



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Olli-Erkki Kristian Tuominen

**TAAJUUSMUUTTAJA-
MOOTTORIYHDISTELMIEN TUTKIMI-
NEN ABB ACS800 -
TAAJUUSMUUTTAJIA KÄYTTÄEN**

Tekniikka ja liikenne
2010

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Olli Tuominen
Opinnäytetyön nimi	Taajuusmuuttaja-moottoriyhdistelmien tutkiminen ABB ACS800 -taajuusmuuttajia käyttäen
Vuosi	2010
Kieli	suomi
Sivumäärä	83 + 11 liitettä
Ohjaaja	Vesa Verkkonen

Opinnäytetyön tavoitteena oli hahmotella Vaasan ammattikorkeakoululle yleisku-va Technobotnia tutkimuskeskukseen suunniteltavasta taajuusmuuttaja- moottori-testauslaitteistosta. Technobotnia on Vaasan ammattikorkeakoulun, Vaasan yli-opiston ja Yrkeshögskolan Novian yhteisessä käytössä oleva korkeatasoinen tek-nisen alan tutkimus- ja opetuskeskus. Technobotnian tarkoituksena on toimia yh-teistyökanavana oppilaitosten, yritysten sekä muiden tutkimuslaitosten ja teknolo-giakeskusten välillä ja tarjota yrityksille ja yhteisöille tutkimus-, tuotekehitys-, mittaus- ja koestuspalveluita sekä koulutusta.

Työn pääkohtina oli hankkia tietoa tarvittavasta testauslaitteistosta ja sen kustan-nuksista, tutkia ja suunnitella tilan käyttö testitilalle varatussa huoneiston osassa, selvittää IEC-standardien mukaiset vaatimukset lämpenemäkoestuksille sekä suunnitella ehdotukset testitilan sähkönsyötön, jäähdytyksen ynnä muiden ongel-mien ratkaisemiseksi ja hahmotella lay-out -kuvat huoneiston tilankäytöstä sekä moottoritestipenkin rakenteesta.

Testauslaitteiston toteutus on käytännössä mahdollinen, mikäli budjetti sen vain sallii. Testitilan pieni koko aiheuttaa omat ongelmansa, mutta ne voidaan tietyillä kompromisseilla hoitaa menestyksekkäästi. Lopulliset ratkaisut testauslaitteiston komponenteista ja muut mahdolliset vaatimukset yhteistyökumppani ABB:n puo-lelta tulevat määräämään testauslaitteiston lopullisen kokoonpanon. Mikäli testi-laitteisto toteutuu, sitä voidaan hyödyntää monipuolisesti niin oppilas- kuin yri-tyskäytössäkin.

Asiasanat taajuusmuuttaja, lämpenemätestit, koestus, sähkönsyöttö.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Olli Tuominen
Title	Study on Frequency Converter and Electric Motor Combinations Using ABB ACS800 Frequency Converters
Year	2010
Language	Finnish
Pages	83 + 11 Appendices
Name of Supervisor	Vesa Verkkonen

The purpose of this thesis was to make an overview of equipment which is going to be used for testing frequency converter and electric motor combinations. The test room of the equipment will be placed at Technobotnia Research Center in Vaasa. Technobotnia is a massive joint project, involving the Ministry of Education, the city of Vaasa, the University of Vaasa, VAMK University of Applied Sciences and Novia University of Applied Sciences.

In this project ABB Oyj will be a partner with VAMK University of Applied Sciences. ABB is to supply the main components, the load motor and frequency converters. The rest of the components, such as a measuring system, cooling system, test bench for motors and many other things will be supplied by VAMK.

The main points for the thesis were to gather information of the needed equipment and their costs, find out how advantageous the test room would be for test use and on the whole, if it would be feasible to use it. Other points were to examine the heating test of electric motors according to IEC-standards 60034-1 and 60034-2-1, to plan the power supply of the devices and the cooling of the test room.

Carrying out the system will be possible provided that the budget allows it. The final assembly depends on the demands of ABB. If the system is implemented, it can be utilised both by VAMK in instruction and by enterprises.

Keywords Frequency Converter, Heating Tests and Power Supply.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
TAULUKKOLUETTELO	7
LIITELUETTELO	8
1 JOHDANTO	9
2 TESTAUSLAITTEISTO	11
2.1 Taajuusmuuttaja ABB ACS800	11
2.1.1 Toiminta	11
2.1.2 Tekniset tiedot	12
2.2 MNS-kojeisto	13
2.3 Kuormakone	15
2.4 Moottoripenkki	16
2.5 IEC:n standardimitat sähkökoneiden asennusmitoille	17
2.6 14,5 kW:n moottoripenkki	17
2.7 Nostolaitteet moottorien siirtoon	18
2.7.1 Konecranes XMM-yksikiskojärjestelmä	19
2.7.2 Konecranes XMSL-työpistenosturi	19
2.7.3 Kokoontaitettava puominostin	20
2.7.4 I-palkki ja ketjunostin	21
2.7.5 Omavalmiste taljalla	22
2.8 Momentin mittaus	22
2.8.1 HBM T32FNA-momenttianturi	24
2.8.2 HBM T10F -momenttianturi	25
2.8.3 HBM T22 -momenttianturi	26
2.8.4 HBM T40 –laippamomenttianturi	27
2.8.5 MAGTROL TM 314/03	28
2.8.6 KTR Dataflex 42/1000	29
2.8.7 Datum M420-S3 (2000 Nm)	31
2.8.8 Datum FF420 & RS420 –S3 (2000 Nm)	33
2.8.9 IML TLS (1000 Nm)	34
2.8.10 Johtopäätökset	34

2.9	SFS 6000 -standardin vaatimukset sähkölaboratoriotiloille	35
3	SÄHKÖNSYÖTTÖ	36
3.1	Syöttökaapelin kuormitettavuuden määrittäminen.....	36
3.2	Nousujohto pääkeskukselta testitilan tehomuuntajalle	38
3.2.1	Kaapelihyllylle asennettava osuus	39
3.2.2	Betoniseinän sisään asennettava osuus	40
3.2.3	Betoniseinälle asennettava osuus	40
3.3	Nousujohdon suojaus	40
3.4	Taajuusmuuttajan verkkoliitännät.....	41
3.5	Moottorikaapelit testattaville moottoreille ja niiden suojaus	42
4	LÄMPENEMÄTESTIT IEC-STANDARDIEN MUKAAN SEKÄ MUUT MAHDOLLISET MITTAUKSET	46
4.1	Yleistä	46
4.2	Olosuhteet	46
4.2.1	Sähkönsyöttö.....	46
4.2.2	Moottorin lämpötila ennen testiä	47
4.2.3	Jäähdytysaineen lämpötila	47
4.2.4	Jäähdytysaineen lämpötilan mittaus testin aikana.....	47
4.3	Lämpenämittauksessa käytettäviä antureita PC:llä mitattaessa	48
4.3.1	Termoparielementit	48
4.3.2	PT-100 vastusanturi	50
4.3.3	NTC-Termistori.....	51
4.4	Lämpenemän mittaus moottorin rungosta.....	51
4.5	Lämpenemän mittaus moottorin käämeistä	53
4.6	Moottorin sallittu lämpenemä ja kuormitettavuus	55
4.7	Moottorin eristysjännittekeston mittaus.....	58
4.8	Moottorin hyötysuhteen mittaus ja häviöt	58
4.9	Taajuusmuuttajan analysointi tehoanalyysaattorilla	59
4.10	Virherajat.....	60
4.11	Ylikuormituskoe.....	62
4.12	Oikosulkukoe	62
4.13	Ylinopeuskoe	62

4.14	Melu ja värinä	63
5	HALT-TESTILAITTEEN HYÖDYNTÄMINEN.....	64
5.1	Yleistä	64
5.2	HALTin soveltuvuus testiympäristöön	65
6	TESTIPAIKAN LÄMPENEMÄ	66
6.1	Toteutus.....	66
6.2	Poistoilmapuhallin	67
6.3	Ilmalämpöpumppu	67
6.4	Ilmastointilaitteet jäähdytysratkaisuna.....	69
6.5	Ilmastoinnin toteutus käyttämällä jäähdytyslaitteita.....	69
6.5.1	Panasonic V-18 & V24	70
6.5.2	Toshiba VRF	71
6.5.3	Carrier palvelinhuoneiden jäähdyttimet.....	74
6.6	Ilmastoinnin johtopäätökset	74
7	YHTEENVETO	76
	LÄHDELUETTELO.....	79
	LIITTEET	

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1	taajuusmuuttajayksiköiden tiedot
Taulukko 2	laakerien lämpötilojen mittauspisteet
Taulukko 3	vastusmittauksen aikarajat
Taulukko 4	sallitut lämpenemäarvot ilmajäähdytteiselle moottorille
Taulukko 5	110 kW:n moottorin kuormitettavuus kuvan 29 kuormituskäyrien mukaan
Taulukko 6	Mini-SMMS ulkoyksikön tekniset tiedot
Taulukko 7	SMMS ulkoyksikön tekniset tiedot.

LIITELUETTELO

LIITE 1	momenttianturien tekniset tiedot
LIITE 2	lay-out kuva testitilasta
LIITE 3	lay-out kuva testipenkistä laippamomenttianturilla
LIITE 4	lay-out kuva testipenkistä akselimomenttianturilla
LIITE 5	moottorikaapelin data-lehtinen
LIITE 6	ACS800-04 -taajuusmuuttajan tekniset tiedot
LIITE 7	ACS800-31 -taajuusmuuttajan tekniset tiedot
LIITE 8	Toshiba SMMS jäähdytysjärjestelmän ulkoyksikkövaihtoehdot
LIITE 9	Toshiba Piping schematic -mitoituspierros
LIITE 10	tarjous T22-momenttianturista
LIITE 11	lay-out kuvat MNS ACS800 -kojeistosta.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli hahmotella Vaasan ammattikorkeakoululle yleisku-
va Technobotnia tutkimuskeskukseen suunniteltavasta taajuusmuuttaja- moottori-
testauslaitteistosta. Technobotnia on Vaasan ammattikorkeakoulun, Vaasan yli-
opiston ja Yrkeshögskolan Novian yhteisessä käytössä oleva korkeatasoinen tek-
nisen alan tutkimus- ja opetuskeskus.

Työn varsinainen tarkoitus ei ollut suunnitella testauslaitteistoa alusta asti itse,
vaan hahmotella saatavilla olleista tiedoista ja itse hankitusta informaatiosta ko-
konaisuus, josta käy ilmi laitteiston toteutuksen kannalta oleelliset tiedot.
Näitä ovat muun muassa seuraavat: onko toteutus ylipäättään mahdollinen, mitkä
ovat sen kustannukset ja mitä toimenpiteitä se aiheuttaa Vaasan ammattikorkea-
koulun kannalta.

Opinnäytetyön kappaleessa kaksi on yleiskuva laitteistosta. Kappaleesta käy pää-
piirteisään ilmi laitteisto, joka testitilaan on mahdollisesti tulossa. Kappale sisäl-
tää myös valintaehdotuksia tiettyjen asioiden, kuten momenttianturin kohdalla.
Mittalaitteistoa ei tässä kappaleessa ole esitetty, koska sen lopullisesta kokoon-
panosta ei ole täyttä selvyyttä. Muutamia mittalaitteita on kuitenkin esitetty myö-
hemmissä kappaleissa.

Kappaleessa kolme on esitetty sähkönsyöttösuunnitelma, joka käsittää kaapelei-
den mitoituksen ja suojauksen. Suunnitelma on suuntaa antava ja tarkempi mitoi-
tus tehdään varmasti vielä yhteistyökumppanin toimesta PC-pohjaisesti kun ko-
jeiston ja muuntajan tiedot varmistuvat.

Kappale neljä käsittelee moottoreille tehtävien lämpenemätestien vaatimuksia ja
ohjeistuksia IEC-standardien 60034-1 ja 60034-2-1 pohjalta. Kappaleessa on
myös muuta yleistä tietoa lämpenemätesteihin liittyen ja muita mahdollisia moot-
toreille tehtäviä testejä.

Kappaleessa viisi on lyhyt kuvaus testitilan vieressä sijaitsevan HALT-
testilaitteen hyödyntämisestä lämpenemätestejä tehtäessä ja yleensä taajuusmuut-
tajia ajettaessa. HALT tarkoittaa laitteiden nopeaa eliniän määrittelevää testiä, jos-

sa testattavaa laitetta rasitetaan suurten lämpötilavaihteluiden ja värinöiden avulla niin, että pystytään löytämään laitteen heikkoudet sekä sen toiminta- ja rikkoutumisrajat.

Kappaleessa kuusi puhutaan ilmastoinnin toteutuksesta testitilaan. Kun pieneen tilaan rakennetaan laitteisto, jonka hukkalämpö on kymmeniä kilowatteja, on tehokas jäähdytys välttämätöntä. Jäähdytyksessä ei riitä lämpötilan pitäminen pelkästään alhaisena vaan sen tulee olla myös hyvin stabiili, jotta standardien määrittelemät ohjeistukset testien aikaisten ympäristön lämpötilojen suhteen täyttyvät.

Viimeisessä kappaleessa on yhteenveto lopputyöstä kokonaisuudessaan ja kustannusarvio järjestelmän kustannuksista. Kappaleessa käsitellään myös muita johtopäätöksiä ja ongelmia mitä työn tekemisen aikana on tullut esille.

2 TESTAUSLAITTEISTO

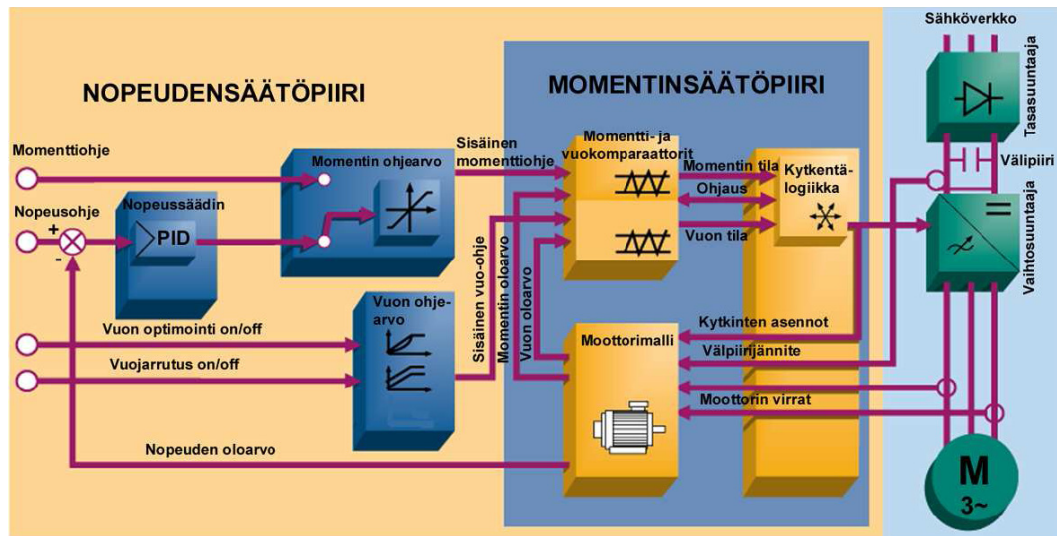
2.1 Taajuusmuuttaja ABB ACS800

2.1.1 Toiminta

Taajuusmuuttajalla pystytään ohjaamaan ja säätämään sähkömoottorin pyörimisnopeutta tai momenttia. Vaihtosähkömoottorin pyörimisnopeus on riippuvainen siihen syötettävän sähkönsä taajuudesta ja juuri tästä taajuuden muuttamisesta taajuusmuuttaja on saanut nimensä. Alun perin vain pyörimisnopeuden säätö taajuuden avulla oli mahdollista, mutta nykyään myös vääntömomentin säätö pyörimisnopeuden pysyessä vakiona on mahdollista.

