} = 314 \text{ kW}$$

Lasketaan vielä arvot 355 kW:n taajuusmuuttajalle.

$$P_{\text{piikki}} = \frac{P_n * I_{\text{max}}}{I_n} \rightarrow P_{\text{kuorma}} = \frac{200 \text{ kW} * 730 \text{ A}}{372 \text{ A}} = 392 \text{ kW}$$

$$P_{\text{hetkellinen}} = \frac{P_n * I_{\text{nt}}}{I_n} \rightarrow P_{\text{kuorma}} = \frac{200 \text{ kW} * 650 \text{ A}}{372 \text{ A}} = 349 \text{ kW}$$

Moottoria tullaan todennäköisesti ylikuormittamaan sahauksen aikana jonkin verran. Tämän vuoksi valitaan taajuusmuuttajan kooksi edellä ollut 355 kW, jolloin taajuusmuuttajan malliksi valitaan ACS880-07-0650A-3. Tämän tehoisella taajuusmuuttajalla pystytään tarvittaessa ajamaan moottoria jatkuvasti 175 %:n ylikuormalla ja hetkellinen kuormitus pystytään nostamaan jopa 195 %:iin. Tällä ylimitoittamisella varmistetaan käytön ylikuormituskestävyys sahauksen niin vaatiessa. Tässä käytössä on tärkeämpää kuitenkin hetkellinen ylikuormituskyky, kuten kuvasta 8 ja 9 voidaan huomata. Tämän hetkellisen ylikuormituskyvyn vuoksi taajuusmuuttajan valinta johtaa ylimitoitukseen.

4 SÄHKÖSUUNNITTELU

Seuraavassa osiossa käydään läpi uudessa käytössä tarvittavien kaapelointien mitoitus, keskuskojeiden valinta ja tarvittavien sähkökuvien piirto. Uuteen moottorikäyttöön tulee mitoittaa kaapelointi kokonaan uudelleen, koska uusi sähkösyöttö siirtyy kokonaan eri sähkötilaan. Tämän vuoksi vanhoja kaapelointeja ei pystytä hyödyntämään. Uudelle sähkösyötölle on olemassa tilavaus uudemman sahan sähkökeskuksessa. Uutta käyttöä varten tarvitaan myös muutama uusi I/O-kanava. Nämä kanavat löytyivät varalle jätetyistä kanavista, joten uusien korttien lisäämistä ei tarvitse tehdä.

4.1 Syöttö- ja moottorikaapelien mitoitus

Moottorin kaapelointi toteutetaan taajuusmuuttajan ja moottorin turvakytkimen välillä alumiinikaapelilla, johtuen kohtuullisen pitkästä matkasta ja tarvittavan kaapelin korkeahkosta kuormitettavuudesta. Tällä välillä kaapelireitit ovat hyvät, jolloin alumiinikaapelien käyttö on mahdollista.

Kaapelireitillä vallitseva lämpötila nousee kesällä noin 40°C:seen, joten mitoituksessa on käytettävä sen vuoksi lämpötilakorjauskerrointa. Reitillä on myös palokatko sähkötilaan (~100 mm paksu), ja tällä kohdalla lämpötila jää kuitenkin alhaisemmaksi (korkeimmillaan ~25°C). Palokatkon materiaali on kipsipohjainen, eikä erillisiä läpivientiputkia käytetä.

Sähkötilassa keskuslähdön ja taajuusmuuttajan sekä kentällä turvakytkimen ja moottorin välinen kaapelointi toteutetaan hienosäikeisellä kuparikaapeloinnilla. Näin menetellään siksi, että moottori liikkuu sahauksen aikana ja hienosäikeinen kuparikaapelointi helpottaa asentamista sähkötilassa. Sähkötilan lämpötila on noin 25°C, ja turvakytkimen sekä moottorin ympäristössä lämpötila on noin 40°C. Käytämme näitä lämpötiloja jäljempänä kaapeloinnin mitoituksessa.

Kaapelointi toteutetaan EMC-vaatimuksien mukaisesti (SFS6000-444.4.2) käyttämällä valmistajien ohjeiden mukaisia kaapeleita, joissa on 100 %:n peittävä suoja. Tällä perusteella kaapelityypeiksi valikoituivat taajuusmuuttajan ja turvakytkimen väliselle osalle AEMCMK ja turvakytkimeltä moottorille vastavasti Ölflex CLASSIC 100 CY -tyyppinen häiriösuojauksella varustettu kaapeli.

Kaapeloinnin mitoitukseen käytetään moottorin nimellisvirtaa. Tätä virtaa voidaan käyttää, koska taajuusmuuttajakäyttö rajoittaa moottorin ottaman virran keskiarvon pitkällä aikavälillä nimellisvirtaan, jolloin kaapeloinnin ylikuormituksen riskiä ei ole. Moottorin nimellisvirta on kuvassa 10 mainittu 372 A.

