

Jesse Jokinen

MOOTTORIKÄYTÖN MODERNISOINTI

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2016

MOOTTORIKÄYTÖN MODERNISOINTI

Jokinen, Jesse
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Maaliskuu 2016
Ohjaaja: Tuomela, Jorma
Sivumäärä: 29

Liitteitä: 1

Asiasanat: sähkömoottorit, taajuusmuuttajat, mitoitus.

Opinnäytetyössä mitoitettiin ja suunniteltiin maakaasukattilan palamisilmanpuhaltimen sähkökäyttö. Käytön vanha 6,3 kV:n moottori on suoraikäyttöinen ja palamisilmaa säädetään mekaanisesti kuristamalla. Tilalle mitoitettiin uusi 690 V:n pienjännitemoottori sitä ohjaava taajuusmuuttaja sekä niiden tehokaapelointi ja suojaus.

Nykyinen moottorikäyttö edustaa 70-luvun tekniikka. Moottorikäytön kunnossapito ja varaosien saatavuus on hankalaa verrattuna pienjännitekäyttöön. Työn tavoitteena on moottorikäytön ja palamisilmasäädön nykyaikaistaminen sekä voimalaitoksen laitteiston yhtenäistäminen.

Uuden moottorikäytön hyötyjä prosessiin ovat palamisilmasäädön helpottuminen, huollon tarpeen vähentyminen, sekä jatkuvassa käytössä syntyvä energiansäästö nykyiseen käyttöön verrattuna.

MOTOR-DRIVE MODERNIZATION

Jokinen, Jesse

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical engineering

March 2016

Supervisor: Tuomela, Jorma

Number of pages: 29

Appendices: 1

Keywords: motors, frequency changers, electric drive.

In this thesis we planned electric drive to combustion air blower in the natural gas power station. The old motor of electric drive is direct operation 6,3 kV and combustion air is controlled by mechanical. We planned new 690 V motor, frequency changer, power cabling and protection to substitutive the old electric drive.

Present electric drive represents technology of seventies. Electric drive problem versus low voltage drive is maintenance and availability of spare parts. Aim of the thesis is modernize motor and combustion air control as well standardization the power station machinery.

Benefits of the new motor drive to process is better ability to control combustion air, lower costs of maintenance and energy savings compare to present motor drive.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TYÖHÖN LIITTYVÄ TEOREETTINEN TAUSTA.....	6
2.1	Oikosulkumoottori	6
2.1.1	Oikosulkumoottorin toimintaperiaate.....	7
2.1.2	Nopeudensäätö	7
2.1.3	Vääntömomentti	8
2.2	Taajuusmuuttaja.....	9
2.3	Säädetty sähkömoottorikäyttö.....	11
2.3.1	Mitoitus ja kuormatyypit	12
3	PALAMISILMAPUHALLIN JA SIIHEN LIITTYVÄ VANHA LAITTEISTO.....	14
3.1	Palamisilmapuhallin voimalaitosprosessissa	14
3.2	Puhallin	15
3.3	Käytön moottori	16
3.4	Sähkö- ja automaatioliityntä	19
4	UUSI NOPEUSSÄÄDETTY LAITTEISTO	19
4.1	Uusi moottori	20
4.2	Taajuusmuuttaja.....	22
4.3	Kaapelointi ja suojaus	23
4.3.1	Suojaus	23
4.3.2	Syöttökaapeli	24
4.3.3	Moottorikaapeli	25
4.3.4	Ohjaus- ja automaatiokaapelointi.....	26
5	LOPULLISET LAITEVALINNAT	27
6	YHTEENVETO	27
	LÄHTEET.....	29
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Pohjolan Voiman, Hämeenkyrön biovoimalaitoksella sijaitsevan vanhan maakaasukattilan palamisilmapuhallinkäytön modernisointimahdollisuuksia.

Maakaasukattilan vanha palamisilmapuhallinkäyttö edustaa 70-luvun tekniikkaa. Puhaltimen 6,3 kV moottori on suorakäyttöinen ja sen tuottamaa palamisilmaa kuristetaan mekaanisesti säätämällä. Ennen taajuusmuuttajien markkinoille tuloa oikosulkumoottoreiden tarkka nopeudensäätö oli vaikeaa ja siksi ainoa mahdollinen tapa pumppu- ja puhallinkäyttöjen säätöön oli erilaiset venttiilit ja kääntöpellit. Työssä pyritään nykyaikaistamaan palamisilmapuhaltimen moottorikäyttö ja yhtenäistämään se voimalaitoksen muun laitteiston kanssa. Työssä mitoitetaan taajuusmuuttaja ja moottori, sekä niiden kaapelointi ja suojaus.

Työn alussa kerrotaan teoreettista tietoa oikosulkumoottoreista ja taajuusmuuttajista. Lisäksi perehdytään moottorikäytön mitoituksen ja kuormatyyppien lähtökohtiin.

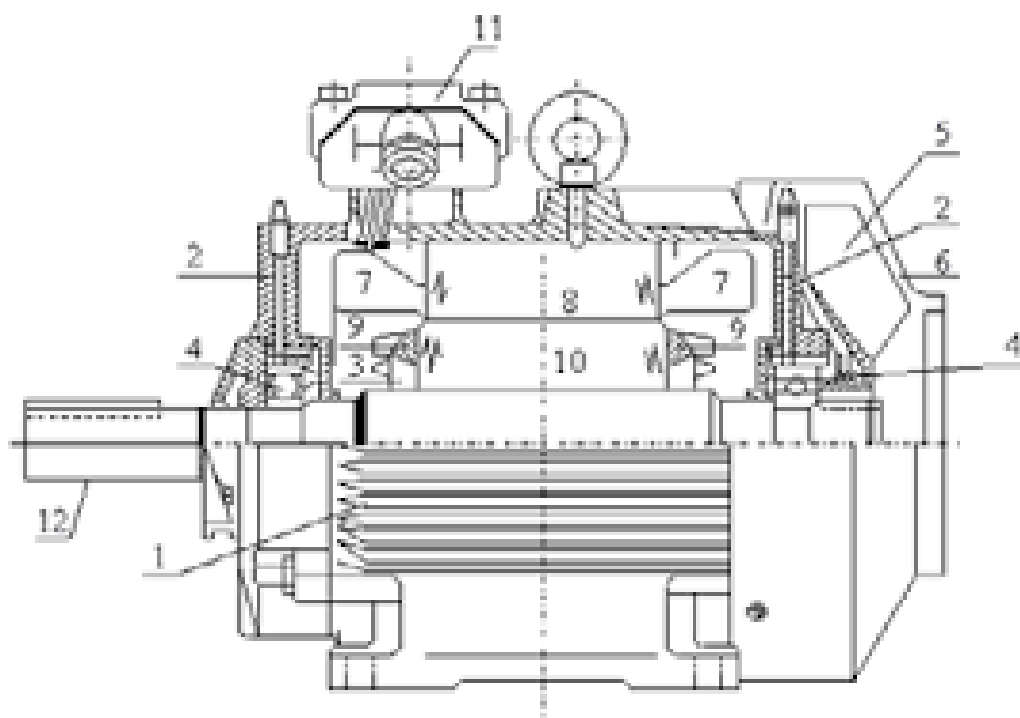
Tämän jälkeen perehdytään nykyiseen käytössä olevaan laitteistoon ja niiden toimintaan. Vanhan laitteiston sekä siitä saatujen kokemusten perusteella mitoitetaan uudet laitteet vastaamaan palamisilmapuhaltimen tarpeita. Uusi moottorikäyttö tulee 690 V:n pienjänniteverkkoon ja palamisilmasäätö toteutetaan jatkossa taajuusmuuttajalla.

Lopussa tarkastellaan uuteen käyttöön soveltuvat laitevalinnat sekä niistä saatavat hyödyt.