Taajuusmuuttajan rakenne voidaan jakaa neljään osaan: tasasuuntaaja, välipiiri, vaihtosuuntaaja sekä näitä kolmea yksikköä ohjaava ohjauspiiri. Taajuusmuuttajan toimintaperiaate on yksinkertaistettuna seuraavanlainen: Ensimmäiseksi sähköverkosta taajuusmuuttajaan syötetty sinimuotoinen vaihtojännite tasasuunnataan eli muutetaan sykkiväksi tasajännitteeksi. Tämä tasajännite on kuitenkin vielä epätasaista, joten se pitää suodattaa. Tämä tapahtuu välipiirissä olevilla kondensaattoreilla, jotka tasoittavat jännitteen ja toimivat samalla energiavarastoina kommutointien yhteydessä, jolloin välipiirissä oleva DC-jännite pysyy vakaana. Viimeisenä vaihtosuuntausyksikkö muuttaa suodatetun tasajännitteen halutun taajuiseksi vaihtojännitteeksi, joka lopuksi syötetään ohjattavalle moottorille. /13/

ACS800-tuotesarja käyttää ABB:n kehittämää DTC (Direct Torque Control) -tekniikkaa, jonka avulla vuovektorisäätö toteutetaan ilman takaisinkytkentää. Pitkälle kehitetyn moottoriteorian avulla moottorin momentti lasketaan suoraan ilman modulaatiota. Säätösuureet ovat moottorin magneettivuo ja moottorin momentti. DTC-tekniikkaa käytettäessä ei tarvita modulaattoria, takometriä tai asentoanturia moottorin akselin nopeuden tai asennon takaisinkytkentään. Kuvasta 1 nähdään DTC-tekniikan toimintaperiaate. /9, 10, 13/



Kuva 1. DTC:n toimintaperiaate lohkokkaaviona. /9/

Taajuusmuuttaja mitoitetaan aina syötettävän moottorin nimellisvirran mukaan ja useimmiten niin, että moottorin vaihto seuraavaan vakiokokoon on mahdollista. Koska taajuusmuuttaja perustuu tehoelektroniikkaan, tulee niiden olla nimellisvirraltaan moottoria suurempia, koska taajuusmuuttajien termiset aikavakiot ovat lyhyempiä kuin moottoreiden ja jaksollisen kuormituksen kuormitusvirtahuiput voivat vahingoittaa niitä. /9/

2.1.2 Tekniset tiedot

ABB ACS800 -taajuusmuuttajia on saatavana useita eri malleja niiden ominaisuuksien mukaan. Testilaitteistossa tullaan oletettavasti käyttämään lähinnä ACS800-04 ja ACS800-31 single drive -malleja. ACS800-31 -mallia tullaan käyttämään kuormakoneen ohjaamiseen, ACS800-04 -mallit tulevat testattaviksi yksiköiksi. ACS800-31 -malli ei kuitenkaan ole verkkoonjarruttava, joten ABB:ltä tulee varmistaa ovatko he nimenomaan suunnitelleet kuormakoneen ohjaukseen käytettävän pienten yliaaltojen ACS800-31 -mallia vai tulisiko kuormakoneen ohjaukseen käyttää erityisesti verkkoon syöttämiseen suunniteltua ACS800-11 -mallia.

Selvyiden vuoksi on hyvä kertoa muutamien eri mallityyppien erot. Single drive -malleissa jokaisella taajuusmuuttajalla on oma vaihto- ja tasasuuntaajamuuntajan. ABB:ltä on saatavissa myös multi drive -tuoteperhe, jossa taajuusmuuttajien

syöttömoduuli syöttää energiaa vaihtosuuntaajamoduuleihin yhteisen tasajännittevälipiirin kautta.

Seinälle asennettavat single drive -mallit ovat:

- ACS800-01: yksinkertainen perusmalli, tehoalue 0,55 - 110 kW
- ACS800-04: kompakti ja hyvin varusteltu malli, tehoalue 0,55 - 200 kW
- ACS800-11: verkkoonjarruttava malli, tehoalue 5,5 - 110 kW
- ACS800-31: pienten yliaaltojen malli, tehoalue 5,5 - 110 kW.

Lattialle asennettavat single drive -mallit ovat:

- ACS800-02: erittäin pienikokoinen mallisarja, tehoalue 45 – 560 kW
- ACS800-07: lattialle asennettava perusmalli, tehoalue 45 – 2800 kW
- ACS800-17: verkkoonjarruttava, tehoalue 45 – 2500 kW
- ACS800-37: pienten yliaaltojen malli, tehoalue 45 – 2800 kW
- ACS800-07LC: nestejäähdytteinen malli, tehoalue 200 – 5600 kW.

2.2 MNS-kojeisto

Taajuusmuuttajat ovat tehdasvalmisteisesti koteloituja ja tarkoitettu asennettavaksi sellaisenaan normaaliin tehdasympäristöön. Niiden yhteyteen halutaan kuitenkin usein erilaisia ohjaukseen, turvallisuuteen tai kommunikaatioon liittyviä lisälaitteita tai päävirtapiirin häiriösuodattimia. Nykyaikaisissa prosesseissa tarvitaan yhä useammin vakionopeuskäyttöjen lisäksi nopeussäädettyjä moottorikäyttöjä, joita halutaan ohjata samoilla kenttäväylillä ja liittää samoihin ohjausjärjestelmän prosessiasemiin. Laitoksen sähkönjakelun rakenteen kannalta saattaa joskus olla edullista asentaa taajuusmuuttajat erillisiin yhteisellä syötöllä varustettuihin kojeistoihin, jolloin yliaaltojen ja mahdollisten häiriöiden suodattaminen voidaan tehdä keskitetysti. MNS-kojeisto antaa mahdollisuuden rakentaa myös suurempia

erilliskäyttöyksiköitä, joihin voidaan keskittää kaikki prosessin tai sen osan tarvitsemat taajuusmuuttajat. Taajuusmuuttajakojeisto voi koostua erikokoisista taajuusmuuttajista ja yhteisestä AC-syötöstä.

Tässä testauslaitteistossa taajuusmuuttajia varten tarvitaan ACS800 sarjalle tarkoitettu MNS-taajuusmuuttajakojeisto. Kojеistossa on mahdollisuus käyttää taulukossa 1 esitettyjä R2-R6 runkokoon ACS800-taajuusmuuttajia. Liitteessä X on lisäksi lay-out piirustukset testauslaitteistoon tulevan kojeiston mahdollisesta rakenteesta. Kuvassa 2 on MNS-kojeisto etupuolelta ja kuvassa 3 näkyy kojeistoon asennetut ACS800-taajuusmuuttajat.

Taulukko 1. Taajuusmuuttajayksiköiden tiedot (* Runkokoot R4 ja R5, joissa 690 V syöttö, korkeus 2125 mm johtuen du/dt suodattimista). /18/

Runkokoko	Teho 400 V kW	Teho 500 V kW	Teho 690 V kW	Toimintayksiköiden mitat		Max. määrä/ kenttä
				Leveys mm	Korkeus mm	
R2	...5,5	...7,5		400	500	4
R3	7,5...15	11...18,5		400	600	3
R4*	22...30	22...30	11...30	400	1000*	2*
R5*	37...55	37...55	45...55	400	1400*	1
R6	75...110	75...110	75...110	400	2125*	1



Kuva 2. Esimerkki ABB:n MNS-kojeistosta.



Kuva 3. ACS800 kojeistossa.

MNS-kojeistojen tekniset arvot ovat seuraavat:

Nimellisericistysjännite	U _i	1000	VAC
Nimellisjännite	U _e	400, 500, 690	VAC
Nimellistaajuus	f	50/60	Hz
Nimellisvirta	I _n	6300	A
Terminen nimelliskestovirta	I _{cw}	100	kA
Dynaaminen nimelliskestovirta	I _{pk}	250	kA
Valokaarikestoisuus		50	kA, 300 ms, 760 V
EMC-ympäristö		2	
Kotelointiluokka		IP 31	

/18, 15, 29/

2.3 Kuormakone

Testauslaitteiston kuormakoneeksi on suunniteltu ABB:n valurautarunkoista, EFF2-hyötysuhdeluokan (uuden IEC 60034-30 standardin mukaan IE1-hyötysuhdeluokan) 4-napaparista oikosulkumoottoria, jonka nimellissynkroninopeus on 1500 r/min, nimellisakseliteho 110 - 132 kW ja runkokoko 315SMA.

Kuormakoneen rakenne voidaan toteuttaa ABB:n normeista poikkeavalla rakenteella. Koska taajuusmuuttajien avulla testattavia moottoreita voidaan ajaa kentänheikennysalueella ylinopeudella yli nimellisopeuksien, tulee kuormakoneen laakerointi suunnitella vastaamaan 2-napaparisen, 3000 r/min moottorin laakerointia. Kun tähän lisätään käytöt 60 Hz:n taajuudella, saadaan nimellisyörimisnopeudeksi 3600 r/min. Lisäksi tulee ottaa huomioon mahdollinen ylitaajuudella ajo, joten moottorin laakeroinnin tulisi kestää jopa yli 4000 r/min suuruisia nopeuksia. /26/

Kuormakoneen akseli voidaan tehdä myös mittatilaustyönä. Ajettaessa testejä vain taajuusmuuttajaohjauksella voidaan unohtaa suoraan verkosta tapahtuvien suorien käynnistysten aiheuttamat nopeat ja suuret momentin muutokset. Moottorin akselia ei tarvitse siis mitoittaa yhtä järeäksi kuin normaalisti. Kaikki mahdollinen ylimääräinen hitausmassan poisto moottorin roottorista on erityisesti kuormakoneen kohdalla edukseen. Kuormakoneen tulisi aina olla hieman voimakkaampi kuin testattava moottori, jotta sen antama vastamomentti olisi joka tilan-

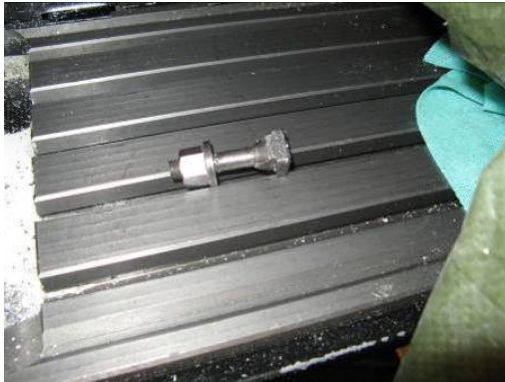
teessa suurempi. Tällöin ei tulisi olemaan tilannetta, jossa kuormakoneen maksimimomentti saavutetaan ennen testattavaa moottoria.

2.4 Moottoripenkki

Jotta moottoreita kyettäisiin testaamaan, tulee niille valmistaa oma moottoripeti. Suunnittelun lähtökohtana voidaan pitää samantyyppisiä moottoripenkkejä, joita laboratorion pienemmät moottoripenkit ovat. Olennainen ero tulee olemaan se, miten toteuttaa testattavan moottorin osalta sen vaihdettavuus. Koska penkissä on tarkoitus testata runkokooltaan erilaisia moottoreita, tulee eri kokoluokille olla erilaiset kiinnityskelkat, jotka sitten ankkuroidaan itse moottoripenkkiin kiinni. Suurin runkokoko ei kelkkaa tarvitse vaan se ankkuroidaan suoraan moottoripenkkiin.

Moottoripeti voidaan toteuttaa täysimittaisena tai useammassa osassa. Täysimittainen peti on luonnollisesti paras mahdollinen ratkaisu, mutta kustannukset nousevat huomattavasti verrattuna kaksiosaiseen alustaan, koska täysmittaista petiä ei ole mahdollista rakentaa Technobotnian omilla metallintyöstökoneilla, vaan työ olisi teetettävä ulkopuolisella. Kaksiosainen penkki, jossa akselien ja momenttianturin välinen matka on jätetty kokonaan pois, voitaisiin rakentaa omavalmistaisesti. Tämä olisi merkittävä kustannussäästö niin materiaali- kuin työkustannusten osaltakin. On tietenkin huomattava, että kaksiosainen penkki on kiinnitettävä alustaan huomattavasti paremmin kuin täysimittainen moottoripenkki.

Riippumatta penkin rakennustavasta sen rakennusmateriaalina olisi suositeltavaa käyttää umpinaista teräsmateriaalia. Hyvänä esimerkkinä voidaan pitää kuvassa 4 olevan metallisorvin työstöalustan kaltaista rakennetta. Putkirunko on halvempi toteuttaa, mutta sillä saattaa olla taipumusta vääntelehtiä suurten vääntörasitusten aikana, mikäli se ei ole todella hyvin pultattu alustaansa kiinni. Lisäksi suurimmat testattavat moottorit voivat painaa jopa 800 - 900 kg, mikä saattaa aiheuttaa liian suuria rasituksia putkirunkorakenteelle. Liitteessä 3 on mallipiirros laippamomenttianturilla toteutetusta testipenkistä ja liitteessä 4 akselimomenttianturilla toteutetusta testipenkistä.



Kuva 4. Esimerkki sovellettavasta moottorin kiinnityksestä ja runkorakenteesta.

2.5 IEC:n standardimitat sähkökoneiden asennusmitoille

Moottoripedin suunnittelussa on huomioitava ABB:n noudattamien IEC-standardien mukaiset asennusmitat sähkömoottoreille ja niitä vastaavat kokoa ilmaisevat tunnuksset. Koneet, joilla on sama tunnus, ovat asennusmittojensa puolesta keskenään vaihtokelpoisia. Akselikorkeuden ollessa enintään 400 mm, tulee jalallisten koneiden tunnukseen rungon tunnus ja vapaan akselinpään halkaisija, esimerkiksi 112 M 28. Rungon tunnus muodostuu akselikorkeudesta ja kirjaimista S, M tai L, jotka ilmaisevat rungon pituusluokan.

Mikäli jalallinen kone on varustettu kiinnityslaipalla koneen käyttöpäässä, lisätään laipan tunnus, esimerkiksi 112M 28 FF215. Koneet, jotka ovat tarkoitettu ainoastaan laippakiinnitykseen, merkitään akselinpään halkaisijalla ja laipan tunnuksella, esimerkiksi 28 FF215. Laipan tunnus muodostuu kirjaimista FF tai FT ja kiinnitysreikien jakoympyrän halkaisijasta. Merkintää FF käytetään kun laipassa on vapaareiät (läpimenevät, ilman kierteitä) ja merkintää FT kun laipassa on kierreiät. Suurempien moottoreiden IEC-tunnukset ja asennusmitat ovat osittain pyörimisnopeudesta riippuvaisia. Kaikkien moottoreiden tarkat asennusmitat löytyvät niiden omista manuaaleista ja moottorikatalogeista. /10/

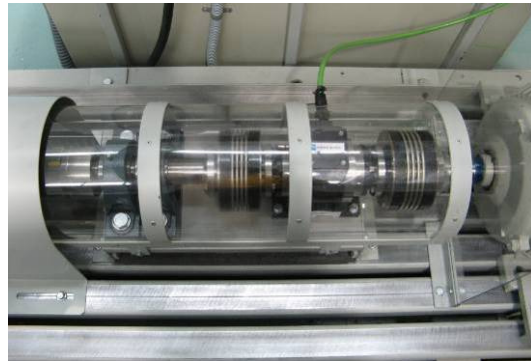
2.6 14,5 kW:n moottoripenkki

Nimellisteholtaan pienten taajuusmuuttajien testaukseen on suunniteltu käytettävän Technobotniasta löytyvää pientä kuormakoneikkoa (kuva 7), jossa kuormakoneena toimii 15 kW:n SEVER-merkinen oikosulkumoottori. Koneikkoon on

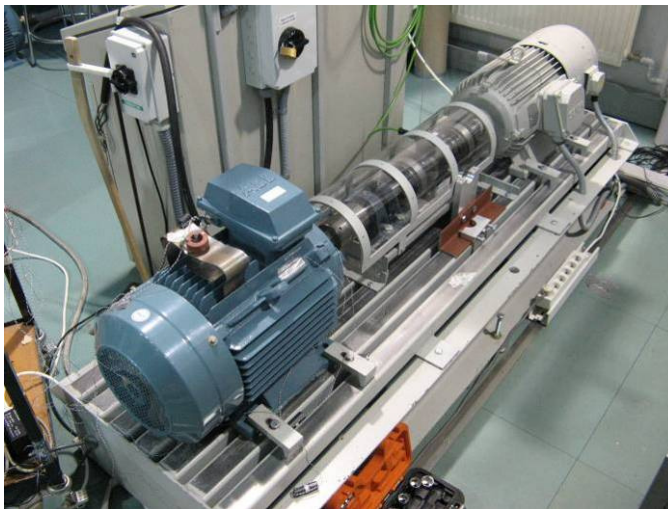
liitetty erillinen ohjauspulpetti (kuva 5), jossa on vaihtovirtakuristimilla toteutettu jännittesyöttö. Koneikossa on käytetty tehon takaisinsyöttöä verkkoon päin. Momentin mittaukseen koneikossa käytetään Magtrol-akselimomenttianturia (kuva 6), joka on varustettu paljekylläimillä vähentämään anturiin kohdistuvia vääntörasituksia.