Selvitetään valssihalliin tulevan kaapelin minimikuormitettavuus. Valittu kaapelityyppi on AEMCMK-HF C, jossa on PEX-eristeinen vaippa ja johtimet, alumiiniset äärijohtimet ja kuparinen suojavaippa (Reka 2024). Käytettävä kaapeli on 3+x+x -tyyppinen.

Lasketaan pienin sallittu kaapelin kuormitettavuus. Kaapelireitin vuoksi joudumme laskemaan kuormitettavuuden arvon läpiviennin kohdalla 25°C lämpötilassa sekä kaapelihyllyllä 40°C lämpötilassa. Kaapelireitin alkumatkalla on kaapelihyllyä päällekkäin kahdessa tasossa ja näiden tasojen välillä on korkeuseroa 300 mm.

Kaapelit ovat hyllyllä yhdessä tasossa kiinni toisissaan ja kaapeleiden lukumääräksi tulee uusien kaapelien myötä 6 kpl/hylly. Kaapelihyllynä on ti-kashylly. Näiden tietojen perusteella kaapelin korjauskertoimeksi tulee 0,76 (SFS6000-5-52, B.52.20, 2022). Tilan lämpötilan vuoksi joudutaan käyttämään korjauskerrointa, joka käytössä olevalle kaapelityypille on kyseisessä lämpötilassa (40°C) 0,91 (SFS6000-5-52, B.52.14, 2022). Korjauskertoimet huomioidaan kaapelin kuormitettavuudessa kaavalla 5 (D1-2022, 232).

$$I_{vk} = \frac{I_k}{K_1 * K_2 * \dots * K_n} \quad (5)$$

Jossa	I_{vk}	Kaapelin vaadittu kuormitettavuus	[A]
	I_k	Kuorman ottama virta	[A]
	K_1	Korjauskerroin 1	
	K_2	Korjauskerroin 2	
	K_n	Korjauskerroin n	

Lasketaan vaadittava minimikuormitettavuus taajuusmuuttajan ja turvakytkimen väliselle kaapeloinnin osalle kaavan 5 avulla.

$$I_{vk} = \frac{I_k}{K_1 * K_2 * \dots * K_n} \rightarrow I_{vk} = \frac{372 \text{ A}}{0,76 * 0,91} = 538 \text{ A}$$

Lasketaan seuraavaksi kuormitettavuus palokatkon läpiviennin kohdalla. Lämpötilan korjauskertoimeksi tulee 1,04, ja ryhmittelystä tuleva korjauskerroin on sama kuin edempänä 0,76. Lasketaan minimikuormitettavuus kaavalla 5.

$$I_{vk} = \frac{I_k}{K_1 * K_2 * \dots * K_n} \rightarrow I_{vk} = \frac{372 \text{ A}}{1,04 * 0,76} = 471 \text{ A}$$

Edellä olleiden laskelmien perusteella kaapelilla on oltava vähintään 538 A kuormitettavuutta epäedullisimmassa pisteessä. Näin korkea kuormitettavuus ja kaapelireitti tekevät tuplakaapeloinnin käyttämisestä järkevän vaihtoehdon. Tässä tilanteessa kaapelointi toteutetaan rinnankytketyillä samaa materiaalia ja samalla poikkipinta-alalla olevilla kaapeleilla. Kaapelit ovat myös saman mittaiset eikä niissä ole haaroituksia. Tällöin kaapelointi on standardin

SFS6000.523.7 kohdan a mukainen. Yhden kaapelin kuormitettavuudeksi täytyy saada siis vähintään 269 A. Valittu kaapeli on PEX-eristeinen ja alumiini-johtiminen, joten sopivaksi kaapelikooksi valikoituu 150 mm² ja tällöin oikea kaapelityyppi on AEMCMK-HF C 3x150/41 (SFS6000-5-52, B52.13).

Keskuslähdön ja taajuusmuuttajan sekä turvakytkimen ja moottorin välinen kaapelointi toteutetaan mitoituksen tuloksesta riippumatta samalla kaapelilla, johtuen vähäisestä kaapelin määrästä (ei ole kannattavaa hankkia muutamaa metriä ohuempaa kaapelia toista kohdetta varten). Kaapelityyppi tähän kohteeseen on Ölflex CLASSIC 100 CY 4GXX. Tässä kaapelissa johdinmateriaalina on kupari ja sekä vaipan että johtimien eristemateriaalina on PVC (Lapp 2023).