2 TYÖHÖN LIITTYVÄ TEOREETTINEN TAUSTA

2.1 Oikosulkumoottori

Sähkökoneiden tehtävänä on muuttaa energiaa muodosta toiseen. Moottori muuttaa siihen syötetyn sähköenergian mekaaniseksi energiaksi. Generaattorin tehtävä on päinvastainen, se muuttaa voimakoneen sille antamaa mekaanista energiaa sähköenergiaksi. Teollisuudessa käytettävistä sähkömoottoreista oikosulkumoottori on erittäin suosittu sen yksinkertaisen rakenteensa vuoksi. (Korpinen 1998,1-7.) Oikosulkumoottoreita esiintyy teollisuudessa esimerkiksi puhallin-, pumppu-, nosto- ja ratakäyttöjenmoottoreina. Rakenteensa vuoksi oikosulkumoottorit vaativat vain vähän huoltoa eivätkä ne vaadi myöskään erillistä jäähdytystä. Oikosulkumoottorin ainoat kuluvat osat ovat laakerit. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan oikosulkumoottoria puhallinkäytössä. Moottorin rakenteesta on esimerkki kuvassa 1.



Kuva 1, Oikosulkumoottorin rakenne (Korpinen 1998,8) 1 staattorin runko, 2 laakerikilvet, 3 roottori, 4 laakerit, 5 tuuletin, 6 tuulettimen suojus, 7 staattorikäänitys, 8 staattorin levypaketti, 9 roottorin käänitys, 10 roottorin levypaketti, 11 liitäntäkotelo, 12 akseli.

2.1.1 Oikosulkumoottorin toimintaperiaate

Oikosulkumoottorin staattorissa on normaali kolmivaiheinen käämitys, mutta roottorin käämitys koostuu yleensä urissa olevista sauvoista. Roottorin sauvat ovat yleensä liitetty yhteen oikosulkurenkailla. Oikosulkumoottori saa nimensä tästä syystä. Kolmivaiheisella virralla oikosulkumoottoria syötettäessä syntyy staattori- ja roottorikäämityksen yhteisvaikutuksesta moottorin ilmapäliin pyörivä magneettikenttä. Koneen käydessä jättämällä magneettikentän vuoviivat leikkaavat roottorikäänin sauvoja. Roottorisauvoihin indusoituu sähkömotorinen voima, joka saa aikaan roottorivirran. Virran ja pyörivän magneettikentän yhteisvaikutuksesta syntyy sähköinen vääntömomentti. Vääntömomentti saa akselille kiinnitetyn roottorin pyörimään, kun sähköinen vääntömomentti on suurempi kuin jarruttava momentti. Roottori pyörii magneettikentän pyörimisnopeutta vastaavaa tahtinopeutta hitaammin, jonka takia oikosulkumoottori kuuluu epätahtimoottoreihin. (Hietalahti 2011,29.)

2.1.2 Nopeudensäätö

Moottorin teoreettinen tahtinopeus n_s määräytyy napapariluvusta p ja syöttävän verkon taajuudesta f ja se voidaan laskea yhtälöllä 1.

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

f on verkon taajuus

p on moottorin napapariluku

Taulukko 1. Epätahtimoottoreiden yleisimmät pyörimisnopeudet taajuuden ollessa 50Hz.

Napapari [kpl]	Pyörimisnopeus [rpm]
1	3000
2	1500
3	1000
4	750

Oikosulkumoottorin todellinen pyörimisnopeus ilmaistaan yleensä jättämän avulla. Jättämä s tarkoittaa, kuinka monta prosenttia roottorin nopeus n on tahtinopeutta n_s pienempi. Jättämä voidaan laskea kaavalla 2. Kuormittamattoman moottorin pyörimisnopeus asettuu tilaan, missä moottorin kehittämä vääntömomentti on yhtä suuri kuin laakerien ja tuulettimen kitkan aiheuttama kuormittava vääntömomentti. (Korpinen 1998,10.)

$$s = \frac{(n_s - n)}{n_s} \times 100\% \quad (2)$$

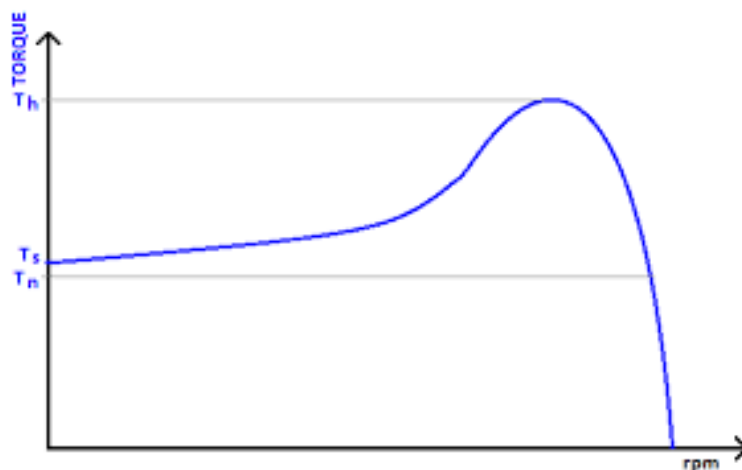
n_s on moottorin teoreettinen tahtinopeus

n on roottorin mekaaninen pyörimisnopeus.

Pyörimissuunnan vaihtaminen epätahtimoottoreille on melko yksinkertaista. Kun vaihdetaan vaiheiden paikkoja moottori kytkennässä, pyörii magneetikenttä koneen sisällä toiseen suuntaan ja samoin siis myös roottori. Ei ole väliä, minkä vaiheiden paikkoja moottorikytkennässä vaihdetaan.

2.1.3 Vääntömomentti

Moottorin käydessä sen sähköistä vääntömomenttia vastustava mekaaninen vääntömomentti kasvaa. Roottorin pyörimisnopeus pienenee ja samalla kasvaa roottorin ja staattorin kentän välinen nopeusero, jolloin roottorin virta kasvaa. Samalla kasvaa sähköinen vääntömomentti ja roottori pyörii uudella nopeudella, jossa moottorin momentti ja kuormitus ovat yhtä suuret. Oikosulkumoottorin nopeus ei siis ole vakio. Se määräytyy aina moottorin kuormituksesta. Oikosulkumoottorin tyypillinen vääntömomenttikäyrä näkyy kuvassa 2. Huomataan, että moottorin huippumomentti T_h on paljon nimellismomenttia T_n suurempi. T_s on käynnistymismomentti.



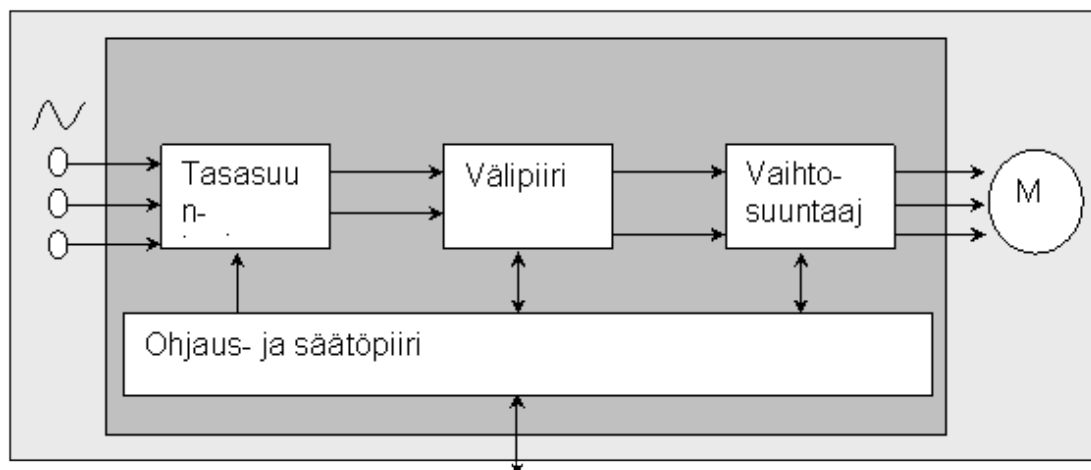
Kuva 2, Oikosulkumoottorin vääntömomenttikäyrä. (Honkanen opetusmateriaali.)