Kuva 5. Ohjauspulpetti.



Kuva 6. Momentinmittauslaitteisto.



Kuva 7. 15 kW:n Moottorikoneikko.

2.7 Nostolaitteet moottorien siirtoon

Testattavien moottorien siirtelyyn tarvitaan asianmukainen nostolaitteisto. Rajallinen tila estää moottoripenkkiä sijoittamisen kaikista järkevimmällä tavalla ja todellinen tilankäyttö selviää vasta laitteiston oikeiden mittojen selvittäessä. Tämän vuoksi seuraavissa kappaleissa esitetään muutamia erilaisia ratkaisuja nostolait-

teiden osalta, mutta niiden toimivuutta ei voida taata testitilan lopullisessa muodossa, vaan ratkaisut ovat vain suuntaa antavia.

2.7.1 Konecranes XMM-yksikiskojärjestelmä

Konecranes Servicen XMM-yksikiskojärjestelmänostin (kuva 8) liikkuu pitkittäissuunnassa kevyen alumiinikiskoston varassa, joka tuetaan huoneen kulmiin asennettavilla pystypalkeilla. Nostimena toimii sähköinen XN-ketjunostin. Kustannuksissa ei manuaalisen ja sähköisen nostimen välillä ole paljoakaan eroa, joten on kannattavaa hankkia sähköisellä nostimella varustettu malli. Hintaa kyseiselle yksikiskojärjestelmälle tulee noin 2000 euroa. Hinta perustuu laitevalmistajalle annettuihin tietoihin, kuten huoneen kokoon ja nostettavan kappaleen maksimipainoon.



Kuva 8. Esimerkki Konecranes XMM-yksikiskojärjestelmästä sähköisellä nostimella.

2.7.2 Konecranes XMSL-työpistenosturi

XMSL-työpistenosturi on monipuolisempi versio edellä olleesta XMM-mallista. Siinä nostovaunua pystytään siirtämään myös sivusuunnassa. Tämä antaisi enemmän mahdollisuuksia laitteiden siirtelyyn testitilassa. Hintaa XMSL-nostimelle tulee noin 4000 euroa. Miinuspuolena molemmissa nostureissa on niiden korkea hinta verrattuna manuaalisiin nostimiin sekä se, että näillä nostureilla voidaan ainoastaan vaihtaa moottori testipenkistä, mutta moottorin poisviemiseen

testitilasta tarvitaan edelleen jokin toinen liikkuva nostin. Tämän lisäksi kompressorihuoneen ilmastointiputki olisi poistettava kokonaan.

2.7.3 Kokoontaitettava puominostin

Kuvassa 9 oleva ABT Yellow Line -sarjan kokoontaittuva puominostin on tuttu nostinratkaisu Technobotnian sähkötekniikan yksikön puolelta. Sen etuina ovat siirreltävyys, hyvä nostokyky sekä vähäinen tilantarve varastoitaessa kokoontaittavuutensa vuoksi. Kaikista muista nostinratkaisuista poiketen puominostimen käyttö ei vaadi rakenteellisia muutoksia eikä uusia kiinteitä asennuksia testitilaan. Mikäli molemmat moottoripenkit saadaan sijoitettua testitilaan pituussuunnassa siten, että testattavat moottorit ovat ulko-ovea kohti, on puominostin varteenotettava vaihtoehto. Kuvan mallista poiketen tukijalat tulisi olla samassa linjassa eikä kolmion muodossa. Tällöin nostin olisi mahdollista ajaa suoraan vaihdettavan moottorin päälle, eivätkä tukijalat olisi tiellä osuessaan moottoripenkkiin. Tällaisia puominostimia on mahdollista tilata omilla mitoilla. Isommasta moottoripenkistä saattaa tulla niin leveä, ettei nostinmyyjillä ole varastotavarana tarpeeksi leveällä tukijalkavälillä olevia nostimia, joten kyseinen nostin on luultavasti tilattava erikoismitoilla, mutta hinta oleellisesti kasvaa erikoistilauksissa.

Kyseessä olevasta nostinmallista on kannattavaa hankkia 2000 kg:n malli, sillä nostimen nostokyky mitataan aina puomi lyhimmissä asennossa. Tällöin puomin ollessa puolessa välissä (1000 kg) nostokyky saattaisi riittää myös 110 kW:n moottoreille, jotka painavat noin 800 - 900 kg. Moottorikoestuspenkin lopullinen rakenne määrää kuitenkin loppujen lopuksi sen miten kyseessä oleva nostinmalli soveltuu käytettäväksi. Hinnat vaihtelevat eri valmistajien varastomallien välillä 250 eurosta 450 euroon.



Kuva 9. Kokoontaittava puominostin.

2.7.4 I-palkki ja ketjunostin

Tilankäytön kannalta kattoon kiinnitetty I-palkki ja ketjunostin (kuva 10) on vähiten tilaa vievä ratkaisu. Molemmille moottoripenkeille olisi mahdollista asentaa testitilan kattorakenteisiin I-palkki penkkien suuntaisesti. Tällöin moottorin vaihto sujuisi helposti ja ratkaisu mahdollistaisi tarvittaessa myös kuormakoneiden vaihdon. Testitilan keskellä kulkeva kompressorihuoneen poistoilmaputki rajoittaa hieman I-palkin sijoittamista. Palkkia ei voida asentaa huoneen keskelle vaan hieman sivuun HALT-testitilan puolelle. Kattorakenteiden kestävyys on varmistettava ennen asennusta. Mikäli päädytään käyttämään ketjunostinta, on erittäin kannattavaa hankkia järeään käyttöön suunniteltu ammattilaismalli, jonka etuina ovat parempi käytettävyys, kestävyys ja toimintavarmuus lähes minimaalisen pienellä hintaerolla verrattuna edullisempiin alumiinimalleihin.



Kuva 10. Manuaalinen ketjunostin.

2.7.5 Omavalmiste taljalla

Yksi varteenotettava ratkaisu moottorien nostamiseen on rakentaa omavalmisteisesti kuvan 11 kaltainen nostopukki, johon on ripustettuna käsikäyttöinen ketjutilaja. Ainoat haitat tulevat olemaan hankala siirreltävyys ja varastointi, sillä laitteen tulisi olla huomattavasti tukevampi moottorien suuren painon takia. Ketjutilajana voitaisiin käyttää samaa kuin kohdassa 2.7.4 mainittu ammattilaismallin ketjunostin.



Kuva 11. Technobotnian omavalmisteinen moottorinostin.

2.8 Momentin mittaaminen

Moottorin momentin mittaaminen voidaan toteuttaa laboratorion tutuksi tulleilla akseliantureilla tai teollisuudessa sekä enemmän käytetyillä laippa-antureilla. Akselianturien toiminta perustuu hyvin usein Wheatstonen siltaan kytkettyihin venymäliuskoihin. Venymäliuskat on sijoitettu akselille siten, että ne venyvät muuttuvan momentin vaikuttaessa akseliin. Akselissa tapahtuvat muodonmuutokset ovat erittäin pieniä, mutta venymäliuskojen avulla nämä muutokset voidaan havaita. Venymäliuskan pituuden muuttuessa sen resistanssi muuttuu ja tämä muutos on silloin sähköisesti mitattavissa. Mekaaninen muutos muutetaan siis resistanssin

muutokseksi. Venymäliuskoja on yleensä neljä paria, joista toinen pari havaitsee venymän momentin positiiviseen suuntaan ja toinen negatiiviseen suuntaan. Osassa antureista on integroituna myös optisesti toteutettu pyörimisnopeuden mittausta ja tällöin ei välttämättä vaadita erillistä takometriä nopeuden mittaukseen.

Toinen vaihtoehto momenttianturiksi on niin kutsutut laippa-anturit. Näille antureille ominaista on vähän tilaa vievä rakenne sekä suuri momenttikestävyys ja tarkkuus. Ainoana haittapuolena on korkea hinta. Laippa-antureilla mittausta perustuu kahden erillisen levyn leikkaussuunnassa tapahtuvaan siirtymään / muodonmuutokseen, joka on sähköisesti tai optisesti mitattavissa.

Momenttianturien ominaisuuksien tulee täyttää ainakin seuraavat ehdot:

- mitoitettu nimellisyörimisnopeus vähintään 4000 r/min
- nimellismomentti vähintään 1000 Nm
- mittaustarkkuus standardin mukaan vähintään $\pm 0,2 \%$
- kytkinkappaleet oltava sovitettavissa halkaisijaltaan max. 80 mm moottorin akselille
- tulisi mielellään sisältää joko virta- / taajuus- / digitaaliulostulo häiriöiden minimoimiseksi, koska jänniteviesti on häiriöherkkä taajuusmuuttajien aiheuttamien häiriöiden kannalta.

Momenttianturin liittämässä muuhun laitteistoon on käytettävä erityisiä liittokytkimiä, joiden tarkoituksena on vähentää anturiin kohdistuvia erisuuntaisia vääntörasituksia. Näitä syntyy muun muassa moottorin huonosta tasapainotuksesta tai epänormaalista sähkönsyötöstä johtuvasta tärinästä, anturiin nähden vinoon asennetusta moottorista sekä normaaleista momentinvaihteluista käytön ja käynnistyksen aikana.

Koska laitteistolla testataan useita eri moottorikokoja, joissa jokaisessa on erikoinen akseli, tulee jokaiselle akselikoolle teettää oma kytkinkappaleensa, joka liitetään momenttianturin omaan kytkinkappaleeseen. Vaihtoehtoisesti voidaan momenttianturin myyjältä tilata jokaiselle akselikoolle oma kytkinkappaleensa, mutta mikäli moottorin vaihto halutaan mahdollisimman helpoksi, olisi hyvä käyt-

tää samanlaisia pikakytkeviä kuin Technobotnian laboratoriotiloissa olevissa testipenkeissä on totuttu käyttämään. Tämä ratkaisu kuitenkin lisää testipenkin pituutta hieman, mutta on käytännössä toimivin ja helpoin ratkaisu.

Liitteessä 1 on taulukoituna antureiden tekniset tiedot. Jäljempänä suositeltava HBM:n T40 anturi on merkitty taulukossa kolmella tähdellä.

2.8.1 HBM T32FNA-momenttianturi

Saksalaisen HBM:n (Hottinger Baldwin Messtechnik) laipallinen T32FNA akselimomenttianturi (kuva 12) antaa momenttitiedon taajuusviestinä. Vääntömomentin suunnasta riippuen taajuus on nimellismomentilla 5-15kHz ja kuormittamattomana 10 kHz. Momenttisihtäalin jännitetaso on ± 12 V. Momentin mittaustarkkuus on 0,3 % ja lämpötilan vaikutuksen toleranssi 0,1 % / 10 K (Kelvin). Erillistä takometriä ei välttämättä tarvita, sillä anturissa on sisäänrakennettuna pyörimisnopeuden mittausta. Anturin valmistus on viimeisen tiedon mukaan lopetettu, mutta sitä saattaa löytyä jälleenmyyjiltä vielä varastotavarana. Kyseistä anturia on ollut testipenkkikäytössä aikoinaan, mutta sen mittaustarkkuus ei ole uuden standardin vaatiman 0,2 %:in mukainen. /30/

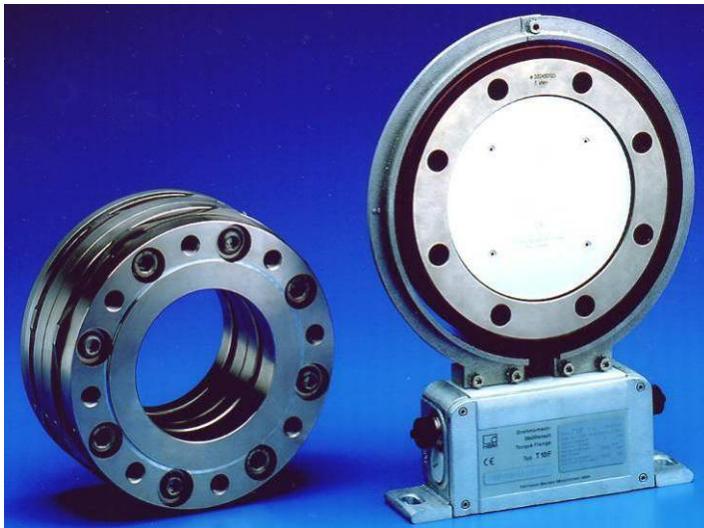


Kuva 12. HBM T32FNA 1000 Nm momenttianturi. /30/

2.8.2 HBM T10F -momenttianturi

T10F (kuva 13) on tyypillinen ABB:n yleisesti käyttämä laippamallinen momenttianturi. Laippa-anturilla on monia etuja useimpiin akseliantureihin verrattuna, kuten suuri vääntörasitusten kestävyys vertikaalisessa, horisontaalisessa sekä pitkittäisessä suunnassa, suuri nimellispyörimisnopeus, tarkkuus sekä lyhyt fyysinen rakenne. Huomattava etu akseliantureihin verrattuna on laakeroinnin puuttuminen kokonaan, sillä T10F on kokonaan kontaktiton anturi ja näin ollen hyvin pitkäikäinen. Laippa-antureita käytetään useimmiten tiloissa, joissa vaaditaan vähäistä tilankäyttöä ja laitteissa, joissa momenttianturiin kohdistuu suuria erisuuntaisia voimavaikutuksia. Momenttisignaalin jännitetaso nimellismomentilla on ± 10 V ja taajuus 5-15 kHz, momentin mittaustarkkuus on 0,3 % ja lämpötilan vaikutuksen toleranssi 0,1 % / 10 K taajuusviestissä ja 0,2 % / 10 K jänniteviestissä. Kytkin-kappaleina T10F käyttää BSD MODULFLEX -kytkimiä.

T10F-momenttianturin kustannukset ovat noin 12 000 euroa ja tähän tulee lisätä vielä mittausohjelmiston kustannukset. T10F on näin ollen kallein verrattuna kaikkiin muihin esimerkkeinä oleviin antureihin, joten se ei ole paras valinta haettaessa kustannustehokkainta ratkaisua. /30/



Kuva 13. BSD MODULFLEX -kytkin ja HBM T10F -laippamomenttianturi. /30/

2.8.3 HBM T22 -momenttianturi

T22-akselimomenttianturi (kuva 14) antaa momenttitiedon sekä jännite- että virtaviestinä. Käytettäessä jänniteviestiä on jännite vääntömomentin suunnasta riippuen ± 5 V nimellismomentilla ja nollassa $0 \pm 0,2$ V. Käytettäessä virtaviestiä on virta $18 - 2$ mA ja nollassa $10 \pm 0,2$ mA. Momentin mittaustarkkuus on molemmilla tavoilla $0,2$ % nimellismomentista ja lämpötilan vaikutus tarkkuuteen on $0,3$ % / 10 K.