Lasketaan kaapelille tarvittava kuormitus moottorin ja turvakytkimen puoleisessa päässä. Lämpötilan korjauskerroin tälle kaapelille on 0,87 (SFS6000-5-52, B.52.14) lämpötilassa 40°C. Kaapeli on vapaasti ilmassa moottorin ja turvakytkimen välisen matkan, joten erillistä asennustavan korjauskerrointa ei tarvita. Lasketaan tarvittava kuormitettavuus kaavan 5 avulla.

$$I_{vk} = \frac{I_k}{K_1 * K_2 * \dots * K_n} \rightarrow I_{vk} = \frac{372 \text{ A}}{0,87} = 428 \text{ A}$$

Lasketaan kaapelin kuormitettavuus sähkötilaan hyllylle asennettavaksi. Hyllyt ovat kuten edempänä kahdessa kerroksessa ja uusien kaapelien lisäyksen jälkeen molemmilla tasoilla tulee olemaan 6 kpl kaapeleita. Tälle tilanteelle korjauskerroin on 0,76 (SFS6000-5-52, B.52.20, 2022). Lämpötilan korjauskerroin on kyseisessä lämpötilassa 1,06 (SFS6000-5-52, B.52.14, 2022). Lasketaan tarvittava kaapelin kuormitettavuus näitä arvoja käyttäen kaavalla 5.

$$I_{vk} = \frac{I_k}{K_1 * K_2 * \dots * K_n} \rightarrow I_{vk} = \frac{372 \text{ A}}{0,76 * 1,06} = 461 \text{ A}$$

Näistä kuormitettavuusarvoista korkeammaksi jäi sähkötilaan asennettavan kaapelin vaatimus. Tässäkin tilanteessa on järkevää käyttää kahden kaapelin rinnankytkentää. Näin yhdeltä kaapelilta vaadittava kuormitettavuus on 230,5 A.

Tällöin kaapelin johtimien poikkipinta-alaksi riittää 95 mm² (SFS6000-5-52, B.52.10, 2022). Tällä perusteella kaapelityypiksi näille osille valitaan ÖLFLEX - CLASSIC 100 CY 4G95.

4.2 Kaapeloinnin jännitteenalenema

Määritetään kaapeloinnissa taajuusmuuttajan jälkeen tapahtuva jännitteenalenema. Kaapeli pituudet ovat taajuusmuuttajan ja turvakytkimen välillä 65m ja turvakytkimeltä moottorille 6m. Kaapelit joilla jännitteenalenema lasketaan ovat edellä valitut (2x3x150 alumiini ja 2x4x95 kupari). Jännitteenalenema lasketaan suurimmalla käytettävällä hetkellisellä virralla, joka on 730 A. Jännitteenaleneman laskemisessa käytetään kaavaa 6 (D1-2022, 239).

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (r * \cos \phi + x * \sin \phi) \quad (6)$$

Jossa	ΔU	Jännitteenalenema	[V]
	I	Virta	[A]
	l	Johdon pituus	[m]
	r	Ominaisresistanssi	[Ω/m]
	x	Ominaisreaktanssi	[Ω/m]

Alumiinisella kaapelilla ominaisresistanssi on 0,253 $\Omega/km = 0,000253 \Omega/m$ (Reka 2024). Tämän kaapelin osuuden pituus on 65 m ja kaapelointi on toteutettu kahdella rinnakkaisella kaapelilla. Lasketaan toteutuva jännitteenalenema kaavalla 6. Oletetaan ominaisreaktanssin merkitys vähäiseksi.

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * \left(\frac{r}{2}\right) \rightarrow \Delta U = 730 \text{ A} * 65 \text{ m} * \sqrt{3} * \left(\frac{0,000253 \Omega/m}{2}\right) = 10,39 \text{ V}$$

Lasketaan toteutuva jännitteenalenema turvakytkimen ja moottorin väliseltä osuudelta. Tämän osuuden ominaisresistanssi on 0,2047 m $\Omega/m = 0,0002047 \Omega/m$ (SFS6000-6A). Lasketaan jännitteenalenema kaavalla 6.

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * \left(\frac{r}{2}\right) \rightarrow \Delta U = 730 \text{ A} * 6 \text{ m} * \sqrt{3} * \left(\frac{0,0002047 \Omega/m}{2}\right) = 0,777 \text{ V}$$

Tällöin taajuusmuuttajan ja moottorin välisen kaapeloinnin jännitehäviöksi saadaan

$$10,39 \text{ V} + 0,777 \text{ V} = 11,167 \text{ V}$$

Lasketaan jännitteen aleneman suhteellinen arvo. Käyttöjännite on 400 V ja hyväksyttävä jännitteenalenema tämänkaltaisessa käytössä on 8% (SFS6000-5-52G). Suhteellisen jännitteenaleneman laskemiseen käytetään kaavaa 7 (D1-2022, 238).