Moottoria voi hetkellisesti kuormittaa yli nimellismomenttinsa, mutta tällöin moottorin lämpötila nousee. Kuormitettaessa moottoria nimellismomentilla on se suunniteltu siten, että lämpötila ei ylitä sille sallittua lämpötilaa, jos vallitsevat ympäristöolosuhteet ovat oikeat. Moottoria voidaan kuormittaa suurimmillaan sen huippumomentilla, mutta jos kuormitus ylittää huippumomentin arvon, moottorin roottori pysähtyy eli moottori kippaa. (Korpinen 1998, 10.)

2.2 Taajuusmuuttaja

Kun jännitteen suuntaa muutetaan staattorin käämissä, myös vuon suuntaa voidaan muuttaa. Jos jännitteen suuntaa muutetaan kolmivaiheisen moottorin käämissä oikeassa järjestyksessä, moottorin magneettivuo alkaa pyöriä. Moottorin roottori seuraa vuota tietyllä jättämällä. Tämä on vaihtovirtamoottoreiden säädön peruseriaate. (ABB tekninen opas 4 2001, 12.)

Nykyään yleisin ja edullisin keino muuttaa sähkömoottorin pyörimisnopeutta on taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajalla on myös paljon muita etuja moottoreiden ohjauksessa. Puhallinsovelluksessa sen tehtävänä on muuttaa sähköverkon vakiotaajuinen ja -jännitteinen vaihtosähkö sellaiseksi, että taajuusmuuttajan syöttämän moottorin pyörimisnopeus on haluttu. Kuten nimikin jo kertoo, taajuusmuuttaja muuttaa vaihtovirran ja -jännitteen taajuutta. Taajuusmuuttaja koostuu kolmesta osasta. (kuva 3)



Kuva 3, Taajuusmuuttajan rakenne (tekniikka oamk,2006)

Taajuusmuuttajan eri tehtävät voidaan jakaa karkeasti seuraavasti: tasasuuntaajan tehtävänä on muuttaa kolmivaiheinen vaihtojännite tasajännitteeksi, välipiiri suodattaa tasajännitteen ja vaihtosuuntaaja muuttaa lopuksi syötettävän jännitteen taajuuden sopivaksi.

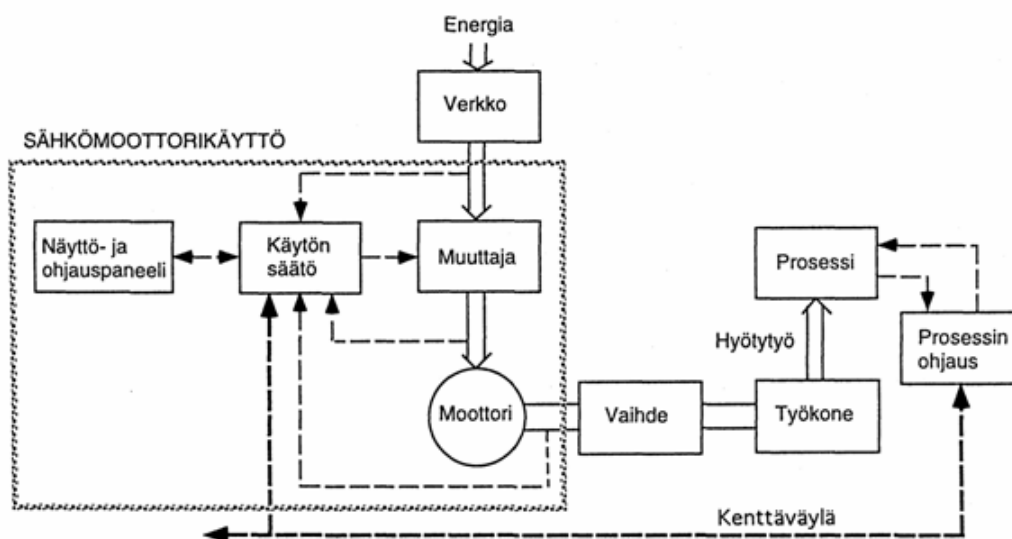
Ohjauspiiri on taajuusmuuttajan neljäs päälohko. Sillä on kaksi tehtävää: ohjaa taajuusmuuttajan puolijohteita sekä vastaanottaa siihen liitetyistä laitteista taajuusmuuttajaan tulevia viestejä tai lähettää niitä muihin laitteisiin. Näitä viestejä voi operaattori antaa ja ottaa vastaan taajuusmuuttajassa olevasta ohjauspaneelistä tai ylemmän tason säätö- ja ohjausjärjestelmästä.

Taajuusmuuttajien merkittävimpiä etuja ovat energian säästö, moottorin kulumisen väheneminen ja prosessin säädön helpottuminen. Keskisuuren laitteen takaisinmaksuaika on tyypillisesti 2-3 vuotta. Moottorin kulumisen väheneminen heijastuu siitä, että oikosulkumoottoreissa periaatteessa ainoat kuluvat osat ovat laakerit. Energiaa säästyy, koska moottorin ottama energia voidaan siirtää pienemmällä häviöllä työkonen tarvitsemalle tasolle. Nämä asiat aiheuttavat huoltotarvetta, jota voidaan taajuusmuuttajilla huomattavasti vähentää. (Tekniikka oamk 2006, 3.3.)

2.3 Säädetty sähkömoottorikäyttö

Säädetyin sähkömoottorikäytön rakenne voidaan esittää kuvan 4 mukaisena kaaviona. Säädetyin sähkömoottorikäytön tarkoituksena on antaa työkoneen tarvitsema mekaaninen energia työkoneen kannalta edullisimmalla mahdollisella tavalla. Vaatimukset voidaan esittää myös laajemmalla vaikutuksella kuin vain kykynä toimia ajomoottorina. Esimerkiksi pumppu- ja puhallinkäyttöiltä ei vaadita suunnanvaihtoa tai jarrutusominaisuuksia. On myös kohteita, joissa käyttöiltä voidaan vaatia suunnanvaihtominaisuus tai kykyä toimia pitkäaikaisesti generaattorikäyttöisenä. Esimerkkinä edellisestä ovat erilaiset mekaaniset teolliset käytöt, jälkimmäisestä liikennevälineet ja esimerkiksi tuulivoimakäytöt. (Hietalahti 2011,23.)

Sähkömoottorikäytön keskeisimmät osat ovat muuttaja, moottori ja työkone. Sähköenergiaa syötetään verkkoa pitkin muuttajalle, joka muuttaa energian työkoneen tarvitsemalle tasolle. Energian siirtymisestä työkoneelle vastaa sähkömoottori. Moottorin ja työkoneen välissä on usein vaihde, jolla työkoneen nopeusalue sovitetaan moottorin nopeusalueeseen.



Kuva 4, Sähkömoottorikäytön periaatekaavio (Tekniikka oamk 2006,3)