T22-momenttianturi on hinnaltaan ja teknisiltä ominaisuuksiltaan varteenotettava vaihtoehto. Suurin puute on kuitenkin liitettävyyden, sillä HBM tarjoaa kytkinkappaleina maksimissaan vain 60 mm:n akselille sopivaa kytkinkappaletta, jonka voi liittää vain täysin sileään akseliin eli liukukiilaiset ja uritetut akselit eivät kytkimeen sovi. Ongelma saataisiin poistettua kuormakoneen osalta teettämällä siihen täysin sileä ja halkaisijaltaan 60 mm:n akseli. Sama ongelma tulee olemaan kuitenkin myös testattavan moottorin puolella, joten kuormakoneen akselin muuttaminen normista poikkeavaksi ei ole järkevää muuten kuin roottorin hitausmassan vähentämisen kannalta. Paras ratkaisu olisi toteuttaa liittäminen sopivilla kytkinkappaleilla, jotka voidaan liittää momenttianturin kytkimiin tai käyttämällä toisen valmistajan kytkinkappaleita. Kooltaan T22 on akseliantureista pienin ja moottoripedin pituuteen sillä voidaan vaikuttaa vähentävästi noin 5 - 10 cm muihin antureihin verrattuna.

Anturiin saa haluttaessa optiona oman mittausjärjestelmän. Se sisältää neljänkanavaisen MP01 DC-vahvistimen jännitteelle, virralle, termoparille tai Pt100-anturille. MP01:stä voidaan konfiguroida manuaalisesti, mutta optiona on saatavana myös PC-pohjainen ohjelmointisofta, johon kuuluu usb-kaapeli ja sovitekappale laitteen käyttämää CAN-liityntärajapintaa (Controlled Area Network) varten. Kyseisen softan avulla MP01:n tietoja voidaan hyödyntää esimerkiksi Labwiev- ja Easywiev-mittausohjelmistossa.

Peruskomponenttien osalta T22 on edullinen. Pelkkä anturi, paljekyllätkimet sekä liitinkaapelit maksavat noin 3300 euroa. Hintaa nostaa vielä optiona saatava mittauslaitteisto, jolloin hinta nousee lähes 5000 euroon. /30/



Kuva 14. HBM T22 akselimomenttianturi sekä paljekytkimet. /30/

2.8.4 HBM T40 –laippamomenttianturi

T40-laippamomenttianturi (kuva 15) on hiljattain markkinoille saapunut, luokassaan ainut digitaalisella tiedonsiirrolla staattorin ja roottorin välillä varustettu laippa-anturi. Se on näin ollen erinomaisesti suojattu elektromagneettisia häiriöitä vastaan eivätkä muuttuva ilmankosteus ja lämpötila vaikuta anturiin lainkaan. Anturissa on mahdollista käyttää samaan aikaan sekä digitaalista että analogista tiedonsiirtoa jännite- ja taajuusviestinä. Optiona saatavan TIM40-laajennusmoduulin avulla saadaan lisäksi käyttöön Profibus DP- ja CANopen-väyläliitännät, skaalattu ja suodatettu analoginen jänniteviesti sekä ethernet.

T40:en tarkkuus 0,05 % nimellismomentista on joukon paras ja nimellispyörimisnopeus jopa 20 000 r/min. Mittaustaajuus anturissa on maksimissaan 6 kHz, mikä on täysin riittävä kaikkiin sovelluksiin. Lämpötilan vaikutus tarkkuuteen on 0,2 % / 10 °C jänniteviestillä ja 0,05 % / 10 °C taajuusviestillä. T40 kestää erinomaisesti kaikkensuuntaisia vääntörasituksia joten se ei vaadi lainkaan liitinkytkimiä ja voidaan näin ollen liittää suoraan testattavaan kohteeseen.

T40:stä saatavilla oleva informaatio on vielä vähäistä, mutta edellä olleiden tietojen perusteella se on ehdottomasti hankinnan arvoinen tuote. Hintaa pelkälle T40-anturille tulee 4900 euroa (Alv 0 %), joten se on myös erittäin edullinen ominaisuuksiinsa nähden. Hintaa nostavat hieman mahdollisten lisälaitteiden, kuten kaapeleiden ja muiden hankinta. /30/



Kuva 15. HBM T40 -laippamomenttianturi. /30/

2.8.5 MAGTROL TM 314/03

Magtrol TM 314 (kuva 16) käyttää anturissaan induktiivista tiedonsiirtoa momentin mittauksessa, joten se ei sisällä mitään kuluvia ja liikkuvia komponentteja, poikkeuksena akseliantureille tyypillinen laakeroinnin ikääntyminen. TM 314:ssä on muista antureista poiketen vain ± 5 V jänniteulostulo, joka on yleensä häiriöherkkä verrattuna virta- ja taajuusviestiin. EMC-suojaus on Magtrollissa toteutettu kuitenkin standardien mukaisesti, joten ulkoiset häiriöt eivät pääse vaikuttamaan mittaustuloksiin. TM 314 sisältää monien anturien tavoin myös avokollektorisignaalin kierrosluvun mittaukseen. Momenttianturin mittaustarkkuus on $\pm 0,1$ % 0 - 200 % kuormalla ja lämpötilan vaikutus 0,1 % / 10K. Magtrollin mittaustaajuus on myös suurin (20 kHz), joten Magtrol on kaikista muista vaihtoehdoista tarkin ainakin teoriassa.

Liitettävyydeltään Magtrol on hyvä, sillä Magtrollin tarjoamissa paljekylläytymisissä moottorin akselihalkaisija voi olla välillä 35 -70 mm, jolla saa katettua lähes koko testattavan moottoritarjonnan, eli kokoluokat 160-315 (akselihalkaisijat 42 – 65 mm). Ainoastaan kokoluokkien 280 ja 315 4-napaparisten moottorien akselit eivät standardikoossaan sovi Magtrollin kytkinkappaleisiin (akselihalkaisijat 75 mm ja 80 mm). Näille moottorikokoluokille tulee siis hankkia omat erilliset sovitekappaleensa, mikäli päädytään käyttämään vain anturivalmistajan kytkinkappaleita.

Magtrol tarjoaa TM, TMHS sekä TMB momenttianturiensa teholähteeksi ja kontrollointiin 3140-ohjauspaneelia, jonka ominaisuuksiin kuuluu muun muassa itse-diagnostiikkatestit, ylikuorman indikointi, taaraus-toiminto, analoginen- ja RS-232 rajapintaliitäntä sekä Magtrollin oma momentinmittausohjelmisto PC:tä varten.

Magtrol TM314/03 -momenttianturin hinta on noin 6000 euroa. Tähän summaan lisättäessä pakolliset kaapelit ja paljekyllätkimet liittämistä varten sekä optiona saatava 3410 näyttö- ja käyttöjänniteyksikkö, nousee kustannukset lähelle 12 000:sta euroa ilman alv:tä. Magtrollin tapauksessa onkin järkevää miettiä, onko testauslaitteistossa tarvetta Magtrollin tarjoamaan mittaustarkkuuteen vai halutaanko päästä yli puolet pienemmillä kustannuksilla hankkimalla kilpailevan valmistajan hieman epätarkempi, mutta huomattavasti edullisempi ratkaisu. /31/



Kuva 16. Magtrol TM 316 –momenttianturi. /31/

2.8.6 KTR Dataflex 42/1000

KTR:n Dataflex-vääntömomenttianturin (kuva 17) toiminta poikkeaa muista antureista oleellisesti. Toisin kuin yleensä, vääntöakselin kiertymistä ei mitata venymäliusken menetelmällä, vaan valon määrään perustuen. Valo johdetaan kahden himmenninkiekon läpi ja läpäisevän valon määrä riippuu vääntömomentista. Toiminta on periaatteessa sama kuin HBM:n T10F-laippamomenttianturissa, mutta Dataflexin tapauksessa ei mitatakaan kahden vastakkain horisontaalisesti kierty-

vän metallin vääntymistä vaan kahden himmenninkiekon kontaktitonta kiertymistä.

Dataflex 42/1000 -momenttianturista saadaan momenttitieto jännite ja virtaviestinä. Lähtöjännite 0 - 10 V ja virtaviesti 4 - 20 mA riippuvat momentista ja sen suunnasta. Kuormittamattomassa tilanteessa lähtöjännite on 5 V ja lähtövirta 12 mA. Anturin mittaustarkkuus on $\pm 0,5 \%$ ja lämpötilan vaikutus $0,5 \%$ / 10 K. Mittaustaajuus on hieman pienempi kuin Magtrolilla (15kHz), mutta se on kuitenkin riittävä havaitsemaan kaikki äkilliset piikit momentin muutoksissa.

Dataflex 42 -momenttianturi voidaan liittää Dataflex DF01 -kytkentäkoteloon, jonka avulla saadaan mitattua sekä momentti että pyörimisnopeus. Kytkentäkotelon lähtösignaalit ovat samat kuin anturin tuottamat signaalit.

Dataflexin RADEX-N -teräslamellikytkimet (kuva 18) voidaan asentaa maksimissaan 80 mm moottoriakselille, joten erillisiä lisäsovitekappaleita kuormakoneeseen liittämiseksi ei Dataflexin tapauksessa tarvitse ollenkaan.

Kustannuksiltaan Dataflex-momenttianturi on HBM T22 -anturin ohella joukon edullisimpia. Anturin, teräslamellikytkimien ja liitäntärasian hinnaksi tulee hieman päälle 3000 euroa. KTR:llä ei ole tarjota omaa mittauslaitteistoa, mutta momentin mittaus voidaan DF01-kytkentäkotelon tavallisen sarjaporttiliitännän ansiosta hoitaa yleismittarilla, oskilloskoopilla tai PC:n avulla. /32/



Kuva 17. KTR Dataflex 42 (1000 Nm) momenttianturi. /32/



Kuva 18. Dataflex 42 ja RADEX-N teräslamellikytkimet. /32/

2.8.7 Datum M420-S3 (2000 Nm)

Brittiläisen Datum Electronics Ltd:n momenttianturit poikkeavat kaikista muista antureista tiedonsiirtomenetelmänsä takia. Datumin antureissa momenttisignaali muunnetaan digitaalseksi heti akselilla venymäliuskojen välittömässä läheisyydessä minimoiden ulkoisista häiriöistä aiheutuvat virheet ja kohinan. M420 (kuva 19) edustaa edullisten laakeroitujen akselianturien ryhmää, kuten HBM T22, KTR Dataflex 42 ja Magtrol TM 314.

M420-momenttianturi käyttää siis digitaalista tiedonsiirtoa, mutta siihen on optiona saatavana analogiset virta- ja jänniteviestit kaksilla eri raja-arvoilla eli joko 4-20 mA ~ ± 10 VDC tai 12 ± 8 mA ~ ± 5 VDC. Mittaustaajuus on vakiona vain 100 Hz, mutta se saadaan optiona kasvatettua jopa 20 kHz:iin. Anturin mittaus-tarkkuus on 0,1 % ja lämpötilan vaikutus 0,01 % / 10 K. Anturin nimellisoikeus on vain 3000 r/min, mutta tarvittaessa se voidaan tilauksesta kasvattaa suuremmaksi.

Tiedonkeruuseen Datum Electronics tarjoaa neljää erilaista ratkaisua:

- 1) TorqueLog Software: PC-yhteensopiva TorqueLog-ohjelmisto. Tiedonsiirto digitaalisesti USB-kaapelilla. Mittaa vääntömomentin, nopeuden ja tehon.
- 2) Type 370 indicator: Erillinen pöytämallinen näyttölaite. Tiedonsiirto digitaalisesti RS232-sarjakaapelilla. Mittaa momentin, nopeuden ja tehon. Optiona saatavana analoginen ulostulo.
- 3) Type 300 torque indicator: Yksinkertaistettu versio 370 mallista. Mittaa ainoastaan momentin suuruuden.
- 4) Type 310 TSP indicator: Kannettava käsimittauslaite. Tiedonsiirto digitaalisesti RS232-sarjakaapelilla. Mittaa momentin, nopeuden ja tehon.

Datum M420-S3 mallin hinta on 3423 euroa (alv 0 %), joka sisältää anturin lisäksi sarjaliitännän ja TorqueLog-ohjelmiston, jolla monitoroidaan ja tallennetaan momentti, kierrosluku ja teho. Kierrosnopeuden mittaus on saatavana optiona ja se maksaa 223 euroa. TorqueLog-ohjelmisto tallettaa anturilta tulevat tiedot ilman lisälaitteita, mutta jos mittauksessa mitataan muita suureita samalla, kannattaa valita optiona saatavat analogialähdöt momentille (149 euroa) ja nopeudelle (149 euroa) ja tallettaa ne tiedonkeruujärjestelmään muiden signaalien kanssa. Liitinkymiä ei Datum Electronics tarjoa vaan jälleenmyyjän mukaan kytkinkappaleita kannattaa tiedustella moottoritoimittajalta. Datum momenttiantureita edustaa suomalainen Straintech Finland Oy. /33/



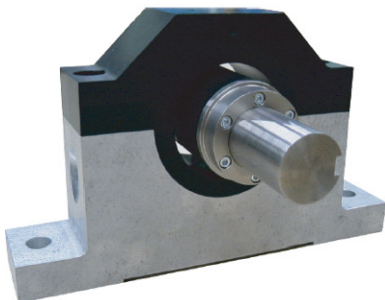
Kuva 19. Datum M420 momenttianturi. /33/

2.8.8 Datum FF420 & RS420 -S3 (2000 Nm)

Datum FF420 (kuva 21) ja RS420 (kuva 20) -momenttianturit eroavat toisistaan ainoastaan akselipäittänsä osalta. RS420 liitostapana on kiilaura-akseli kun taas FF420 käyttää laippaliitosta. Mitään muuta eroavaisuutta näillä kahdella anturilla ei ole.

Tekniset ominaisuudet ovat lähes samat kuin M420-anturilla, mutta poikkeuksena on laakeriton roottoriakseli, joka kelluu ilmassa staattoriosan keskellä. Laakereiden puuttumisen vuoksi anturin nimellisyörimisnopeus on saatu nostettua vakiona 6000 r/min. Roottoriakselin suuntauksessa sallitaan $\pm 3 - 5$ mm:n sivuttaisheitto staattoriin nähden.

Hintaa RS420-S3 -anturille tulee 3423 euroa ja FF420-S3 -anturille 4271 euroa. Laippamallisen FF420-anturin suurempaan hintaan ei edustaja osannut sanoa syytä, mutta syynä lienee käytettävän materiaalin suurempi määrä ja suurempi työmäärä sen valmistamiseksi. Hinnat sisältävät samat lisälaitteet kuin M420. /33/



Kuva 20. Datum RS420 kiilaura-anturi. /33/



Kuva 21. Datum FF420 laippa-anturi. /33/

2.8.9 IML TLS (1000 Nm)

IML (Industrial Measurements Ltd) TLS -anturit käyttävät muista antureista poiketen vanhaa sekä epätarkempaa, liukurenkailla ja hiiliharjoilla toteutettua ratkaisua. Tämä näkyy erityisesti anturin pienenä nimellispyörimisnopeutena (4000 r/min), joka kuitenkin saadaan optiona nostettua 7000 r/min.

IML:llä ei ole edustajaa Suomessa ja lähimmät sijaitsevat Norjassa sekä Tanskassa. Vanhahtavan tekniikan sekä suomalaisen edustajan puuttumisen vuoksi IML:n momenttianturin hankinta ei ole kannattavaa. /34/

2.8.10 Johtopäätökset

Projektin tavoitteena on toteuttaa testauslaitteisto mahdollisimman vähillä kustannuksilla. Momenttianturi tulee olemaan yksi tärkeimmistä komponenteista ja merkittävimmistä kustannustekijöistä muiden joukossa, joten sen valinnassa on osattava suhteuttaa sopiva hinta- / laatusuhde käyttötarkoitukseen nähden. Testauslaitteistossa anturi joutuu harvoin altistumaan niihin rasituksiin, joihin anturi on suunniteltu, sillä ympäristön ollessa erittäin stabiili ei antureihin kohdistu suuria määriä niiden elinikää lyhentäviä rasituksia (sääolosuhteet, ulkoiset värähtävykset ja vääntövoimat).