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100\% \quad (7)$$

Jossa	Δu	suhteellinen jännitteenalenema	[%]
	ΔU	Jännitteenalenema	[V]
	U_n	Nimellisjännite	[V]

Lasketaan suhteellinen jännitteenalenema kaavan 7 avulla.

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100\% \rightarrow \Delta u = \frac{11,167 \text{ V}}{400 \text{ V}} * 100\% = 2,79\%$$

Jännitteenalenema jää hyväksyttävälle tasolle. Tämä varmistaa moottorin häiriöttömän toiminnan ja samalla ettei kaapeloinnin jännitehäviöt kuluta tarpeettoman paljoa energiaa.

4.3 Keskus kojeiden valinta

Keskuslähtöön valitaan taajuusmuuttajan syöttöön kytkinvaroke ja pääkontaktori tämän lisäksi kentälle valitaan sopivan kokoinen turvakytkin. Kytkinvaroke kytketään suoraan keskuksen pysty osan kiskostoon. Kontaktorin ja sulakerottimen välinen johdotus tehdään eristetyillä hienolankaisilla johtimilla. Näiden johtimien on kestävä piirissä esiintyvä maksimivirta 730 A. Käytämme tälle virralla aiemmin mitoitettua 2*95 mm² johdotusta. Lähtevät kaapelit kytketään suoraan kontaktorin lähtöliittimiin. Sulakkeiksi valitaan 630 A Am tyyppiset sulakkeet, nämä kestävät palamatta moottorin ottamat hetkelliset ylikuormat. Taajuusmuuttajan sisäiset osat ovat suojattuna taajuusmuuttajan omilla

puolijohdesulakkeilla. Kontaktorin tyyppiä valitaan ABB AF750, tämän tyyppisen kontaktorin koskettimet kestävät AC-3 käyttöluokassa 750 A virran (ABB 2016). Kytkinvarokkeeksi valitaan ABB:n OS_800_D3PI, tähän varokeyktimeen on tarvittaessa mahdollista vaihtaa 800 A:n sulakkeet. Näin suurille sulakkeille ei ole tarvetta mutta lähtöä kalustettaessa on järkevää valita tarpeeksi suuret kojeet, jotta mahdollinen jatko käyttö on tulevaisuudessa helpompaa.

Turvakytkimen valinnassa otetaan huomioon kaapeleiden tulosuunta ja virran kesto. Kaikki kaapelit tulevat tässä kohteessa turvakytkimeen alakautta, joten turvakytkimessä on oltava mahdollisuus tähän. Turvakytkimeksi valitaan ABB:n OT630KAUC3TZ. Tässä kytkimessä on hyvät kytkentätilat, kohtuulliset ulkomitat ja riittävä virrankesto. Tämän kytkimen rakenne myös mahdollistaa sen asentamisen halli olosuhteisiin.

4.4 Sähköpiirustuksien piirtäminen

Piirtäminen tehtiin tehtaan yleiseen piirustusohjaan. Kuvien piirtotyylinä käytettiin samaa tyyliä, jota on käytetty muissakin kuumasahan alueella olevissa uusissa sähkökuvissa. Kuumasaha 2:n sähkötilaan on jo rakennusvaiheessa jätetty varalähtö saha 1:tä varten. Tämä lähtö tullaan hyödyntämään taajuusmuuttajan syöttöön. Taajuusmuuttaja mahtuu samaan sähkötilaan. Taajuusmuuttaja tulee sahan 1 ja 2 alueella olevaan Profibus-väylään, joten muuttajalle tulevia johdotettuja signaaleja on hyvin vähän.

Taajuusmuuttajalle tulee erilliseltä turvalogiikalta hätäseis-toimintoa varten kahdennetut signaalit, joiden perusteella taajuusmuuttaja menee hätäseis-tilanteessa STO (safe torque off) -tilaan. Taajuusmuuttajalle tulee myös lisäkortti moottorin termistoria varten (liite 5). Keskus varustetaan erillisellä etukontaktorilla ja sulake-erottimella (liite 1).

Keskukselta otetaan lisäksi häiriötiedot turvakytkimen avaamisesta ja sulakevarokkeen avaamisesta tai ohjausjännitteen puuttumisesta (liite 3). Nämä tiedot viedään moottorikeskuksessa olevaan I/O-hajautukseen. Saha 1:n valvomon vasempaan ohjauspulpettiin lisätään merkkivalo ja käynnistyskytkin sahaa varten. Näiden I/O:t viedään sahan ohjaamon lähistöllä olevaan hajautukseen. (liite 4.)