2.3.1 Mitoitus ja kuormatyypit

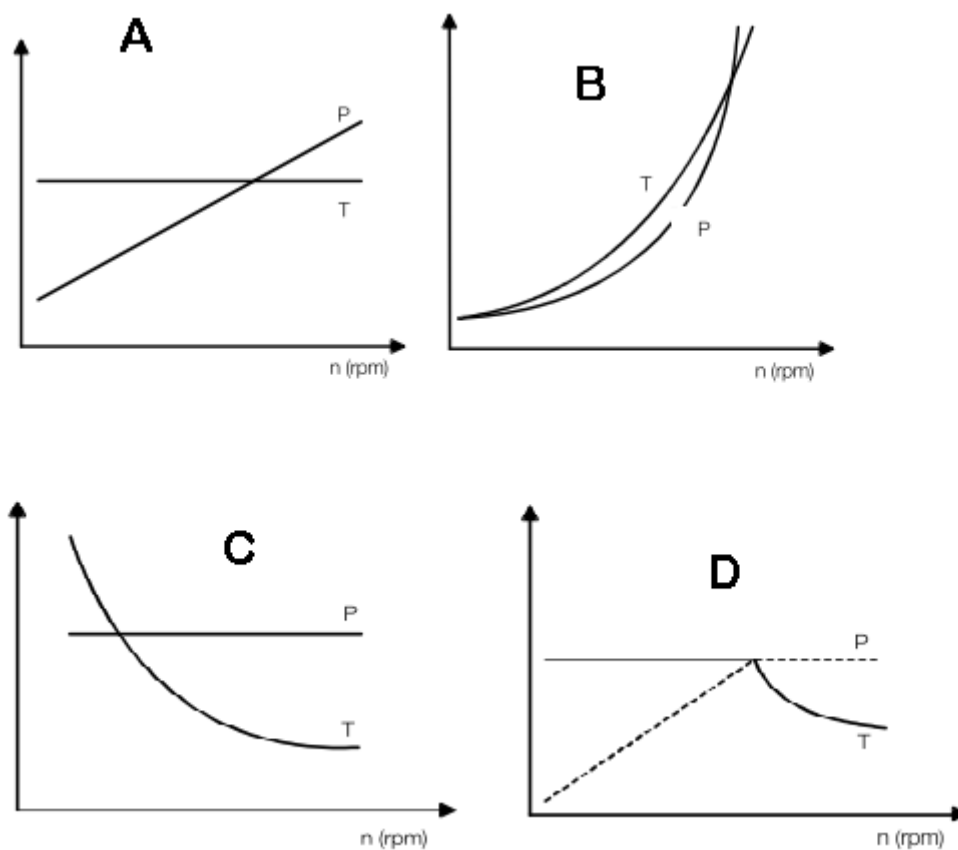
Moottorikäytön mitoittaminen perustuu kuormituksen vaatimuksiin. Keskeisiä tietoja ovat vaadittu momentti ja teho pyörimisnopeuden funktiona sekä käytöltä vaadittu pyörimisnopeusalue. (Hietalahti 2013,94.)

Seuraavassa on esitelty tyypillisiä kuormitusten momentti- ja tehokuvaajia joita teollisuudessa esiintyy runsaasti. Kuvassa 5 esitetyt kuormatyypit ovat vakiomomenttikäyttö (A), neliöllinen momenttikäyttö (B), vakiotehokäyttö (C) ja vakioteho- ja vakiomomenttikäyttö (D). Vakiomomenttikäytössä momentti on vakio nopeudesta riippumatta. Vakiomomenttikäytön esimerkkejä ovat ruuvikompressorit, syöttölaitteet ja nosturit. Vakiomomenttikäytössä tehontarve kasvaa lineaarisesti nopeuden funktiona.

Neliöllinen momenttikäyttö on kaikkein yleisin käyttötyyppi, jollaisia ovat keskipakopumput ja puhaltimet. Momentin ollessa neliöllisesti riippuvainen nopeudesta on teho verrannollinen nopeuden kuutioon. Tässä työssä käsitelty palamisilmapuhallin edustaa neliöllistä momenttikäyttöä. (Hietalahti 2013, 95-96.)

Vakiotehokäyttö on tavallinen silloin, kun materiaalia rullataan ja läpimitta muuttuu rullauksen aikana. Teho on vakio ja momentti kääntäen verrannollinen kierroskuun.

Vakioteho- ja vakiomomenttikäyttö on tyypillinen paperiteollisuudessa. Tämä kuormitustyyppi on usein seurausta tilanteesta, jossa järjestelmä mitoitetaan suurella kierrosluvulla tarvittavan tehon mukaan. (ABB tekninen opas 7,6.)



Kuva 5, Teollisuudessa esiintyvät tyypilliset kuormatyyppit (ABB tekninen opas 7,6)

Sähkökäytön lähtösuureena on moottorin antama mekaaninen teho, jonka työkonen vaatimukset määräävät. Moottorilta vaadittava vääntömomentti määräytyy työkonen aiheuttaman vastamomentin ja järjestelmän liiketilan muuttamiseen tarvittavan momentin perusteella. Lisäksi mitoituksessa on otettava huomioon moottorin terminen kuormitettavuus eli se, joka määrää sen kuormitettavuuden, jolla kone lämpenee korkeintaan eristeille sallittuun lämpötilaan.

Taajuusmuuttajan mitoittamiseksi on kuormitusmomentin perusteella laskettava vastaavat moottorin virrat. Taajuusmuuttajan teho siis määräytyy suurimman tarvittavan virran perusteella. Taajuusmuuttajavalmistajat antavat yleensä varsin perusteellisia mitoitusohjeita taajuusmuuttajan koon valitsemiseksi tietyille moottoreille. (Hietalhti 2011,20-21)

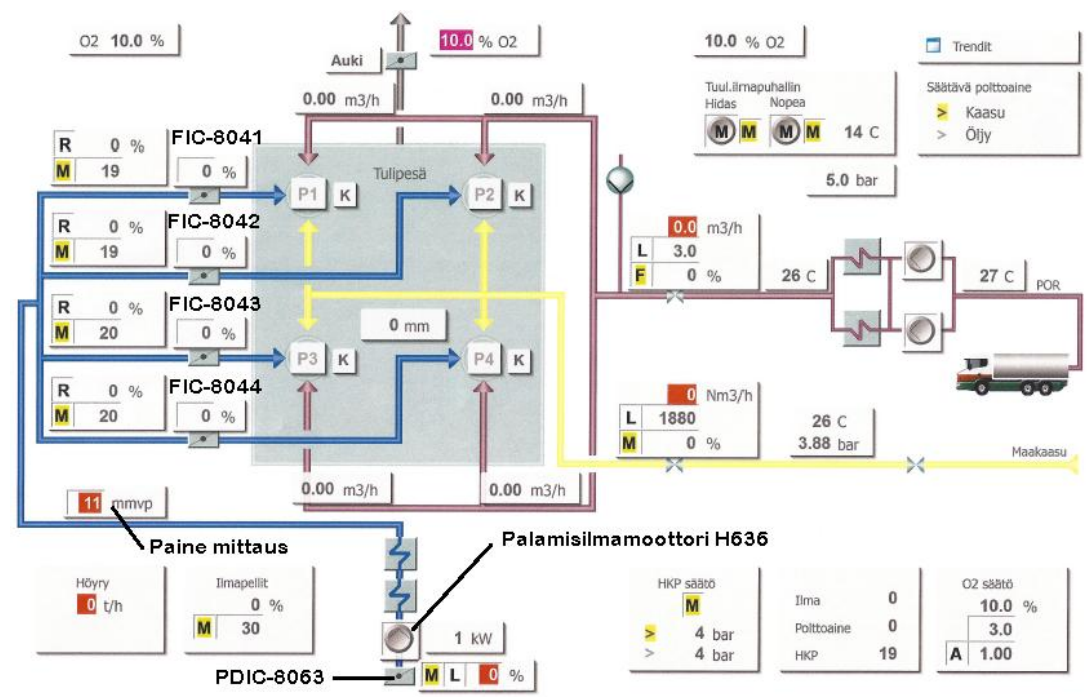
3 PALAMISILMAPUHALLIN JA SIIHEN LIITTYVÄ VANHA LAITTEISTO

3.1 Palamisilmapuhallin voimalaitosprosessissa

Hämeenkyrön biovoimalaitos toimii Metsä Board Kyron paperitehtaan yhteydessä. Voimalaitoksen uusin osa valmistui syksyllä 2012 ja sen tarkoituksena oli korvata olemassa olevan maakaasupohjaisen energiatuotannon kapasiteettia. Uusi Biovoimalaitos tuottaa sähköä 12 megawatin ja lämpöä 55 megawatin teholla. Tuotettu sähkö ja prosessihöyry ohjataan paperitehtaan käyttöön ja lisäksi tuotettua lämpöä siirretään kaukolämpönä kuluttajille. (Pohjolan voima Oy 2012.) Liitteessä 1 on esitetty prosessikuva biovoimalaitoksesta.

Työssä käsiteltävä palamisilmapuhallin toimii osana voimalaitoksen maakaasupohjaisella polttoaineella toimivaa varakattilaa K6. Maakaasukattila on rakennettu vuonna 1972 ja sitä on vuosien varrella uudistettu. Palamisilmapuhallin maakaasukattilassa tuottaa palamisilmaa kattilan neljälle eri polttimelle. Kaasun ja ilman oikeasta suhteesta kattilassa polttimet syttyvät ja palavat puhtaasti.