Testauskäyttöön on suositeltavaa hankkia HBM:n T40-laippamomenttianturi. Se on hinnaltaan ja ominaisuuksiltaan ehdottomasti paras vaihtoehto. Pienen koonsa, suuren kestävyysajan ja tarkkuuden sekä erinomaisten liitäntöjen takia se on optimaalinen testauskäyttöön. T40 ei tarvitse liitinkytkimiä, joten testauspenkistä saa-

daan mahdollisimman lyhyt ja liitettävyyys on paras mahdollinen. Anturin mittaus-tiedot voidaan viedä suoraan tietokoneelle anturin mukana tulevan mittaussof-tan avulla tai vastaavasti analogisena viestinä tiedonkeruujärjestelmään. Kaikin puolin T40 on ylivoimaisesti kannattavin hankinta kaikista tutkituista momenttiantureis-ta.

2.9 SFS 6000 -standardin vaatimukset sähkölaboratoriotiloille

Kaikki sähkölaitekorjaamossa tai sähkölaboratoriossa sijaitsevat enintään 32 A nimellisvirtaiset pistorasiat tulee suojata enintään 30 mA vikavirtasuojakytkimel-lä, ellei niitä ole liitetty SELV- tai PELV -järjestelmään, IT-järjestelmään tai suo-jaerotukseen.

Oppilaitostiloissa tilapäisiin kytkentöihin käytettävänä kytkentäjohtoina ja mitta-johtoina on käytettävä rakenteita, jotka on suojattu vahingossa tapahtuvalta kos-kettamiselta.

Oppilaitosten sähköteknilliseen opetukseen käytetyissä laboratorioissa erotuskyt-kimen pitää olla lukittavissa, jolloin oppilaat eivät pääse työskentelemään ilman valvontaa. Lisäksi tiloissa pitää olla hätäkytkentää varten laitteet, joilla voidaan kytkeä jännitteet pois työskentelyalueelta. Tämän kytkimen on oltava helposti luokse päästävissä paikassa ja tunnistettavissa niin, että punainen kytkin on kel-taisella taustalla.

Sähkölaboratorioiden ovet tai vastaavat kulutiet on varustettava kilvillä, jotka kieltävät asiattomien pääsyn näihin tiloihin. Sähkötapaturmien ensiavusta kertovat ensiapuohjeet ja yleinen hätänumero on sijoitettava sopiviin paikkoihin laborato-riotilassa./14/

3 SÄHKÖNSYÖTTÖ

3.1 Syöttökaapelin kuormitettavuuden määrittäminen

Kaapelin kuormitettavuuden määrittäminen perustuu standardiin SFS 6000 (2007). Määrittämisessä on käytetty apuna Erkki Ruppán ”Johdon ja sen ylivirtasuojan määrittäminen” –opetusmonistetta ja SFS 6000 -standardin lukua 523.

Johdon suurimman sallitun jatkuvan lämpötilan määrää käytetty eristysaine. Standardin taulukko 52 A antaa eri eristysaineiden suurimmat jatkuvat lämpötilat. Edellä mainitut normaaliolosuhteisiin pohjautuvat ns. kuormitustaulukot. Kuormitustaulukot ovat sikäli ohjeellisia, että jos mittamalla tai muuten voidaan osoittaa, ettei johto lämpene enempää kuin standardin taulukko 52 A sallii, ei kuormitustaulukkoja tarvitse noudattaa.

Standardissa annetaan johtojen kuormitettavuudet normaaleissa asennusolosuhteissa, joka pinta-asennuksessa tarkoittaa lämpötilaa 25 °C. Jos asennusolosuhteet poikkeavat normaaleista, huomioidaan tämä taulukoitujen korjauskertoimien avulla.

Standardin taulukossa 52-B1 ja siihen liittyvissä huomautuksissa asennustavat jaetaan ryhmiin A ja A2, B ja B2, C, D, E, F ja G.

Asennustavat A ja A2 tarkoittaa johtimien asentamista eristetyssä seinässä olevaan asennusputkeen tai lämpenemisominaisuuksiltaan vastaavaa uppoasennusta. Asennustavassa A käytetään asennusjohtimia, esim. ML ja asennustavassa A2 asennuskaapelia, esim. MMJ.

Asennustavat B ja B2 tarkoittaa johdon asentamista seinäpinnalla olevaan asennusputkeen, seinäkanavaan tai lämpenemisominaisuuksiltaan vastaavia asennustapoja. Asennustapa B tarkoittaa asennusjohtimien ja asennustapa B2 asennuskaapelin käyttöä.

Asennustapa C tarkoittaa monijohtimisen kaapelin pinta-asennusta puuseinällä tai lämpenemisominaisuuksiltaan vastaavia asennustapoja.

Asennustapa D tarkoittaa monijohtimista kaapelia maanalaisessa kanavassa tai lämpenemisominaisuuksiltaan vastaavia asennustapoja.

Asennustapa E tarkoittaa monijohtimista kaapelia ilma-asennuksessa (riippukaapeli, tikashylly- ja vastaava asennus, joissa ilman kierto kaapelin ympärillä on vaapaata).

Asennustavat F ja G tarkoittavat yksijohdinkaapelilla (suurvirtajärjestelmät) tehtyä asennusta.

Standardin taulukoista 52-C1 ja 52-C2 saadaan asennustavoille A, B, C ja D sallitut maksimikuormitusvirrat. Parametreina taulukoissa ovat johdinmetalli, johdinpoikkipinta sekä käytetty eristysaine sekä kuormitettujen johtimien lukumäärä putkessa tai kaapelissa.

Standardin taulukoista 52-C3, 52-C4, 52-C11 ja 52-C5 ja 52-C6 saadaan asennustavoille E, F ja G sallitut kuormitusvirrat. Taulukoissa parametreina ovat johdinmetalli, kaapelin johtimien lukumäärä, asennusgeometria sekä eristysaineen laatu.

Standardin taulukosta 52-C7 saadaan taipuisien liitäntäjohtojen ja taulukosta 52-C8 saadaan AMKA-riippukierrejohtojen sallitut kuormitusvirrat.

Jos asennusolosuhteet poikkeavat normaaleista, huomioidaan tämä poikkeama korjauskertoimien tulon avulla.

Standardin taulukko 52-D1 antaa korjauskertoimen, joka aiheutuu ympäristölämpötilan poikkeamisesta +25 °C:sta.

Standardin taulukko 52-D2 antaa korjauskertoimen, joka aiheutuu maan lämpötilan poikkeamisesta +15°C:sta. Taulukossa on parametrina maan lämpöresisttiivisyys, jonka arvoja eri maalajeille annetaan taulukossa 52-D3.

Standardin taulukko 52-E1 antaa lähellä toisiaan olevista virtapiireistä tai kaapeleista aiheutuvan korjauskertoimen ilma-asennuksessa ja taulukko 52-E2 maakaapeliasennuksissa. Taulukko 52-E3 antaa maassa olevissa kanavissa lähekkäin olevista kaapeleista johtuvan korjauskertoimen.

Standardin taulukko 52-E4 antaa pinta-asennuksessa monijohtimisten kaapeleiden muodostamien ryhmien korjauskertoimet ja taulukko 52-E5 antaa vastaavan korjauskertoimen yksijohdinkaapeleille.

Sama kaapeli kulkee usein kulkureitillään erilaisissa asennusympäristöissä. Tällöin ulkoinen lämpöresistanssi voi vaihdella hyvinkin paljon eri kohdissa kaapeli-reittiä. Suurin yllämpötila saavutetaan siellä, missä ulkoinen lämpöresistanssi on suurin, koska kehittyvä lämpövirta pituusyksikköä kohden on vakio. Kaapelin sallittu virta on siis mitoitettava jäähdytysolosuhteiltaan epäedullisimman osuuden mukaisesti.

Samoissa asennusolosuhteissa ohutta kaapelia voidaan kuormittaa poikkipinnan mm^2 kohti suuremmalla virralla kuin vastaavaa tyyppiä olevaa paksua kaapelia. Tämä johtuu siitä, että johtimen jäähdytys on suoraan verrannollinen kaapelin ulkopinnan alaan, joka taas on verrannollinen halkaisijan neliöön. Halkaisijan kasvaessa johtimen poikkipinta kasvaa nopeammin kuin johdon jäähdyttävä ulkopinta. Paksu kaapeli jäähtyy siis suhteessa heikommin kuin ohut. Matemaattisesti asia voidaan ilmaista yhtälöllä:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

Kuormitettavuusmielessä on usein edullisempaa yhden paksun kaapelin asemasta käyttää kahta ohuempaa rinnan. /3, 4, 14, 22 s.6-8/

3.2 Nousujohto pääkeskukselta testitilan tehomuuntajalle

Testauslaitteiston sähkönsyötön suunnittelussa lähtökohtana voidaan pitää kuormamoottorin nimellisvirtaa ja -tehoa. Kojeiston nimellisvirran perusteella ei ole kannattavaa lähteä mitoittamaan kojeiston syöttökaapelia, koska kojeiston koko kapasiteettia ei päästä missään tilanteessa hyödyntämään. Lisäksi kun otetaan huomioon se, että kuormakone syöttää testien aikana tehoa verkkoon päin lähes saman verran kuin testattava moottori ottaa verkosta, ei todellinen virran kulutus ole suuri. Tästä huolimatta kaapelointi kannattaa varmuuden vuoksi mitoittaa pahimman mahdollisen tilanteen mukaan sekä mahdollisten laitelisäysten varalta.

Testauslaitteiston pääsyöttönä voidaan käyttää Technobotnian sähköpääkeskuksesta tulevaa MCMK 4x120+70 Cu -kaapelia. Kaapeli on jätetty varalle ja se on kytkemätön molemmista päistä. Kaapelin toinen pää on jätetty rullalle HALT-testitilan takana olevaan LVI-kuiluun. Kaapelissa pitäisi olla riittävästi varaa, jotta se voidaan tarvittaessa viedä ainakin kompressorihuoneeseen asti. Sähköpääkeskuksen puolella on lisäksi muutama metri löysää, joten sieltä saadaan pari lisämetriä tarvittaessa. Kaapelin kuormitettavuus on mitoitettu varmanpäälle, jotta sen riittävydestä ei olisi epäselvyyttä. /8/

3.2.1 Kaapelihyllylle asennettava osuus

Standardin taulukon 52-C3 menetelmän, referenssiasennustavan E mukaan kuormitettavuus on 292 A monijohdinkaapelille. 120 mm²:n, PVC-eristeen MCMK Cu-kaapelin kuormitettavuus on pienimmillään tikasmallisessa kaapelihyllyssä, jossa se kulkee suurimman osan matkasta.

Korjauskerroin kaapelihyllyasennuksessa, jossa monijohdinkaapelit ovat kosketuksissa toisiaan vastaan, yhdellä tikashyllyllä ja kaapelien lukumäärän ollessa neljä, on standardin taulukon 52-E4 mukaan 0,80.

Korjauskerroin lämpötilalle on 1,00 kun oletetaan ympäristön lämpötilan olevan 25 °C. Todellisuudessa lämpötila on alhaisempi, noin 20 °C ja LVI-kuilussa luultavasti vähemmänkin, mutta mitoitus on järkevää tehdä hieman suuremmilla arvoilla.

Kaapelin kuormitettavuudeksi hyllyasennuksessa saadaan siis

$$I_z = 292 \times 0,80 = 233,6 \text{ A} > 203 \text{ A (110 kW:n moottorin nimellisvirta)}.$$

Tällöin moottoria on mahdollista ylikuormittaa lämpenemäkokeita tehtäessä. Todellisuudessa moottoria voidaan kuormittaa vieläkin enemmän johtuen suuresta mitoitusoleranssista.

Mikäli kuormakoneena haluttaisiin käyttää kokoluokassaan seuraavana olevaa 132 kW:n moottoria, tarjolla olevan syöttökaapelin pitäisi siinäkin tapauksessa olla riittävä. 132 kW:n moottorin nimellisvirta on ABB:n taulukoiden mukaan 239

A, mikä vaatisi kuormitettavuuskertoimeksi vähintään 0,82 jos kaapelin kuormitettavuus on 292 A. Koska kuormakone on kuitenkin tässä tapauksessa aina suurempi kuin mikään testattava moottori, ei sen nimellisvirtaa koskaan tulla saavutamaan pitkäkestoisesti eikä näin ollen saavuteta kaapelin suurinta kuormitettavuutta. Lisäksi tehonsyöttö verkkoon päin nostaa kaapelin kuormitettavuutta huomattavasti, joten 132 kW:n moottorin käyttö kuormakoneena ei pitäisi olla ongelma.

3.2.2 Betoniseinän sisään asennettava osuus

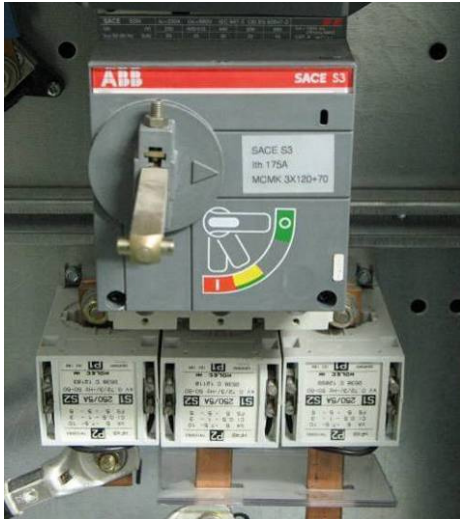
Standardin taulukon 52-C1 menetelmän, referenssiasennustavan C mukaan kuormitettavuus on 274 A > 203 A. Kaapeli kulkee tässä tapauksessa omassa putkessaan betonin sisällä, jolloin sen kuormitettavuus on suurempi. Mitoituksessa on otettu huomioon lähellä kulkeva HALT-testilaitteen syöttökaapeli.

3.2.3 Betoniseinälle asennettava osuus

Tässä tapauksessa kuormitettavuus on sama kuin kohdassa 2.2.3 on esitetty.

3.3 Nousujohdon suojaus

Nousujohdon suojaukseen voitaisiin käyttää samanlaista lähtöä kuin mitä ovat pääkeskuksesta (PK F6) löytyvät lähdöt 05D (HALT-testilaitteen pääkytkin) ja 05E (kompressoritilan jakokeskus). Lähtö on varusteltu ABB:n SACE S3 kuormakytkimellä (Kuva 22). Kuormakytkimen tulee täyttää moottorikuormille asetetut vaatimukset ja nimellisvirraltaan sen tulee olla 250 A, kuten edellä mainitut kuormakytkimet ovat.



Kuva 22. Pääkeskuksen F6 lähtö 05D, SACE S3 250 A kuormakytkin.

3.4 Taajuusmuuttajan verkkoliitännät

Taajuusmuuttajan ja verkon väliin tulee asentaa SFS-EN 60204-1 -standardin vaatimusten mukainen käsikäyttöinen pääkytkin, jonka tulee tyypiltään olla jokin seuraavista:

- Käyttöluokan AC-23B (SFS-EN 60947-3) kuormakytkin, esimerkiksi ABB:n OT-kuormakytkinsarjan tuotteet (kuva 23) (käyttöluokkamerkinässä AC-23 tarkoittaa vaihtosähkömoottorien kuormitusten kytkentään ja katkaisuun tarkoitettua kytkintä ja B tarkoittaa harvoin tapahtuvaa toimintaa. Kun kytkin on A-tyyppiä, se on tarkoitettu usein tapahtuvaan toimintaan. Kaikki ABB Control Oy:n kytkimet on mitoitettu käyttöluokan A mukaan ja soveltuvat myös erotinkäyttöön). Esimerkkinä ACS800-01 taajuusmuuttaja, jonka nimellisteho on 110 kW ja sille sopiva kuormakytkin OT250E03P, jonka $I_{th}=250$ A ja nimellisvirta 250 A 400V:n käyttöjännitteellä.