Logiikoissa on tarvittava määrä vapaata I/O tilaa, joten uusia kortteja ei tarvitse lisätä. Uudet sähkökuvat löytyvät työn lopussa olevista liitteistä.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tekemisen yhteydessä havaittiin moneen kertaan, kuinka haasteellista on mitoittaa moottori käyttöön, jossa tehon vaihtelu on erittäin suurta käytön aikana. Tällaiseen käyttöön on haasteellista valita juuri oikean kokoinen moottori, joka ei ole kohteeseen tarpeettoman iso, mutta kuitenkin riittävän kokoinen, ettei hetkellinen moottorin ottama teho nouse liiallisen korkeaksi nimelliseen tehoon verrattuna. Oikosulkumoottoria pystytään kuitenkin käyttämään hetkellisesti lievällä ylikuormalla ilman ongelmia. Tämän mahdollistaa etenkin isompien moottorien kohdalla kohtuullisen pitkät lämmönnousuajat. Taajuusmuuttajan mitoittaminen on vielä haasteellisempää lyhyestä lämmönnousuajasta ja hetkellisen tehon syöttökyvystä johtuen. Taajuusmuuttajan kohdalla tämä johtaa lähes aina tarpeeseen mitoittaa taajuusmuuttaja selkeästi ylittämiseksi moottorin tehoon nähden. Taajuusmuuttajan kohdalla ylitoittaminen yleisesti parantaa laitteen käyttöikä, koska sen ei tarvitse jatkuvasti työskennellä aivan nimellistehonsa rajamailla.

Kaapeloinnin mitoittamisessa huomattiin valssaamalla lattian rajassa kesällä esiintyvän noin 40°C lämpötilan vaikuttavan huomattavasti tarvittavan kaapelin kokoon. Tämä lämpötilan kompensointi on erittäin tärkeää, jotta kaapeloinnin eriste ei vaurioidu sen lämmitessä käytön aikana. Kaapeloinnin suunnittelussa on aiheellista ottaa huomioon kaapelien asennusympäristö myös tilan ja tarvittavien taivutuksien suhteen. Kuitenkin alumiinijohtimista PEX-eristeistä kaapelia on hinnan ja lämpötilan keston vuoksi perusteltua käyttää kohteissa, joissa asennusympäristö sen muuten sallii. Yleisesti on havaittu hyväksi tavaksi toteuttaa viimeinen, yleensä turvakytkimeltä moottorille menevä osa, taipuisilla hienolankaisilla kaapeleilla. Moottorin kytkeminen helpottuu notkeiden kaapeleiden ansiosta ja se helpottaa paljon tulevaisuudessa mahdollista moottorin vaihtoa tai huoltoa. Hienolankainen johdin kestää myös moottorissa esiintyvää mahdollista tärinää paremmin kuin jäykkälankaiset kaapelit.

Tämän opinnäytetyön tuloksena mitoitettiin karkeavalssaamon kuumasaha 1:lle uusi moottori ja tehtiin uuden moottorikäytön vaatimat alustavat dokumentit. Tämän materiaalin perusteella on helppo lähteä edistämään moottorin uusintaa. Tässä opinnäytetyössä käytettyjä menetelmiä on mahdollista käyttää osittain myös muissa vastaavissa kohteissa. Käytön mitoittaminen aivan näin ylimitoitetuksi ei kuitenkaan ole järkevää kovinkaan monessa kohteessa. Mitoituksen peruseriaatteet ovat kuitenkin samat muunlaisissakin käytöissä.

LÄHTEET

ABB industrial drives ACS880, single drives 0.55 to 6000 kW. 2.2024b. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000098111&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch> [Viitattu 20.4.2024].

ABB Low voltage Process performance cast iron motors. 2.2024a. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105944&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> [Viitattu 20.4.2024].

ABB Motor protection and control 2016. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://library.e.abb.com/public/577262605ca34b23b7b23e7ae397a62e/1SBC100195C0203_Short_form_motor_protection_%20control_edition_november2016.pdf [Viitattu 20.4.2024].

ABB tekninen opas nro: 1. 2001a. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3BFE64444841&LanguageCode=fi&DocumentPartId=1&Action=Launch> [Viitattu 25.4.2024].

ABB tekninen opas nro: 7. 2001b. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3BFE64444841&LanguageCode=fi&DocumentPartId=1&Action=Launch> [Viitattu 20.4.2024].

D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista.

Lapp worldwide PVCRODUCT INFORMATION ÖLFLEX® CLASSIC 100 CY 450/750V. 12.2023. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://products.lappgroup.com/online-catalogue/power-and-control-cables/various-applications/pvc-outer-sheath-and-coloured-cores/oelflex-classic-100-cy-450750v.html?type=1664268841> [Viitattu 20.4.2024].