Palamisilman säädöstä on alla esitetty prosessikuva kuvassa 6. Palamisilma säädetään mekaanisesti kääntöpelleillä. Puhaltimen jälkeen toimiva PDIC-8063-kääntöpelti on paineohjattu. Kuvassa kääntöpelti on virheellisesti ennen puhallinmoottoria. Se säätää kanavan kokonaisilmavirtausta ilmakehän paineen mukana. Palamisilmakanava kulkee kattilan yläosasta aina alaosan polttimille. Matkalla polttimille palamisilma esilämmitetään. Kattilan alaosassa sijaitseville polttimille tullessa palamisilmakanava jakaantuu ja ennen jokaista poltinta on oma mekaaninen kääntöpelti FIC-8041 – 8044. Kattilan ylösajossa palamisilmapuhallin ensin tuulettaa polttimet sekvenssin mukaan. Tämän jälkeen polttimet sytytetään yksi kerrallaan ja manuaalisesti säätämällä tasapainotetaan kaasun ja ilman suhde oikeaksi. Kun kattilassa on riittävä paine, ohjaus siirretään automaattiohjaukselle.



Kuva 6, Maakaasukattilan prosessikuva (Metso ohjausjärjestelmä 2016)

3.2 Puhallin

Puhallin on Apparetebau Rothemühlen valmistama. Tyypiltään se on EIIB 110/105 ALK (Kuvassa 7). Puhaltimen tuottamaa ilmavirtausta säädetään mekaanisesti kääntöpöydällä. Taulukossa 2 esitetään puhaltimen arvokilvestä löytyvät tärkeimmät nimellisarvot. Puhaltimesta ei ole saatavilla valmistajan tarkentavia ominaiskäyriä eikä tietoja sen vanhan iän vuoksi.

Taulukko 2. Puhaltimen arvokilven tietoja.

Teho[kW]	364	Pyörimisnopeus[rpm]	1485	Virtaama[m3/s]	30,5
-----------------	-----	----------------------------	------	-----------------------	------

Nimellispyörimisnopeudella ja -teholla toimiessaan puhaltimen momentin tarve T_p on:

$$T_p = \frac{P}{\omega} = \frac{364 \text{ kW}}{2\pi \left(\frac{1485 \text{ rpm}}{60} \right)} = 2341 \text{ Nm} \quad (3)$$



Kuva 7, Palamisilmapuhallin ja kytkin

3.3 Käytön moottori

Käytön vanha moottori on Siemensin valmistama suurjännitemoottori tyypiltään 1LA3 314 B3 (Kuvassa 8). Se on ilmajähdytteinen, valuraudasta valmistettu ja asennettu vaakasuoraan moottoripedille. Koska moottorin ja puhaltimen nimellispyörimisnopeudet ovat samat, ei vaihteelle ole käyttöä. Moottorin käyttötapa on S1, eli konetta saa jatkuvasti kuormittaa nimelliskuormallaan, käynnistyksiä on harvoin ja ne eivät vaikuta moottorin termiseen kestävyYTEEN. Ennakkohuoltotoimenpiteenä moottorille on määritetty voiteluohjelma ja lisäksi siihen on asennettu värinänmittausanturit. Moottorin kytkin on laakeroitu uudelleen muutama vuosi sitten ja kytkimen laakereissa on lämpötilavalvonta.



Kuva 8, Palamisilmapuhaltimen vanha moottori

Moottorin käytön kannalta tärkeimmät nimellisarvot luetellaan taulukossa 3.

Taulukko 3. Moottorin arvokilven tietoja.

Akseliteho[kW]	480	Jännite[U]	6300	Paino[t]	3,8
Virta[A]	55	Tehokerroin[cosφ]	0,84	IP-luokka	44
Taajuus[Hz]	50	Pyörimisnopeus[rpm]	1485		

Moottorin nimellisvirta on näennäisvirtaa ja sisältää pätö- ja loiskomponentin. Näennäisvirran avulla voimme laskea moottorin näennäistehon:

$$S = \sqrt{3} \times U \times I = \sqrt{3} \times 6300 \text{ V} \times 55 \text{ A} = 600,2 \text{ kVA} \quad (4)$$

S on näennäisteho

U on verkon jännite

I on moottorin nimellisvirta

Moottorin arvokilvessä on ilmoitettu moottorin oikea mekaaninen akseliteho. Moottorin verkosta ottama pätöteho P on häviöiden verran korkeampi.

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\varphi = \sqrt{3} \times 6300 \text{ V} \times 55 \text{ A} \times 0,84 = 504,1 \text{ kW} \quad (5)$$

$\cos\varphi$ on moottorin tehokerroin

Moottorin pätötehon avulla voimme laskea moottorin ottaman verkkovirran seuraavalla kaavalla:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} = \frac{504,1 \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 6300 \text{ V} \times 0,84} = 55 \text{ A} \quad (6)$$

Moottorin verkosta ottama loisteho Q saadaan laskettua pätö- ja näennäistehon avulla:

$$Q = \sqrt{(S^2 - P^2)} = \sqrt{(600,2 \text{ kVA}^2 - 504,1 \text{ kW}^2)} = 325,8 \text{ kVAr} \quad (7)$$

Hyötysuhde η moottorille voidaan laskea moottorin akseli- ja pätötehon suhteesta. Se kattaa moottorin mekaaniset häviöt, kuten laakerien ja puhaltimen aiheuttamat häviöt.

$$\eta = P_{mek}/P = 480 \text{ kW}/504,1 \text{ kW} = 0,95 \quad (8)$$

P_{mek} on moottorin tuottama akseliteho.

Nimellispyörimisnopeudellaan moottori tuottaa momentin T :

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{480 \text{ kW}}{2\pi \left(\frac{1485 \text{ rpm}}{60} \right)} = 3087 \text{ Nm} \quad (9)$$

ω on mekaaninen kulmanopeus

3.4 Sähkö- ja automaatioliityntä

Nykyinen palamisilmamoottori on liitetty voimalaitoksen 6,3 kV suurjännitelähtöön (HVA 2B-04). Moottorilähtö on suojattu ABB:n valmistamalla SPAM 150C -tyypin moottorisuojareleellä. Moottorilähdön katkaisijana toimii Strömberg:n OSAP 10 W2. Moottorilähdössä on virta- ja pätötehomittaukset. Moottorikaapelina on käytetty 3x(50x10) alumiinikaapelia.

4 UUSI NOPEUSSÄÄDETTY LAITTEISTO

Palamisilmapuhaltimen suurjännitemoottorikäyttö nykyisellään on toimiva, mutta siihen liittyy paljon kysymysmerkkejä. Vanhan laitteiston vikaherkkyys on suurempi kuin uuden. Tehtaan varamoottorivarastosta löytyy tähän käyttöön sopivia varamoottoreita huonosti. Varamoottoreita pitää olla jokaiseen voimalaitoksen toiminnan kannalta kriittiseen käyttöön, mutta laitekannan yhtenäistämiseksi pyritään siihen, että jokaiseen moottorikäyttöön varamoottoria ei hankita erikseen, vaan ne voisivat myös korvata toisiaan. Näin säästytään ylimääräisiltä kustannuksilta ja varastointikapasiteetti laskee. Voimalaitoksen nykyiset nopeussäädetyt laitteistot koostuvat ABB Oy:n laitteista. Laitekannan yhtenäisyyden säilyttämiseksi tässä luvussa moottorin ja taa-juusmuuttajan valinnassa keskitytään tämän valmistajan tuotteisiin.

Suurjännitekäyttöjen investointikustannukset ovat pienjännitekäyttöjä korkeammat. Lisäksi niihin liittyvät kunnossapitotyöt ovat työlämpiä ja ne vaativat usein ulkopuolisen asiantuntijan apua. Uuden laitteiston myötä kunnossapitotyöt helpottuvat ja niihin liittyvää tietoa on enemmän käytettävissä. Tehtaalla on käytettävissä yleisesti 400 V:n ja 690 V:n pienjänniteverkot. Palamisilmapuhaltimen uusi moottorikäyttö tulee 690 V:n pienjänniteverkkoon sen suurehkon tehontarpeen myötä.