Kuva 23. ABB:n OT-sarjan kuormakytin.

- Standardin SFS-EN 60947-3 mukainen erotin, jonka apukosketin saa aikaan kytkinlaitteiden kuormituspiirin katkeamisen ennen erottimen pääkoskettimien avaamista
- Standardin SFS-EN 60947-2 vaatiman eristyksen mukainen katkaisija.

Pääkytkin erottaa taajuusmuuttajan ja moottorin vaihtovirtasyötöstä, mutta ei syöttökiskoja verkosta. Tämän vuoksi syöttökaapelit ja -kiskot tulee erottaa verkosta jakokeskuksen tai verkkomuuttajan pääkatkaisimella kun taajuusmuuttajaan tehdään asennus- ja huoltotöitä. /4, 10, 18/

3.5 Moottorikaapelit testattaville moottoreille ja niiden suojaus

Moottorikaapeli on mitoitettu kuormamoottorin nimellisvirran perusteella, koska taajuusmuuttajien tyypeistä ei ole täyttä varmuutta. Oikean tyypin selvittyä mitoitus täytyy tehdä taajuusmuuttajan suurimman mahdollisen nimellisvirran ja toisiojännitteen mukaan, koska vain tällöin taajuusmuuttaja suojaa moottorikaapelia ja moottoria oikosulun aikana. Mitoitus tapahtuu siis 400 V:n nimellisvirtojen ja 690 V:n toisiojännitteen mukaan. Mitään muita suojalaitteita ei moottorikaapelin oikosulkusuojaukseen tarvita, sillä taajuusmuuttaja hoitaa kaikki suojaukset. Kaapelit voidaan hieman ylimitoittaa, sillä kaapelipituudet tulevat olemaan niin lyhyitä ettei ylimitoituksella ole mitään merkitystä. Todellisuudessa taajuusmuuttajan nimellisvirrat eivät poikkea paljoakaan moottorin nimellisvirrasta, sillä yleensä taajuusmuuttajat on standardoitu tietyille moottorityypeille. Tästä huolimatta mitoitus on hyvä tehdä taajuusmuuttajan nimellisvirtojen mukaan.

Kuormamoottorin syöttökaapeli on siis mitoitettu sen nimellisvirran mukaan, joka isommassa testipenkissä 110 kW kuormamoottorin kohdalla on 203 A, kun syöttöjännitteenä on 400 V. Mitoituksessa otetaan huomioon myös asennusolosuhteiden vaatima korjauskerroin 0.8, joka on arvioitu IEC-standardien perusteella. Korjauskerrointa tulee muuttaa riippuen asennettavien kaapelien määrästä, tavasta ja asennuspaikasta (betonivalun sisään, asennuskouruun betonilattialle kojeiston alle tai ilmassa meneviä asennushyllyjä pitkin). Korjauskerroin määritellään niiden olosuhteiden mukaan, joissa kaapelin terminen rasitus on kovimmillaan.

Moottorikaapelina on kannattavaa käyttää kaksoisvaipallisia MCCMK-kaapeleita (kuva 24), joilla saavutetaan hyvä suojaus taajuusmuuttajien aiheuttamia häiriöitä vastaan. Häiriöiden suojaamisen kannalta on hyvä asentaa lisäsuojauksena myös 360°-häiriösuojaus sekä ferriittirenkaat kaapeliliitoksiin erityisesti taajuusmuuttajan päässä, unohtamatta lisäksi kaapelin häiriösuojausvaipan maadoitusta molemmista päistä.



Kuva 24. Prysmian MCCMK 3x120/70 mm² AN 1kV -voimakaapeli.

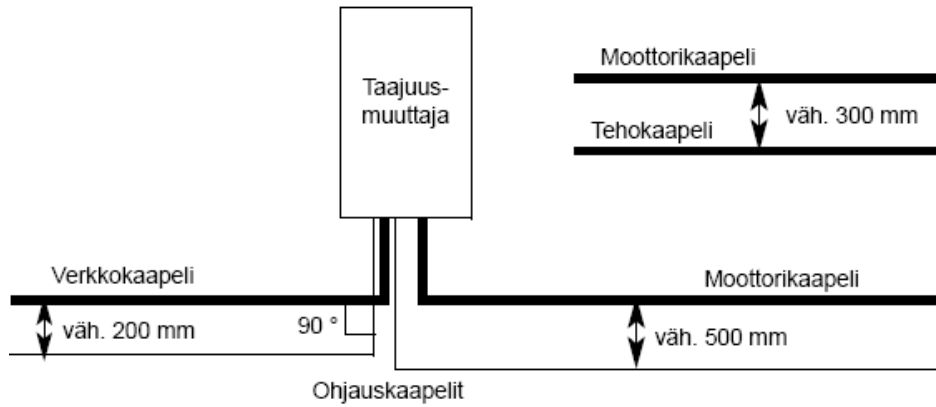
Häiriöillä on suurin vaikutus moottorin laakerointiin, jossa syntyy laakerin elinikää lyhentäviä laakerivirtoja. Laakerivirrat syntyvät laakerien yli indusoituvasta jännitteestä, joka aiheutuu taajuusmuuttajan synnyttämistä suurtaajuisista virtapulsseista. Tämä ilmiö aiheuttaa kuvan 25 kaltaisen pyykkilautakuvion laakerin vierintäpinnalle, josta on seurauksena moottorin laakeroinnin eliniän lyhentyminen. Edellä mainitut suojaustavat ovat lähinnä lisäsuojauksia, suurin suojaus laakeroinnille saavutetaan hyvällä suojauksella itse laakeroinnissa. /18, 23, 28, 36/



Kuva 25. Laakerivirtojen aiheuttama kuvio laakeriurassa. /29/

Ison moottoripenkin suurin testattava moottori tulee akseliteholtaan olemaan 110 kW, jonka nimellisvirta ABB:n taulukon mukaan on 203 A. Seuraavaksi tulee katsoa kaapelivalmistajalta sopiva PVC-eristeinen, 1 kV:n häiriösuojattu MCCMK 3x1/2 -voimakaapeli, jonka kuormitettavuus riittää kyseisen moottorin nimellisvirralle. Tarjolla olevista kaapeleista MCCMK 3x120/70 AN 1 kV -kaapelille ilmoitetaan ilma-asennuksessa 280 A. Kun otetaan huomioon olosuhteiden mukainen asennuserroin (asennus betoniseinälle tai kaapelihyllyyn), saadaan kaapelin kuormitettavuudeksi $0,8 \times 280 \text{ A} = 224 \text{ A} > 203 \text{ A}$.

Moottorikaapelit on asennettava mahdollisimman kauas muista kaapeleista. Eri taajuusmuuttajien moottorikaapelit voidaan kuitenkin asentaa vierekkäin ja toisiinsa kiinni. Moottori- ja verkkokaapeli sekä ohjauskaapelit tulisi asentaa erillisille hyllyille. Taajuusmuuttajan lähtöjännitteen nopeista vaihteluista aiheutuvia sähkömagneettisia häiriöitä on pyrittävä ehkäisemään välttämällä pitkiä samansuuntaisia vetoja muiden kaapeleiden kanssa. Jos ohjauskaapelit on vedettävä ristiin tehokaapelin kanssa, kaapeleiden kulman on oltava mahdollisimman lähellä 90 astetta. Taajuusmuuttajan kautta ei saa kulkea ylimääräisiä kaapeleita. Kaapelihyllyt on kytkettävä hyvin toisiinsa ja maadoituselektrodeihin. Paikallista potentiaalintasausta voidaan parantaa käyttämällä alumiinihyllyjärjestelmiä. Kuvassa 26 on esimerkkikuva kaapeleiden sijoittamisesta. /18, 20, 36/



Kuva 26. Kaapelireittiä kuvaava kaavio. /18/

Moottorin ja moottorikaapeliensuojaukseen ei tarvita erillistä oikosulku- tai ylikuormitussuojausta mikäli taajuusmuuttajan ja moottorin välinen kaapeli on mitoitettu oikeaoppisesti taajuusmuuttajan nimellisvirran mukaan. Tällöin taajuusmuuttaja hoitaa kaikki tarvittavat suojaustoimenpiteet. /18/

4 LÄMPENEMÄTESTIT IEC-STANDARDIEN MUKAAN SEKÄ MUUT MAHDOLLISET MITTAUKSET

4.1 Yleistä

Moottorin ja taajuusmuuttajan testauksiin kuuluu olennaisena osana moottorien lämpenemien mittaukset. Ennen lämpenemäkokeita, niiden aikana sekä jälkeen tehdään moottorin lämpenemää havainnollistavia mittauksia. Yleisimmät paikat lämpötilanmittaukselle ovat moottorin runko, laakerikilpi, käämitys ja ympäristön lämpötila, mutta tarvittaessa mittauksia voidaan tehdä useista eri kohdista. Tehtäessä mittauksia moottorin rungosta sekä laakerikilvestä voidaan mittausvälineenä käyttää termoparielementtejä, PT-100 -lämpötila-antureita tai infrapunalämpömittaria. Jos koestettavassa koneessa on sisäänrakennettu lämpötila-anturi, voidaan sitä käyttää myös hyödyksi lämpenemää mitattaessa. Moottorin käämityksen mitaus tehdään asiaankuuluvalla milliohmimittarilla vastusmittauksena.

Lämpenemäkokeet suoritetaan yleensä koneiden nimellistehoilla, käyttämällä moottoria taajuusmuuttajalla nimellisnopeudellaan ja kuormakoneen avulla nimellismomentilla kuormittaen. Kuormittamista jatketaan niin kauan, kunnes moottori on saavuttanut loppulämpenemänsä eli lämpötilan vaihtelu on korkeintaan 2 °C tunnin sisällä. Moottorin lämpötilan nousua voidaan nopeuttaa kuormittamalla moottoria yli sen nimellismomentin ja -virran, jolloin lämpeneminen on huomattavasti nopeampaa. /1, 6, 7, 12/

4.2 Olosuhteet

4.2.1 Sähkönsyöttö

Moottorin lämpenemäkokeiden sähkönsyötön sinimäisyys määritetään HVF:n (Harmonic Voltage Factor) avulla:

$$HVF = \sqrt{\sum_{n=2}^k \frac{u_n^2}{n}} \quad (2)$$

jossa

u_n on yliaaltojännitteen ja nimellisjännitteen suhde;

n on yliaallon järjestysluku (ei jaollinen kolmella)

$k = 13$.

HVF ei saa ylittää arvoa 0,015 ja lisäksi syötön vastaverkon komponentti saa olla korkeintaan 0,5 % myötaverkon komponentista. Erikseen sovittaessa jännitteen sijasta voidaan epäsymmetria määrittää virran komponenttien avulla ja tällöin vastaverkon komponentti saa olla korkeintaan 2,5 % myötaverkon komponentista.

Pääpaino laboratoriossa suoritettavissa lämpenemäkokeissa tulee olemaan kuitenkin taajuusmuuttajalla syötettyjen moottoreiden lämpenemiskokeet, jolloin yliaaltopitoisuus on luonnollisesti suoraa sähkönsyöttötapausta suurempi. Koska koestettavana tulee olemaan taajuusmuuttaja-moottori -yhdistelmät, yliaaltopitoisuuden määrittäminen on toissijaista. /1, 2/

4.2.2 Moottorin lämpötila ennen testiä

Mikäli käämityksen lämpötila mitataan vastusmittauksena, käämien lämpötila ei saa erota jäähdytysaineen lämpötilasta yli kahta Kelvin astetta.

Kun moottoria testataan S2- eli lyhytaikaisessa käytössä, saa eroavaisuus jäähdytysaineen lämpötilaan olla maksimissaan viisi Kelvin astetta aina ennen uuden syklin käynnistämistä. /1/

4.2.3 Jäähdytysaineen lämpötila

Testaus voidaan suorittaa lähes millä tahansa sopivalla jäähdytysaineen lämpötilalla, yleensä maksimissaan + 40 °C. Tarkemmat tiedot löytyvät IEC-60034-1 -standardin taulukoista 11 (epäsuorasti jäähdytetyt käämitykset) ja 14 (suorajäähdytteiset käämitykset). /1/

4.2.4 Jäähdytysaineen lämpötilan mittaus testin aikana

Lämpötila-antureiden mittaamista lukemista tulee tasaisin väliajoin ottaa keskiarvot lämpenemätestin viimeisellä neljänneksellä. Isojen laitteiden tapauksessa on

otettava huomioon niiden lämpenemän viive ja tämän vaikutus jäähdytysaineen lämpötilaan. Nämä vaikutukset on pyrittävä minimoimaan mahdollisimman hyvin.

Ympäröivällä ilmalla tai kaasulla jäähdytettujen ilman lämmönvaihtimia olevien avoimien ja suljettujen moottorien ympäristön lämpötila-anturit, tulee sijoittaa 1 - 2 m:n etäisyydelle ympäri moottoria. Lisäksi antureita tulee sijoittaa puoleen väliin mainitusta pituudesta. Jokainen anturi tulisi suojata lämpösäteilyltä ja ilmavirroilta.

Ilmastointilaitteen ja ilmastointiputkien avulla, ilmalla tai kaasulla jäähdytettujen ja erillisillä lämmönvaihtimilla varustettujen moottorien jäähdytysaineen lämpötila, tulee mitata siitä kohtaa moottoria, jossa jäähdytysaine tulee moottoriin.

Sisäisellä tai moottoriin integroidulla lämmönvaihtimella varustettujen moottorien jäähdytysaineen lämpötila mitataan kuten edellisessä kohdassa. Mikäli käytetään myös toista jäähdytysainetta / -tapaa, mitataan lämpötila siitä missä jäähdyttävä aine menee lämmönvaihtimeen. /1/

4.3 Lämpenämittauksessa käytettäviä antureita PC:llä mitattaessa

4.3.1 Termoparielementit

Termoparielementtejä käytetään yleisesti niin sanotuissa tiedonkeruupurkeissa, joihin voidaan liittää useita termoelementtipareja. Termoparielementtien toiminta perustuu kahden eri metallin liitoksesta syntyvään, lämpötilasta riippuvaiseen jännitteen potentiaalieroon. Tätä kutsutaan Seebeckin-ilmioiksi, jossa lämpötilaero aiheuttaa sähkövirran kahden eri materiaalin välille.

Erillistä jännitelähdettä ei tarvita, koska anturin käyttöjännite voidaan ottaa suoraan tiedonkeruujärjestelmästä tai tietokoneelta. Anturi tuottaa analogisen signaalin ja se on muutettava AD-muuntimen avulla digitaaliseen muotoon. Anturi voidaan liittää useita metrejä pitkällä johdolla AD-muuntimeen ja käytännön kokeuksien perusteella anturi toimii moitteettomasti, vaikka se on liitetty jopa 5 - 6 m pitkällä suojaamattomalla johtimella AD-muuntimeen. Termoparielementit jae-

taan eri tyyppeihin, joiden mitta-alueet vaihtelevat termolankaparin koostumuksen mukaan. Yleisimmät tyypit ovat seuraavat:

- J-tyyppi: lankaparina rauta ja konstantaani (Fe-Ko, jossa konstantaani on kuparin ja nikkelin seos eli CuNi), mitta-alue $-150\dots+1000$ °C. Halvin termoelementti-tyyppi
- K-tyyppi: lankaparina nikkelialumiini ja nikkelikromi (NiAl & NiCr), mitta-alue $-100\dots+1200$ °C
- T-tyyppi: lankaparina kupari ja konstantaani (Cu-Ko), mitta-alue $-260\dots+350$ °C. /37,39/

Termoparien käytössä on huomattava niiden erikoisominaisuudet. Seuraavassa muutamia yleisesti huomioonotettavia asioita, joista kaikki eivät välttämättä toteudu työssä kerrottujen mittausten aikana:

- KytKentäongelmat: Ylimääräisistä termopariliitoksista syntyy usein mittausvirhettä. Tämän vuoksi signaali on vietävä mittarille aina käyttäen samaa termoparimateriaalia mittarille saakka kaapeleissa ja liittimissä. Johtojen napaisuuden oikeellisuudesta on myös pidettävä huolta.
- Johtoresistanssi: Lyhyiden vasteaikojen saavuttamiseksi termoparit rakennetaan yleensä ohuista johtimista. Termopari kaapeleineen voi tällöin edustaa suurta resistanssia, jolloin myös indusoituneet häiriöt kasvavat. Myös mittarin tuloimpedanssi voi aiheuttaa virheitä. K-tyypin termopareille on olemassa kompensointikaapelia, jonka resistanssi on pienempi ja jota voi käyttää varsinaisen termoparikaapelin sijasta jos joudutaan siirtämään termoparin signaali pidempiä matkoja.
- Termoparin koostumuksen muutos: Korkeissa lämpötiloissa termopariin voi siirtyä vieraita aineita ilmasta diffuusion kautta. Myös termoparin eristemateriaalista voi tulla epäpuhtauksia. Nämä vaikuttavat termoparin jännite/lämpötilavasteeseen.