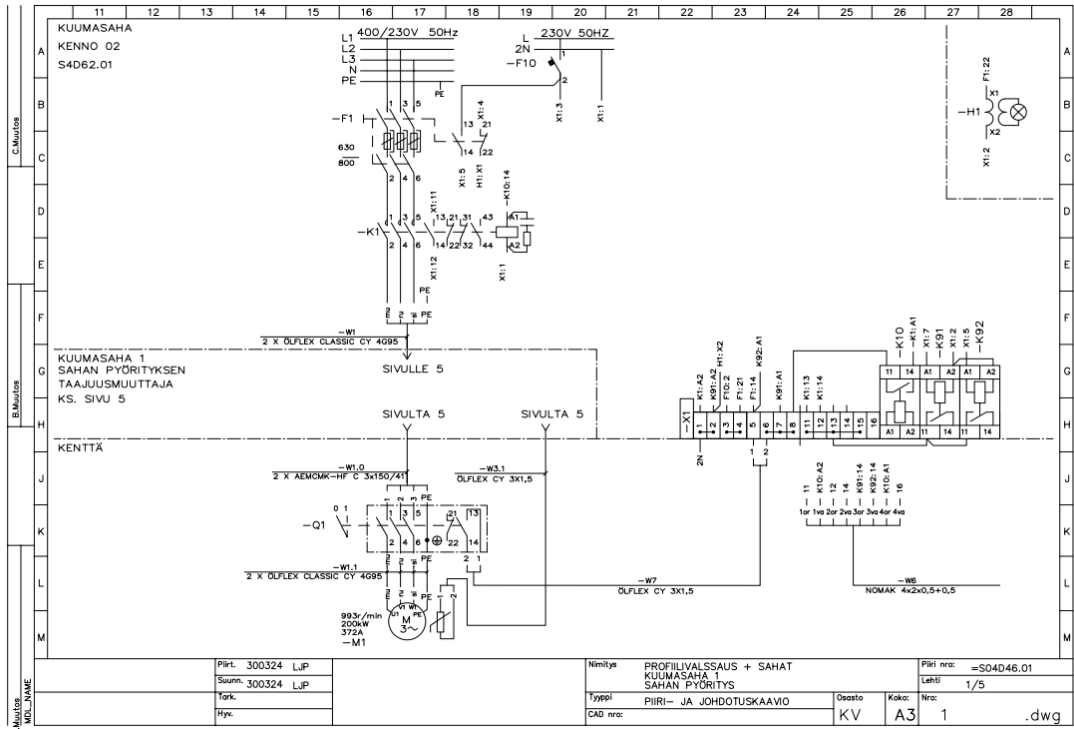
Reka AEMCMK-HF C / AXQJ C / IFSIEMC-AI C datalehti. PDF-Tiedosto. Saatavissa: <https://www.reka.fi/datasheet/category/C0104?dl=1> [Viitattu 20.4.2024].

SFS6000. 2022 Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen: Johtojärjestelmät.

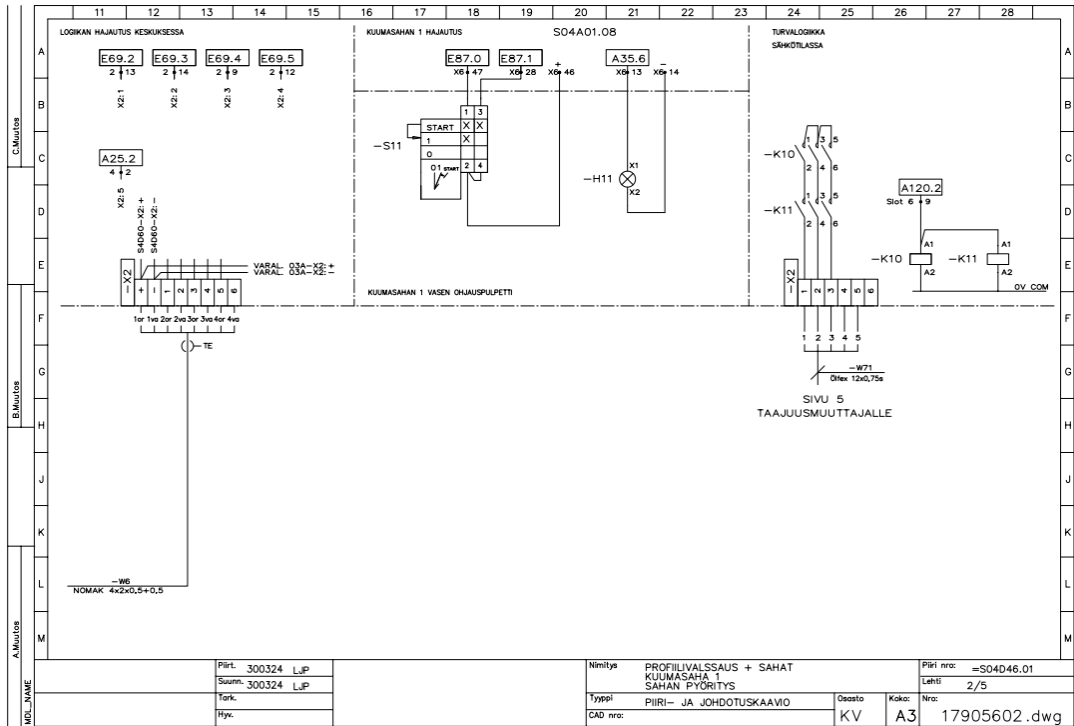
VEM Slip-ring motors. Esite. 01.2017a. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.vem.fi/wp-content/uploads/2018/03/06-General-catalogue_2017_slip-ring-motors.pdf [Viitattu 20.4.2024].