Moottorikäytön nykyinen säädettävyyys mekaanisesti aiheuttaa häviöitä ja vaatii prosessinohitajalta jatkuvaa tarkkailua. Uuden laitteiston myötä moottorikäytön säätö helpottuu ja käytöltä saatavan tiedon määrä lisääntyy.

4.1 Uusi moottori

Nykyisestä palamisilmapuhaltimen kuormituksesta ei sen käynnin ajalta ole saatavilla mitään muita luetettavia tietoja kuin mekaanisten kuristinkääntöpeltien asentotiedot, kun moottori on käynyt nimelliskuormalla ja –nopeudellaan. Käynnin aikana tilavuusvirtaus palamisilmapuhaltimelta lähtiessään on kuristettu 30% nimellisestä. Huomioitava on myös kanavan aiheuttamat häviöt tilavuusvirtaukseen. Lisäksi lämpötila ja paine eivät aina ole vakioita joten se on otettava huomioon moottorin tehoa määritettäessä. Puhaltimen teho on 364 kW ja sen nimellispyörimisnopeus on 1485 rpm. Käynnistyksessä ei ole erillistä liikkeellelähtömomenttia. Nopeuden perusteella käyttöön sopivin moottori olisi nelinapainen 1500 rpm moottori. Puhaltimen aiheuttama kuormamomentti laskettiin jo aikaisemmin kaavalla 3. Vastaavasti koneen tehon P_{\min} tulee olla suurempi kuin saadusta momentista laskettu teho, joka esitetään kaavassa 10.

$$P_{\min} \geq \frac{2\pi \times n}{60} \times T_p = \frac{2\pi \times 1500}{60} \times 2341 \text{ Nm} = 368 \text{ kW} (10)$$

Puhaltimen tehon- ja momentintarpeen mukaan valitaan valmistajan moottoriluettelosta kolme sopivinta prosessikäyttöön suunniteltua valurautamoottoria, jotka esitetään taulukossa 4.

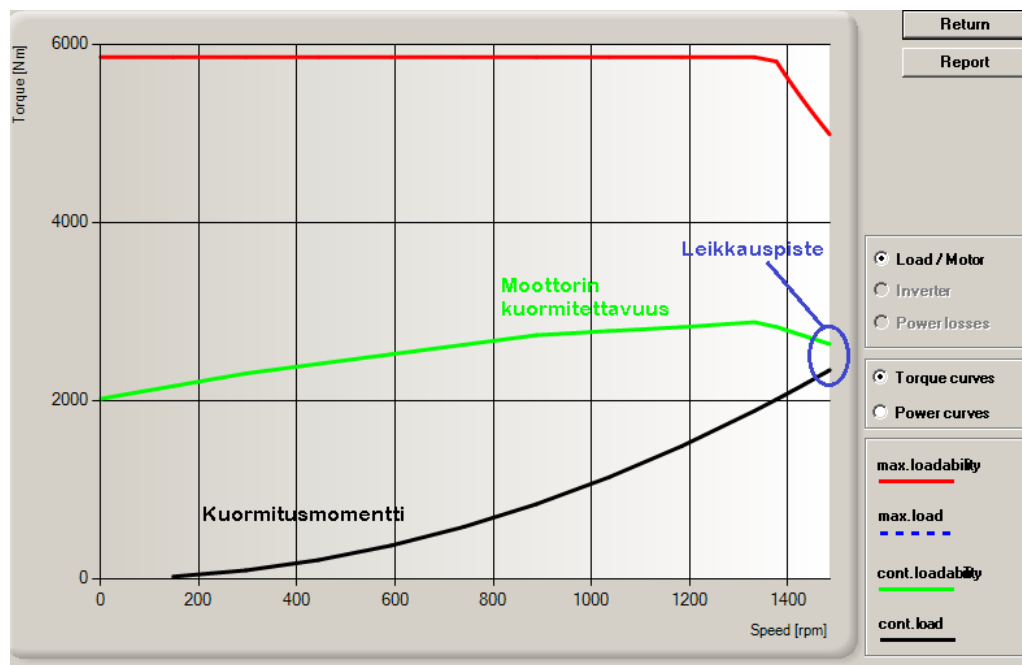
Taulukko 4. Moottorivaihtoehdot

	P[kW]	n[rpm]	I[A]	T[Nm]	IE-Class	cosφ
M3BP 355MLA 4	400	1489	409	2565	IE3	0,85
M3BP 355MLB 4	450	1490	452	2884	IE4	0,86
M3BP 355LKA 4	500	1490	501	3204	IE4	0,86

Kaikki moottorit täyttävät puhaltimen vaatiman tehon ja momentin tarpeen. Nimellismomentissa on moottorista riippuen 8-27 % toleranssi verrattuna puhaltimen kuormamomenttiin. Kaikkia taulukon moottoreita voi tarpeen vaatiessa myös ylikuormittaa reilusti. Moottorien hyötysuhteet ovat vielä puolella tehollaankin kuormitettaessa luokkaa 95-97 %. Suurten moottorien hyötysuhteet pysyvät verrattain parempana osakuormilla kuin pienempien moottoreiden. Kun otetaan huomioon pu-

haltimen tehontarve ja muut palamisilmapuhaltimessa esiintyvät muuttujat, luettelosta valitaan M3BP 355MLB 4 tyyppin 450 kW moottori tarkasteluun.

ABB tarjoaa moottoreiden mitoituksen avuksi DriveSize-ohjelman, jolla pystytään mitoittamaan moottorit, taajuusmuuttajat sekä muuntajat erilaisiin sähkökäyttöihin. Ohjelma on vapaasti ladattavissa ABB:n verkkosivuilta. Ohjelmaan syötetään käytön nimellistiedot, olosuhteet, kuorman tehontarve sekä kuormatyyppi. Ohjelmasta saadaan vaihtoehtot sopivasta moottorista sekä palamisilmapuhaltimen kuormituskäyrä joka näkyy kuvassa 9. Kuormituskäyrän maksiminopeus määrää kuormitusmomentin ja sen pisteen tulee olla moottorin kuormitettavuutta kuvaavan käyrän alapuolella. (Hietalahti 2013,139-140)



Kuva 9, Palamisilmapuhaltimen kuormituskäyrä ja moottorin kuormitettavuus

Valittu moottori on myös hyvin lähellä tehollisarvoiltaan nykyistä käytössä olevaa moottoria. Moottorin tuottama 2884 Nm nimellismomentti on suurempi kuin puhaltimen nimellistoimintapisteessä sen tarvitsema 2341 Nm:n momentti. Lisäksi uuden moottorin maksimikuormitettavuus on 2,9 kertaa nimellismomenttiaan suurempi. Kun lasketaan uuden moottorin kuluttama näennäisteho S ja pätöteho P kohdan 3.2 tavalla huomataan, että uusi moottori kuluttaa myös ~15 % vähemmän loistehoa.

Nimelliskuormituksellaan moottorin ottama virta voidaan laskea kaavalla 11:

$$I = \frac{T_p}{T} \times I_n = \frac{2341\text{Nm}}{2884\text{Nm}} \times 452 \text{ A} = 367 \text{ A} \quad (11)$$

4.2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajan mitoittamiseksi on jo edellä laskettu kuormitusmomentin perusteella sitä vastaava moottorin virta. Taajuusmuuttajan terminen ylikuormitettavuus moottoriin nähden on oleellisesti pienempi. Tästä syystä se joudutaan usein mitoittamaan suurimman käytössä esiintyvän virran perusteella. Taajuusmuuttajan teho siis määräytyy suurimman tarvittavan virran perusteella. (Hietalahti 2013,138)

Taajuusmuuttaja sijoitetaan sähkötilaan, missä on runsaasti vapaata lattiapinta-alaa. Taajuusmuuttaja saa syöttönsä samassa tilassa olevalta alakeskukselta (523T2). Tämän kokoluokan taajuusmuuttajaksi valitsen lattialle asennettavan kaappimallin taajuusmuuttajan. Sitä syöttävät kaapelit saadaan tuotua lattian alla olevassa kaapelitilassa. Asennus helpottuu myös kaappimallin taajuusmuuttajassa, sillä erillisiä kaapelihyllyjä tai kaapelireittejä ei taajuusmuuttajaa syöttävälle kaapelille tarvitse asentaa.