- Vieraat jännitteet ja virrat termoparikaapelissa: Termoparin antama jännite on hyvin pieni. Varsinkin pitkiä kaapeleita käytettäessä niihin voi siirtyä ympäristön potentiaalieroja (esimerkiksi jos termoparin mittauspää on eristämätön). Myös kaapeliin voi indusoitua suuriakin häiriöjännitteitä. Näiden eliminointi edellyttää häiriösuojattujen kaapelien käyttöä ja tarkkaa mittausjärjestelyn suunnittelua.
- Mittaustilanteessa on termopari saatettava mitattavaan lämpötilaan. Termoparilla on määrätty massa, jonka lämmittämiseen (tai jäädyttämiseen) tarvitaan energiaa. Tämä energia otetaan mitattavasta kohteesta, josta seuraa, että kohteen lämpötila muuttuu. Anturin massan on siis oltava paljon pienempi kuin mitattavan kohteen massan. Mikäli halutaan, että anturin lämpötila saadaan 1 % tarkkuudella mittauskohteen lämpötilaan, pitää anturin massan olla alle 1 % kohteen massasta.
- Anturin aikavakio kuvaa nopeutta, jolla anturi pystyy seuraamaan ympäristön lämpötilaa. Aikavakio riippuu anturin massasta ja sen kyvystä johtaa lämpöä. Jos ei toisin ole mainittu tarkoittaa aikavakio sitä aikaa joka kuluu kun anturin ja kohteen välinen lämpötilaero on pienentynyt 37 %:iin alkuperäisestä. Erosta. Jos ilmoitetaan aikavakio 90 %:n aikavakiona, tarkoitetaan aikaa, jossa lämpötilaero on pienentynyt 10 %:iin alkuperäisestä.
- Ilman lämpötilan mittaus on erityisen vaikeaa, koska ilman massa on hyvin pieni, 1 litra ilmaa painaa vain gramman. Anturin massan tulee olla mahdollisimman pieni. Anturin ympärille rakennetut mekaaniset suojukset ovat ongelmallisia, koska niiden on myös saavutettava mitattavan ilman lämpötila ennen kuin saadaan stabiileja lukemia. Erinomaiseksi ilman lämpötila-anturiksi on osoittautunut yksinkertainen termoparilanka, jonka päät on hitsattu tai juotettu yhteen mahdollisimman pieneksi liitokseksi. /38/

4.3.2 PT-100 vastusanturi

Vastusanturit ovat metallista valmistettuja antureita. Menetelmä perustuu siihen, että anturien resistanssin lämpötilariippuvuuden avulla voidaan mitata lämpötila.

Antureissa käytettyjen metallien resistanssi suurenee, kun lämpötila kasvaa. Yleisimmin näissä antureissa käytetään platinaa, nikkeliä tai kuparia. PT-100 on yleisin tämän tyyppin anturi. Sen resistanssi on 100Ω lämpötilassa 0°C . Tälle anturille soveltuva mitta-alue on $-250\dots+850^\circ\text{C}$. /39/

4.3.3 NTC-Termistori

NTC-termistori on termoparin tavoin muun muassa tiedonkeruujärjestelmään liitettävä johdinpari, jossa on lämpötilan mukaan sähköistä arvoaan muuttava komponentti. NTC-termistori on puolijohdemateriaalista valmistettu vastus, jonka vastusarvo laskee 3 - 5 % lämpötilan kasvaessa yhden asteen verran. Termistori voi olla joko NTC-tyyppiä, jonka lämpötilakerroin on negatiivinen tai PTC-tyyppiä, jonka lämpötilakerroin on positiivinen. Termistorien mitta-alue on noin $-60\dots+300^\circ\text{C}$. Termistorien lämpötilariippuvuus on epälineaarista, joka rajoittaa niiden mitta-alueita. Lisäksi termistorien käyttöä rajoittaa vaikeus valmistaa identtisiä termistoreja. Tästä syystä ne on kalibroitava yksitellen ja kalibrointi on uusittava aika ajoin. NTC-vastuksia käytetään lämpötilamittausten ohella esimerkiksi käynnistysvirran rajoittamiseen elektroniikkalaitteissa ja katkaisijoissa. /39/

4.4 Lämpenemän mittaus moottorin rungosta

Mitattaessa rungon lämpötilaa on mittauspisteen oltava mahdollisimman lähellä runkoa eikä mittausta saa suorittaa esimerkiksi jäähdytysrivasta. Tehtäessä useita mittauksia samalla tai eri moottorilla tulisi mittausta suorittaa aina samasta kohdasta, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia. Tehtäessä lämpötilanmittaus moottorin laakerikilvestä, kuten kuvassa 27, tulee ottaa huomioon standardin IEC 60034-1 määrittämät mittauspisteet riippuen siitä, onko käytössä oleva laakeri avonainen rulla- tai kuulalaakeri vai laakerikilvellä suljettu. Taulukossa 2 on esitetty arvot eri laakerityypeille.



Kuva 27. Termoparin kiinnitys moottorin laakerikilpeen.

Taulukko 2. Laakerien lämpötilojen mittauspisteet. /1/

Laakerityyppi	Mittauspiste	Mittauspisteen sijainti
Rulla- tai kuula-laakeri	A	Laakeripesä, korkeintaan 10 mm laakerin ulkokehästä
	B	Laakeripesän ulkopinta, mahdollisimman lähellä laakerin ulkokehää
Liukulaakeri	A	Laakerikuoren painevyöhykkeellä, korkeintaan 10 mm öljykalvon aukosta
	B	Missä tahansa muualla laakerikuoreessa

Suurilla laakereilla mittauspisteiden A ja B välillä voi esiintyä merkittäviäkin lämpötilaeroja. Lämpötilaerot oletetaan kuitenkin merkityksettömiksi, mikäli laakerin sisäreian halkaisija on korkeintaan 150 mm. Tästä johtuen pienten laakereiden lämpötilamittauksen voi tehdä mistä tahansa kohdasta mittauspisteiden A ja B väliltä. Suurempien laakereiden kohdalla lämpötilaerot mittauspisteiden välillä voivat olla jopa yli toistakymmentä astetta. /1, 5, 6/

Moottorin rungon lämpötilan mittaamiseen voidaan käyttää erillistä yhdistelmä-lämpömittaria tai erityistä termoparielementeillä toteutettua tiedonkeruujärjestelmää, joka löytyy jo valmiina Tutkimuskeskus Techobotnian tiloista. Yhdistelmä-lämpömittari soveltuu hyvin hetkellisiin ja yksittäisiin lämpötilan mittauksiin, mutta pidempiaikaisissa mittauksissa termoparielementit yhdistettynä PC:n tiedonkeruuhjelmaan on tehokkaampi ratkaisu. Mittauspisteitä voi tässä tapauksessa olla useampi. Mikäli tarvetta kuitenkin esiintyy yhdistelmä-lämpömittarin käytölle, on hyviä esimerkkejä kyseisistä mittareista muun muassa Fluke 561, josta löytyy infrapuna- ja kosketusmittaus. Erinomainen vaihtoehto on käyttää lämpökameraa, mutta se on aivan liian hintava käyttötarkoitukseen nähden.

Monikanavainen tiedonkeruujärjestelmä on koestus- ja testaustilanteissa paras ratkaisu. Kymmeniä kanavia sisältävällä laitteistolla saadaan kerättyä huomattava määrä tietoa eri paikoista ja eri muodoissa. Järjestelmällä saadaan termoparielementtien avulla mitattua muun muassa lämpötilaa, kosteutta ja resistanssia, mutta siihen voidaan liittää myös ulkoisia mittaustuloja, jotka antavat tiedon joko jännitteenä, virtana tai taajuutena. PC:llä olevalla tiedonkeruuohjelmalla nämä tiedot muutetaan luettavaan muotoon ja tulostetaan tietokoneen näytölle erilaisina taulukoina ja graafeina. /7, 12/

4.5 Lämpenemän mittaus moottorin käämeistä

Moottorin käämien lämpötilan mittaaminen vastusmittauksella perustuu käämien resistanssin muutokseen lämpötilan funktiona. Käämien resistanssit mitataan kylmänä ennen kokeen suoritusta ja kuumana kokeen jälkeen. Vastusmittausta ei voi tehdä kokeen aikana moottorin napojen ollessa jännitteelliset. Mitattaessa resistanssit kokeen suorituksen jälkeen, tulee huomioida standardin mukainen maksimikaikaraja mittauksen suoritukseen moottorin jännitteettömäksi kytkemisen jälkeen, jotta mittaustulos olisi luotettava. Nämä aikarajat erikokoisille moottoreille on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Vastusmittauksen aikarajat. /1/

Nimellisteho (P_N) kW / kVA	Aika jännitteettömäksi kytkemisen jälkeen s
$0 < P_N \leq 50$	30
$50 < P_N \leq 200$	90
$200 < P_N \leq 5000$	120
$5000 < P_N$	Sopimuksen mukaan

Mikäli resistanssin luentaa ei voida suorittaa määrättyssä ajassa, tulee lämpötilan määrittäminen suorittaa extrapoloimalla standardissa IEC 60034-1 olevan kohdan 8.6.2.3.3 mukaan. Lisäksi standardista IEC 61986 löytyy tarkempi ohjeistus lämpötilan mittaukseen epäsuorilla menetelmillä, kuten ekvivalenttisella kuormalla ja useilla eri superpositiomenetelmillä. /1/

Resistanssin mittaus voidaan tehdä lähes millä tahansa tarkalla yleismittarilla, mutta suositeltavaa olisi käyttää tähän tarkoitukseen varta vasten suunniteltua mittaria, kuten Cropicon valmistamaa DO4001 -milliohmimittaria (kuva 30, hinta noin 800 euroa). Yleismittareista hyvä vaihtoehto on myös monipuolinen Gossen Metrawattin METRAHit 27M.



Kuva 28. Cropico DO4001 vastusmittari. /24/

Lämpötilan nousu, $\theta_2 - \theta_a$, saadaan selville seuraavasta yhtälöstä:

$$\frac{\theta_2 + k}{\theta_1 + k} = \frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

jossa

θ_1 on ankkurikäämin lämpötila ($^{\circ}\text{C}$) kylmänä resistanssimittauksen aikana

θ_2 on ankkurikäämin lämpötila lämpenemäkokeen lopussa

θ_a on ympäristön lämpötila lämpenemäkokeen lopussa

R_1 on ankkurikäämin resistanssi lämpötilassa θ_1 (kylmänä)

R_2 on ankkurikäämin resistanssi lämpenemäkokeen lopussa ja

k on suhteellinen lämpötilakerroin johdinaineen resistanssille 0°C :n lämpötilassa, joka kuparilla on $k = 235$ ja alumiinilla $k = 225$ ellei toisin mainita.

Tietyissä käytännön sovellutuksissa myös seuraava vaihtoehtoinen kaava voi

$$\theta_2 - \theta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (k + \theta_2) + \theta_1 - \theta_a. \quad (4)$$

4.6 Moottorin sallittu lämpenemä ja kuormitettavuus

Sähkömoottoreita käytettäessä ja kuormitettaessa on huomioitava niiden IEC-standardin mukaiset eristysluokat ja suurimmat sallitut lämpenemät. Sähkökoneet mitoitetaan aina johonkin eristysluokkaan, jolle on määritelty käämitykselle korkein sallittu keskilämpötila ja kuumimman mitattavissa olevan pisteen lämpötila. Esimerkiksi eristysluokan F korkein sallittu kuumimman pisteen lämpötila on taulukon 3 mukaan 155 °C. Standardissa IEC 60034-1 on taulukon 4 mukaisesti määritetty sallitut arvot käämityksen lämpenemän muutokselle eri eristysluokissa ilmajäähdytteisillä koneilla. Lisäksi taulukossa 4 on mainittu eri mittaustapojen suurimmat sallitut lämpötila-arvot, sillä lämpömittarin näyttäessä tiettyä lukemaa, on käämityksen todellinen lämpötila huomattavasti suurempi ja näin vältytään käämityksen liialta kuumenemiselta. Taulukossa 4 symboli R tarkoittaa vastusmitausta ja symboli ETD (Embedded Temperature Detector) lämpötilan mittausta sisäänrakennetuilla lämpötila-antureilla.

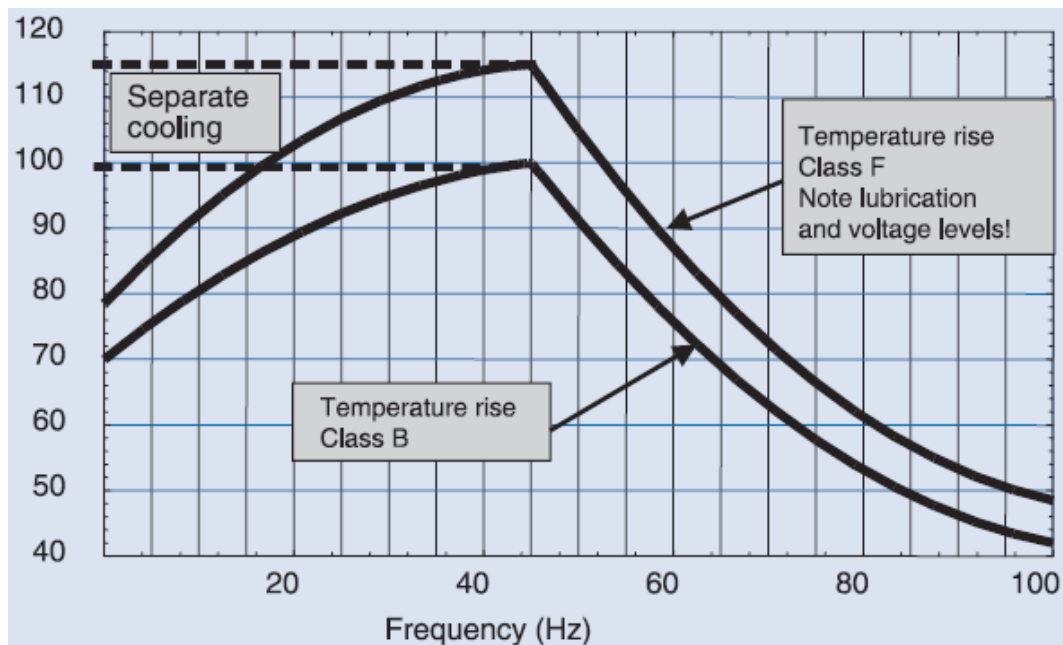
Taulukko 4. Sallitut lämpenemäarvot ilmajäähdytteiselle moottorille. /1/

ERISTYSLUOKKA	130 (B)		155 (F)		180 (H)	
	R / °C	ETD / °C	R / °C	ETD / °C	R / °C	ETD / °C
$P_N \geq 5\,000\text{ kW}$	80	85	105	110	125	130
$200\text{ kW} < P_N < 5\,000\text{ kW}$	80	90	105	115	125	135
$0,6\text{ kW} < P_N \leq 200\text{ kW}$	80	-	105	-	125	-
$P_N \leq 0,6\text{ kW}$	85	-	110	-	130	-
Valueristetty käämitys ja/tai käämityksen jäähdytys ilman tuuletinta	85	-	110	-	130	-

Sallitun lämpenemän suuruuteen vaikuttaa koneen nimellisteho, jäähdytys tai sen puuttuminen sekä koneen käämityksen tyyppi. Sähkömoottoria käytettäessä on tärkeää varoa, ettei se joudu toimimaan liian kuumana, esimerkiksi ylikuormituksen tai jäähdytyksen heikkenemisen johdosta, koska silloin moottorin eristyksen

elinikä lyhenee merkittävästi (puoleen aina 8...10 °C:een lämpötilan nousua koh-
ti).