VEM Standadr motors. Esite. 01.2017b. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.vem.fi/wp-content/uploads/2018/12/2-General-catalogue_2017_standard-motors.pdf [Viitattu 20.4.2024]

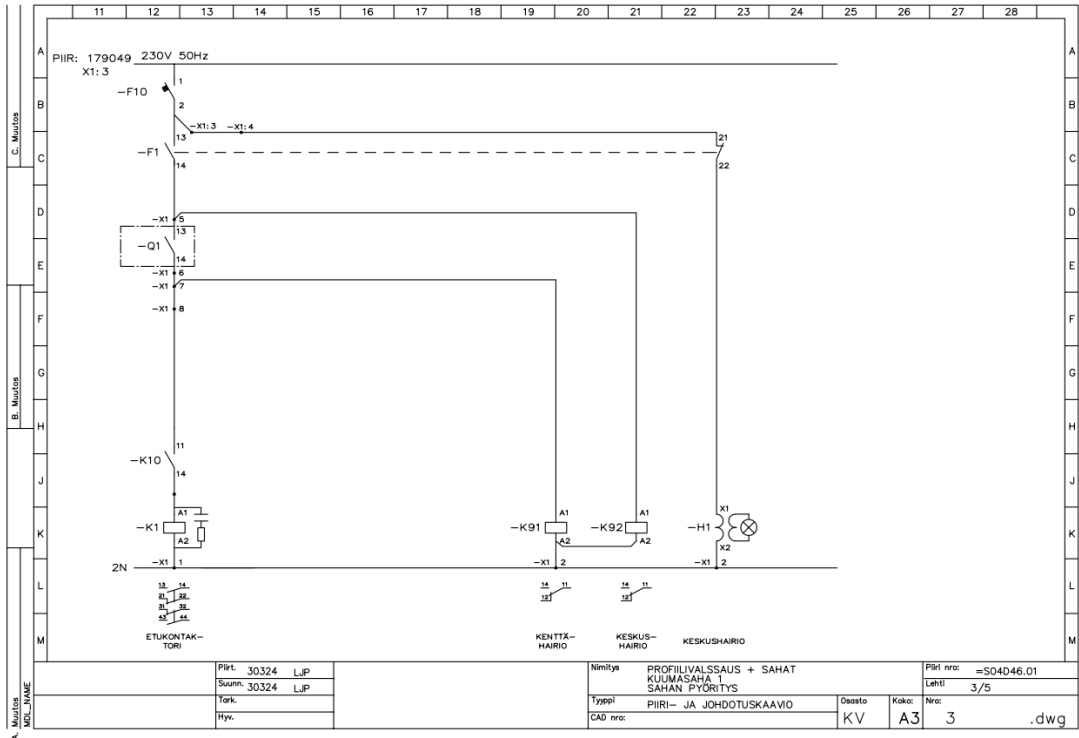
LIITTEET



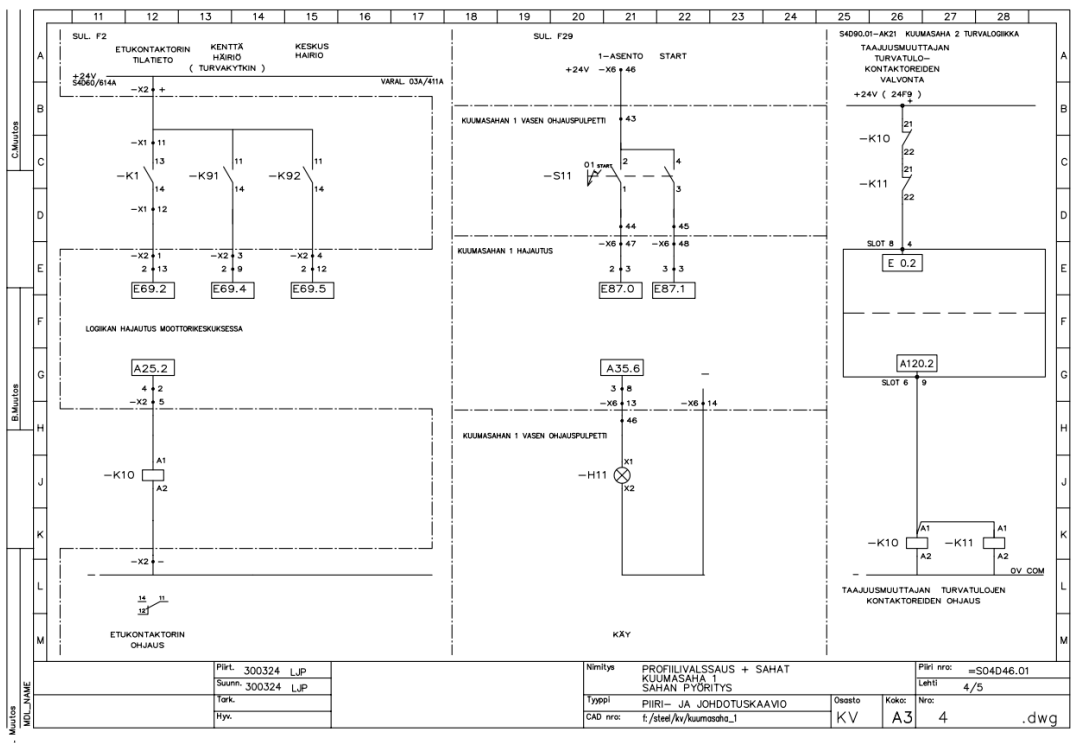