Jännite ja virta huomioiden valitaan valmistajan taajuusmuuttaja luettelosta sopiva taajuusmuuttaja, joka on ABB:n valmistama tyypiltään ACS880-07-0430A-7. Taulukossa 5 esitetään taajuusmuuttajan tärkeimmät tekniset tiedot.

Taulukko 5, Taajuusmuuttajan tekniset tiedot.

Tyyppi	Runkokoko	Tuloarvot	Lähtöarvot					
			Ei ylikuormitusta		Normaalikäyttö		Raskaskäyttö	
			I_n [A]	I_{max} [A]	P_n [kW]	I_{ld} [A]	P_{ld} [A]	I_{hd} [A]
0430A-7	R10	430	520	400	420	400	360	355

Taajuusmuuttajan tekniset tiedot ovat päteviä silloin, kun ympäristön lämpötila on enintään 40 °C. Taulukossa olevat I_d - ja I_{hd} -alaindeksit tarkoittavat taajuusmuuttajan kuormitettavuuksia normaalilla ja raskaalla käytöllä. Normaalilla kuormitettavuudella 10%:n ylikuormitettavuus on sallittu minuutin ajan 5 minuutin välein. Raskaalla kuormitettavuudella 44%:n ylikuormitettavuus on sallittu minuutin ajan 5 minuutin välein. I_{max} kertoo suurimman sallitun lähtövirran. Maksimivirta voi olla aktiivinen

10 sekuntia käynnistyksen aikana, muutoin niin kauan kuin taajuusmuuttajan lämpötila sallii. (ABB Laiteopas ACS880-07 2015.)

4.3 Kaapelointi ja suojaus

Tässä luvussa mitoitetaan taajuusmuuttajaa syöttävä kaapeli syöttävän keskuksen ja taajuusmuuttajan välille sekä moottorikaapelointi taajuusmuuttajan ja moottorin välille. Lisäksi mitoitetaan moottorikäytön suojaus ja suunnitellaan ohjauskaapeloinnit. Uuden moottorikäytön kaapelointi ja suojaus joudutaan toteuttamaan täysin uudelleen. Nykyisen moottorikäytön teho- ja ohjauskaapeloinnit ovat osittain vanhentunutta tekniikkaa ja lisäksi niiden mitoitus eivät ole soveltuvia suunniteltuun tulevaan moottorikäyttöön. Kaapeleiden ja suojauksen suunnittelussa on käytettävä SFS-6000-standardin asettamia vaatimuksia.

4.3.1 Suojaus

Taajuusmuuttajassa on vakiovarusteena sisäiset AC-sulakkeet. Sulakkeet estävät taajuusmuuttajaa ja lisälaitteita vaurioitumasta, jos taajuusmuuttajan sisällä tapahtuu oikosulku. Valitussa 0430A-7-tyypin taajuusmuuttajassa on vakiona 700 A erittäin nopeat aR-sulakkeet vaihetta kohden. Taajuusmuuttaja siis suojaa moottorikaapelia ja moottoria oikosulun aikana, jos moottorikaapeli on mitoitettu taajuusmuuttajan nimellisvirran mukaan.

Moottorin suojaaminen termiseltä ylikuormitukselta toteutetaan moottorin lämpötilavalvonnalla. Taajuusmuuttajassa on moottorin lämpövalvontatoiminto, joka suojaa moottoria ja katkaisee virran tarvittaessa. Taajuusmuuttajan parametriarvon mukaan toiminto valvoo joko laskettua lämpötila-arvoa tai moottorin lämpötila-anturien ilmoittamaa todellista lämpötilaa. Käyttäjä voi säätää lämpömallia syöttämällä lisätietoja moottorista ja kuormasta. Taajuusmuuttaja suojaa itseään sekä syöttö- ja moottorikaapeleita termiseltä ylikuormitukselta. Muita termisen ylikuormituksen suojalaitteita ei tarvita. (ABB Laiteopas 2015, 84-85.)

Taajuusmuuttajaa syöttävä syöttökaapeli on suojattava sulakkeilla tai katkaisijalla käytettävän syöttöjännitteen ja taajuusmuuttajan nimellisvirran mukaan. SFS-6000-standardista löytyvän taulukon C.52.1 mukaan voidaan valita syöttökaapelia ylikuormitukselta suojaaviksi sulakkeiksi 400 A gG-tyypin kahvasulakkeet edellytyksenä se, että kaapeli kestää vähintään 441 A virran. Mitoitusvirtana voimme pitää edellä laskettua 367 A virtaa. Sulakkeet toimivat tässä tapauksessa syöttökaapelin oikosulkusuojana.

4.3.2 Syöttökaapeli

Taajuusmuuttajaa syöttävä kaapeli mitoitetaan taajuusmuuttajan nimellisvirran mukaan. Taajuusmuuttajan runkokoko asettaa vaatimukset käytettävien kaapeleiden kokuokalle. Läpivientien lukumäärä R10 runkokoon taajuusmuuttajassa on 12 ja niiden läpimitta on 60 mm. Maksimi poikkipinta-ala kaapeleiden liittimille on 3x240 tai 4x185 mm².

Kaapelit vedetään sähkötilan lattian alla olevassa kaapelitilassa. Kaapelitilan lämpötila on ~25 °C ja käytettävässä kaapelireitissä on kolme vaakatasoon asennettua päällekkäistä rei'itettyä kaapelihyllyä. Kaapeli asennetaan ylimmälle hyllylle, jossa on yksi muu kaapeli. SFS-standardin mukaan referenssisennustavaksi valitaan E, taulukon B.52.1 mukaan. Referenssiasennustavat ovat asennustapoja, joille on määritelty kuormitettavuus testaamalla tai laskelmien avulla.

Taulukossa B52.20 esitetään korjauskertoimet usean monijohdinkaapelin ryhmille kun asennustapana on E. Hyllyjen lukumäärän ollessa 3 ja kaapeleiden lukumäärän ollessa 2, valitaan korjauskertoimeksi 0,98. Kaapelin kuormitettavuus I_{k1} lasketaan seuraavasti.

$$I_{k1} = \frac{430 \text{ A}}{0,98} = 439 \text{ A} \quad (12)$$

PVC-eristeisistä kuparikaapeleista 240 mm² kestää 456 A kuormituksen ja näin ollen olisi sopiva vaihtoehto syöttökaapeliksi. Alumiinikaapeleista ei kuormitettavuuden mukaan sopivaa kaapelia löydy. Vaihtoehtona on käyttää kahta rinnakkain kytkettyä alumiinikaapelia, jolloin myös kaapeleiden lukumäärä hyllyllä lisääntyy yhdellä. Lasketaan uusi kaapelin kuormitettavuus I_{k2} .

$$I_{k2} = \frac{215A}{0,95} = 227 A \quad (13)$$

Yhden rinnankytketyn alumiinikaapelin kuormitettavuus olisi siis 227 A. Sopiva kahden alumiinikaapelin poikkipinta-ala olisi 150 mm² jota voidaan kuormittaa 260 A:n virralla. Kuparikaapeleista kahden rinnankytketyn kaapelin vaihtoehtona on että käytetään kahta poikkipinta-alaltaan 95 mm² olevaa kaapelia. Taulukossa 6 on esitetty vaihtoehdot syöttökaapeliksi.

Taulukko 6, syöttökaapelivaihtoehdot.