Liite 1 Kuumasahan 1 päävirtakaavio



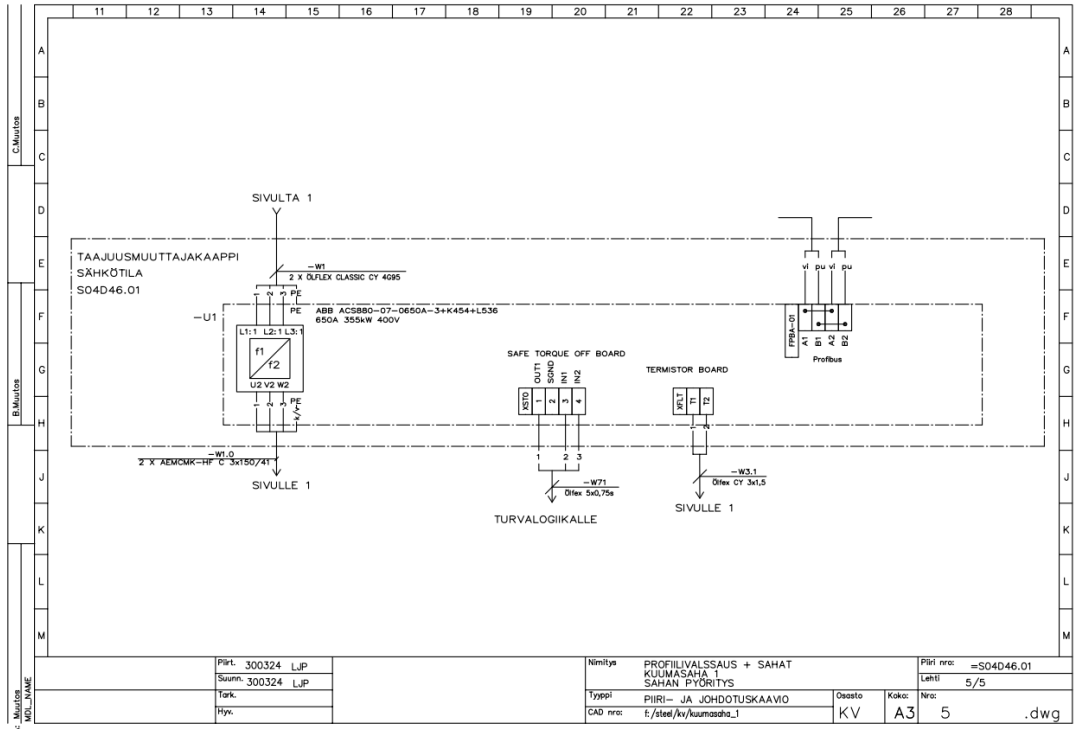
Liite 2 Kuumasahan 1 ohjauspiirikaavio



Liite 3 Kuumasahan 1 keskuslähdön ohjauspiirikaavio



Liite 4 Ohjausreleiden ja -kytkimien kytkentä



Liite 5 Taajuusmuuttaja ja sen liitännät