Kupari	Tyyppi	Kuormitettavuus[A]	Vaadittukuormitettavuus[A]
1xEMCMK	3x240+120	456	439
2xMCMK	3x95/50	2x252	2x227
Alumiini			
2xAMCMK-HD	3x150/88	2x260	2x227

4.3.3 Moottorikaapeli

Moottorikaapelin asennusreitti kulkee hallin yläosassa kulkevilla kaapelihyllyillä. Kaapelin asennuksessa hyödynnetään suurilta osin jo olemassa olevia kaapelireittejä. Moottorin turvakytkin asennetaan palamisilmamoottorin läheisyyteen seinälle. Moottorikaapelia mitoittaessa on otettava huomioon ympäristön lämpötila, mikä on suurempi kuin syöttökaapelin. Ympäristön lämpötila hallissa on ~40 °C ja korjausker-toimeksi valitaan standardista löytyvän B52.14 perusteella 0,82. Kaapelireitillä on kuusi päällekkäin vaakasuoraan asennettua rei'itettyä kaapelihyllyä. Käytettävällä hyllyllä on ennestään kaksi muuta kaapelia.

Taulukossa 6 mitoitettujen kaapeleiden perusteella lähdetään tarkastelemaan suoraan kahden rinnankytketyn kaapelin vaihtoehtoja. Poikkipinta-alaltaan pienempien kaapeleiden asennus on helpompi toteuttaa, kun otetaan huomioon moottorikaapelin osittain haastava ja pitkä reitti. Valitaan taulukoiden B.52.14 ja B.52.20 mukaisesti oikeat korjauskertoimet ja lasketaan moottorikaapelin vaatima vähimmäiskuormitus I_m . Korjauskerroin k_1 on valittu ympäristön lämpötilan ollessa 40 °C ja kerroin k_2 on valittu hyllyjen lukumäärän ollessa 3 ja kaapeleiden lukumäärän ollessa 4.

$$I_m = \frac{I}{k_1 \times k_2} = \frac{215 \text{ A}}{0,82 \times 0,76} = 345 \text{ A} \quad (14)$$

Tässä tapauksessa kuparikaapeleiden tulisi olla vähintään 185 mm² ja vastaavien alumiinikaapeleiden koko olisi 240 mm². Moottorikaapeleiksi valitaan sen pituuden vuoksi hyvin häiriösuojatut voimakaapelit. Taulukossa 7 on esitetty moottorikaapeli vaihtoehdot.

Taulukko 7, moottorikaapeli vaihtoehdot

Kupari	Tyyppi	Kuormitettavuus[A]	Vaadittukuormitettavuus[A]
2xEMCMK	3x185/95	2x386	2x345
Alumiini			
2xAEMCMK	3x240/72	2x350	2x345

4.3.4 Ohjaus- ja automaatiokaapelointi

Liityntä pääautomaatiojärjestelmään toteutetaan NOMAK 12x2x0,5+0,5 instrumentointikaapelilla. Automaatiojärjestelmän ristikytkentätila sijaitsee sähkötilan toisessa kerroksessa, mihin automaatiokaapeli vedetään taajuusmuuttajalta ja kytketään I/O-korteille. Automaatiokaapelin lisäksi viedään MMJ 5x1,5 kaapeli sähkölähdöstä moottorin turvakytkimelle. Turvakytkimeltä saadaan tällä turvakytkimen tilatieto. Vedetään myös erillinen oma kaapelinsa moottorille, jos myöhemmin halutaan moottorin NTC- termistorimittaus käyttöön.

5 LOPULLISET LAITEVALINNAT

Palamisilmapuhallinkäytön uudistuksessa puretaan kokonaan nykyisen käytön moottori, kaapeloinnit sekä sähkölähtö. Uusi laitteisto koostuu taajuusmuuttajasta, oikosulkumoottorista ja tehokaapeloinnista.

Uuden käytön moottoriksi valitaan ABB:n valmistama prosessikäyttöön soveltuva 450 kW oikosulkumoottori. Taajuusmuuttajana toimii kaappimallin ACS880-07-0430A-7. Syöttökaapeli sekä turvakytkimeltä moottorille menevä kaapeli on yksinkertainen kuparikaapeli, koska yksinkertaisen kaapelin käsiteltävyys ja kytkeminen on huomattavasti yksinkertaisempaa. Moottorikaapeliksi valikoituu kaksinkertainen alumiinikaapeli sen huomattavasti halvemman hinnan sekä käsiteltävyyden perusteella. Laitevalinnat on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8, Lopulliset laitevalinnat.

	Tyyppi	Un[V]	In[A]	Pn[kW]	Huomioitavaa:
Moottori	M3BP 355MLB 4	690	452	450	
Taajuusmuuttaja	ACS880-07-0430A-7	690	430	400	
Syöttökaapeli	EMCMK 3x240/120	1kV			Kaapelin pituus ~10m
Moottorikaapeli	2xAEMCMK 3x240/72	1kV			Kaapelin pituus ~110m

6 YHTEENVETO

Idea opinnäytetyöstä tuli marraskuussa 2015 työn tilaajalta. Aikaisempaa kokemusta ei moottorikäyttöjen mitoituksesta ollut. Lähteitä löytyi työn aiheesta runsaasti ja työssä pystyin hyödyntämään myös opiskeluiden aikana hankittua tietoa.

Työ lähti liikkeelle tutustumalla voimalaitoksella käytössä olevaan laitteistoon ja sen toimintaan. Lisäksi perehdyin työn kannalta tärkeisiin teoreettisiin tietoihin, kuten oikosulkumoottorin ja taajuusmuuttajan toimintaan puhallinkäytössä. Moottorikäytöltä vaadittujen ominaisuuksien selvitys oli osittain hankalaa, koska puhaltimesta ei ollut saatavana sen ominaiskäyriä, eikä muuta siihen liittyvää materiaalia. Lisäselvityksien jälkeen pystyttiin riittävällä tasolla arvioimaan kuorman vaikutukset käytöltä

vaadittuihin ominaisuuksiin. Tämän jälkeen moottorikäytön mitoitus oli melko suoraviivaista ja lopulliset laitevalinnat oli helppo tehdä.

Tilaaaja oli tyytyväinen lopputuloksena saatuihin laitevalintoihin ja työn sisältöön. Työstä jäi omasta mielestä puuttumaan kustannuslaskelmat, mutta niiden tekeminen yksityishenkilön puolelta ei anna mielestäni riittävän tarkkaa lopputulosta. Omasta mielestä työ onnistui hyvin ja työn myötä sähkökäyttöjen mitoituksesta tuli opittua hyödyllistä tietoa, joka palvelee itseäni tulevaisuudessa. Kiitoksen haluan sanoa työssä mukana olleille ja siinä auttaneina, Metsä Board Kyron Eero Sinkkoselle ja Juhani Nännimäiselle.

LÄHTEET

- Leena Korpinen. 1998. sähkökoneet osa 1. Viitattu 10.01.2016.
https://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf
- ABB. 2001. Tekninen opas 7. Sähkökäytön mitoitus. Viitattu 13.01.2016.
https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opas_nro7.pdf
- ABB. 2001. Tekninen opas 4. Nopeussäädettyjen käyttöjen opas. Viitattu 13.01.2016.
https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf
- Olli Mård. 2016. ABB. Puhelinhaastattelu 18.01.2016. Haastattelijana Jesse Jokinen.
- Honkanen.H. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Opetusmateriaali. Viitattu 15.01.2016.
http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/STEK_SMOOTT.pdf
- Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikka. Viitattu 15.01.2016.
http://www.tekniikka.oamk.fi/~terohi/auto1_s2006u.htm
- Hietalahti Lauri. 2011. Säädetyt sähkömoottorikäytöt. Tampere: Amk-kustannus Oy Tammertekniikka
- Hietalahti Lauri. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Tampere: Amk-kustannus Oy Tammertekniikka.
- ABB. 2015. Laiteopas. ACS880-07 taajuusmuuttajat. Viitattu 01.02.2016.
https://library.e.abb.com/public/07a0abf5773247649f0822852f9c45ba/FI_ACS880-07_45to710kW_HW_E_A4.pdf
- Suomen standardisoimisliitto SFS RY. 2012. Sähköasennukset. Osa 1:SFS 6000 pienjännitesähköasennukset. Helsinki.
- Pohjolan voima Oy. 2012. Voimalaitoksen esite. Viitattu 10.02.2016.
<http://www.pohjolanvoima.fi/lampo/hameenkyro>

LIITE 1