Oikosulkumoottori on vakiona useimmiten itsejäähdytteinen eli moottorin roottori pyörittää roottoriakselille integroitua tuuletinta. Tämän vuoksi moottorin terminen kuormitettavuus laskee kun moottorin nopeus laskee. Tämä rajoittaa jatkuvaa käytettävissä olevaa momenttia alhaisilla kierrosluvuilla. Erillisellä jäähdytyksellä varustettua moottoria voidaan kuormittaa myös alhaisilla kierrosluvuilla. Yleisesti itse- ja erillisjäähdytyksessä momentti rajoitetaan termisesti moottorin kentänheikennysalueelle, kuten kuvassa 29.



Kuva 29. Oikosulkumoottorin tyypillinen kuormitettavuus ACS 800 -taajuusmuuttaja-käytössä. Kentänheikennyspiste 45 Hz:ssä. /27/

Kuvassa 29 ehyet viivat tarkoittavat kuormitettavuutta ilman erillisjäähdytystä ja katkoviivat kuormitettavuutta erillisjäähdytyksellä. Suhteellisen nopeuden ollessa yli 1,0 eli yli 45 Hz, moottori toimii kentänheikennysalueella ja moottorin kuormitettavuus heikkenee molemmilla jäähdytystavoilla. Testattaessa moottoreita, joiden nimellisyörimisnopeus 3000 r/min, voidaan kuvasta 31 katsoa nimellisuopeudeltaan 1500 r/min, lämpenemäluokan B kuormamoottorin kuormitettavuuden olevan 42 % kaksinkertaisella suhteellisella nopeudella, joka on 3000 r/min.

Kuormamoottorin nimellismomentti nimellisnopeudella on 707 Nm, jolloin 42 %:in kuormitettavuudella momentti saa olla enintään 297 Nm jatkuvassa käytössä. Moottoriluettelossa nähdään, että nimellisnopeudeltaan 3000 r/min olevan 90 kW:n moottorin nimellismomentti on 289 Nm, joka on suurin mahdollinen testattava moottori kyseisellä nopeudella. Tällöin kuormamoottorin kuormitettavuuden marginaaliksi jää noin 3 %, mikä on suhteellisen pieni, mutta teoriassa riittävä. Taulukosta 5 nähdään kuormamoottorin kuormitettavuus koko nopeusalueella. /1, 5, 7, 27/

Taulukko 5. 110 kW:n moottorin kuormitettavuus kuvan 29 kuormituskäyrien mukaan.

Syöttötaajuus	Lämpenemäluokka B		Lämpenemäluokka F	
	Kuormitettavuus / TN	Max. momentti	Kuormitettavuus / TN	Max. momentti
10 Hz	0,80xTN	566 Nm	0,92xTN	650 Nm
20 Hz	0,88xTN	622 Nm	1,02xTN	721 Nm
30 Hz	0,95xTN	672 Nm	1,10xTN	778 Nm
45 Hz	TN	707 Nm	1,15xTN	813 Nm
50 Hz	0,90xTN	636 Nm	1,05xTN	742 Nm
60 Hz	0,75xTN	530 Nm	0,88xTN	622 Nm
70 Hz	0,64xTN	453 Nm	0,72xTN	509 Nm
80 Hz	0,54xTN	382 Nm	0,62xTN	438 Nm
90 Hz	0,46xTN	325 Nm	0,54xTN	382 Nm
100 Hz	0,42xTN	297 Nm	0,48xTN	339 Nm

Tavallisesti mitoitettaessa moottoria teollisuuskäyttöön jätetään moottorin maksimimomentin ja kuormituksen maksimimomentin väliin 30 % marginaali, koska moottorin hyötysuhde saavuttaa maksimiarvonsa yleensä noin $\frac{3}{4}$ -teholla. Käytännössä tämä merkitsee yhden tehoportaan ylimitoittamista. Testauskäytössä tällä ei ole suurta merkitystä, koska käyttö ei ole jatkuvaa, mutta pitkäaikaisessa ja jatkuvassa teollisuuskäytössä moottorin elinikään ja energiakustannuksiin sillä voidaan vaikuttaa merkittävästi. Mahdollisen kuormituksen lisääntymisen vuoksi pieni saatavilla oleva lisäresurssi on myös aina eduksi.

Yleisesti ottaen on taajuusmuuttajan lyhytaikainen kuormitettavuus ratkaisevampaa verrattuna moottorin lyhytaikaiseen kuormitettavuuteen, koska moottorin lämpenemisajat ovat tavallisesti hyvin pitkiä, kun taas taajuusmuuttajilla lämpenemisaikat ovat tavallisesti hyvin pitkiä, kun taas taajuusmuuttajilla lämpenemisaikojen suhteen puhutaan vain muutamista minuuteista. /28/

4.7 Moottorin eristysjännittekeston mittaus

Tässä testissä mitataan eristystasoa moottorin käämitysten ja rungon välillä, testin aikana käämitykset eivät ole jännitteelliset. Eristysjännitemittaus tulisi suorittaa välittömästi lämpenemätestien jälkeen, koska moottorin ollessa lämpöinen sen eristystaso on heikoimmillaan johtuen metallin lämpölaajenemisesta.

Testi suoritetaan tehollisarvoltaan 1000 V:n mittausjännitteellä. Lisäksi testi suoritetaan moottorin mitoitettuun eristysjännitteeseen verrattuna kaksinkertaisella jännitteellä, kuitenkin minimissään 1500 V:lla.

Mittaus aloitetaan jännitteellä, joka on puolet täydestä mittausjännitteestä. Jännitettä nostetaan tasaisesti tai maksimissaan viiden prosentin askeleissa täydestä jännitteestä. Aika jännitteen nostosta puolesta täyteen arvoonsa ei saa olla yli 10 sekuntia. Mittaus kestää minuutin kun täysi mittausjännite on saavutettu. Eristysjännitemittaus tulee suorittaa vain kerran, mutta mikäli vaaditaan toista testiä, tulee testausjännitteen olla vain 80 % edellä mainituista arvoista. Sarjatuotantotestauksessa minuutin testi voidaan korvata sekunnin testillä, jossa testausjännite on 120 % edellä ilmoitetuista arvoista. /1/

4.8 Moottorin hyötysuhteen mittaus ja häviöt

Sähkökoneen hyötysuhde voidaan laskea kokonaishäviöistä, jotka saadaan seuraavissa testeissä havaittujen häviöiden summasta.

1. Tyhjäkäyntihäviöt
 - a) Tyhjäkäyntitesti nimellisjännitteellä ja -nopeudella
 - b) Tyhjäkäyntitesti vaihtelevalla jännitteellä
2. Kuormitushäviöt

Kuormitustesti nimelliskuormalla ja nimellisjännitteellä tai osakuormalla sekä alennetulla jännitteellä.

Moottorin hyötysuhde momenttimittauksen avulla on verkosta otetun sähkötehon suhde moottorin tuottamaan mekaaniseen tehoon (akseliteho). Hyötysuhde saadaan kaavasta viisi

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (5)$$

jossa

P_2 = moottorin tuottama mekaaninen teho ja P_1 = verkosta otettu sähköteho. Mekaaninen teho saadaan laskettua kaavasta kuusi

$$P_{mek} = 2\pi \times T \times n \quad (6)$$

jossa

T = moottorin nimellismomentti ja n = moottorin nimellisyörimisnopeus. /2/

4.9 Taajuusmuuttajan analysointi tehoanalysaattorilla

Taajuusmuuttajille tehtävien mittausten standardien analysoinnille ei tässä työssä ole tarvetta, mutta taajuusmuuttajan tutkiminen on tärkeää ja olennainen osa erityisesti yhteistyökumppaneille, jotta heidän osaltaan voidaan parantaa taajuusmuuttajien tuotekehitystä. Tehoanalysaattorilla on mahdollista saada selville taajuusmuuttajan hyötysuhde, virrat, jännitteet, yliaallot ja monia muita sähköä laatuun vaikuttavia tekijöitä. Kuusivaiheinen, eli kuudella mittauslähdöllä varustettu tehoanalysaattori on lähes pakollinen tutkittaessa taajuusmuuttajaa. Tällöin on mahdollista mitata kaikkia kolmea vaihetta taajuusmuuttajan tulo- ja lähtöpuolelta. Mitattaessa taajuusmuuttajaa, sen ollessa asennettuna kojeistoon, tulee huomioida mittauksista tekevien henkilöiden turvallisuus. Tämän vuoksi olisi taajuusmuuttajan verkko- ja syöttöjohtoihin hyvä liittää mittamuuntajat ja tuoda mittauspisteet erilliseen mittauspöytään, josta mittaus voitaisiin toteuttaa turvallisesti, esimerkiksi oppilaskäytössä.

Technobotnian laboratoriosta löytyy yksi kuvan 30 kaltainen kuusikanavainen Voltech PM6000 -tehoanalysaattori, jolla voidaan mitata DC-tehosta aina 2 x

kolmivaihetehoihin ja sitä kautta hyötysuhteisiin. Voltechin maksimivirta saadaan shuntti-vastuksien avulla aina 30 A:iin (RMS) asti. Myös kuvissa 31 – 32 esiintyvät Fluken valmistamat tehoanalysaattorit sopivat erinomaisesti tähän käyttöön.



Kuva 30. 1-6 -kanavainen Voltech PM6000 tehoanalysaattori.



Kuva 31. 1-6 -kanavainen Fluke NORMA 5000 tehoanalysaattori.



Kuva 32. 1-3 -kanavainen Fluke NORMA 4000 tehoanalysaattori.

Lisäksi laboratoriosta löytyy 2 kpl Yokogavan 1 - 3 -vaiheisia WT-130 -tehoanalysaattoreita, joita voidaan hyödyntää mittauksissa.

4.10 Virherajat

IEC-standardi 60034-2-1 määrää sallitut virherajat mittauslaitteistolle ja sähkönlaadulle. Seuraavassa listassa on esitetty standardin määrittelemät arvot eri suureille:

- Jännite
 - Jännitteen laadun määrietykset löytyvät kappaleesta 4.2.1.
- Taajuus
 - Taajuuden on oltava $\pm 0,3 \%$ nimellistaajuudesta mittausten aikana.
- Lämpötila
 - Kun mitataan lämpötilaa moottorin käämeistä resistanssimittauksen avulla ennen moottorin käynnistystä, ei ympäristön ja moottorin käämien välinen lämpötilaero saa olla yli kahta Kelvinastetta.
 - Kun moottoria testataan lyhytaikaisessa käytössä S2, saa lämpötilaero olla maksimissaan viisi Kelviniä ennen uuden testaussyklin aloittamista.
- Sähkösuureiden mittauslaitteet
 - Kaikkien sähkösuureiden mittaamiseen liittyvien laitteiden tulee IEC 60051 -standardin mukaan olla vähintään 0,2 tarkkuusluokassa. Rutiinitesteille (tehdastestit) riittää tarkkuusluokaksi IEC 60034-1 -standardin kohdan 9.1 mukaan 0,5. Ellei standardissa toisin mainita, tulee tarkkuudet määrittää kolmivaihevirtojen ja -jännitteiden aritmeettisia keskiarvoja käyttäen.
- Mittamuuntajat
 - Standardin IEC 60044-1 mukaan mittamuuntajien tarkkuus ei saa ylittää arvoa $\pm 0,5 \%$ perustestauksessa tai arvoa $\pm 0,3 \%$ kun testataan epätahtikoneita häviösummanmenetelmällä standardin kohdan 8.2.2.5.1 mukaisesti.

- Momentin mittaus
 - Momentin mittaukseen käytettävän laitteiston tarkkuus tulee olla vähintään $\pm 0,2$ % anturin nimellismomentista.
- Lämpötilan mittaus
 - Lämpötilan mittaamisen käytetyn laitteiston tulee mitata vähintään ± 1 °C:n tarkkuudella. /1, 2/

4.11 Ylikuormituskoe

Ylikuormituskokeessa testattavaan moottoriin kohdistetaan kuormituslaitteiston avulla ylikuormaa niin paljon, että moottorin vaihevirratt ovat 1,6-kertaiset nimellisvirtaan verrattuna. Ylikuormituskoe tulee lopettaa välittömästi pyörimisnopeustietojen kirjaamisen jälkeen, jotta vältetään moottorin käämityksen palaminen. Mikäli moottorissa on integroitu tuuletin, kannattaa moottori jättää käymään tyhjäkäynnillä muutamaksi minuutiksi, jotta lämpötila tasaantuu nopeammin. /1/

4.12 Oikosulkukoe

Oikosulkukokeessa on tarkoituksena selvittää syöttöjännitteen suuruus oikosulku-tilanteessa syötettäessä moottoria sen nimellisvirralla. Saatua jännitteen arvoa verrataan referenssiarvoihin, joista selviää moottorin kestävyys oikosulku-tilanteessa. Koe suoritetaan lukitsemalla moottorin akseli paikoilleen ja nostamalla moottorin syöttöjännitettä niin kauan, että saavutetaan moottorin nimellisvirta. Käämityksen palamisen estämiseksi koestus on valmisteltava hyvin ja suoritettava nopeasti. /1/

4.13 Ylinopeuskoe

Ylinopeuskokeen tarkoituksena on testata moottorin rakenteen fyysinen kestävyys moottorin nimellinopeutta suuremmilla pyörimisnopeuksilla. Koe ei kuulu normaaleihin moottoritesteihin, mutta voidaan suorittaa tarvittaessa. Kokeet suoritetaan tyhjäkäynnillä 1,2-kertaisella nimellinopeudella, eli taajuus säädetään 120 %:iin nimellistaajuudesta. Kokeen kesto on kaksi minuuttia, jonka ajan tarkkailaan mahdollista epänormaalia tärinää ja melua. Testi on onnistunut, mikäli ko-

keen aikana ei havaita mitään normaalista poikkeavaa, testin jälkeen koneeseen ei ole tullut havaittavaa vauriota ja sen käämitykset läpäisevät vaadittavat sähköiset testit. /1/

4.14 Melu ja värinä

Melun ja värinän mittaukset kuuluvat normaaleihin tehdastesteihin. Jotta näitä testejä voitaisiin tehdä, on testitila varustettava muun muassa äänieristysmateriaaleilla luotettavien mittausten aikaansaamiseksi. Mittaus on suositeltavaa suorittaa kahdessa osassa, erillistuulettimen kanssa ja ilman. Kun erillistuuletus ei ole käytössä, saadaan mittauksessa selville moottorin ns. sähköiset äänet. Suurin melutaso saavutetaan yleensä 0-40 Hz:n alueella. Tämä johtuu siitä, että taajuusmuuttaja muodostaa tällä alueella virran perusaallon lisäksi lukuisia virtayliaaltoja, jotka aiheuttavat eritasoisia häiriöääniä moottorissa. /1, 11/

Tärinätestejä varten moottori tulee varustaa värinäantureilla, jotka asennetaan moottoriin kiinteästi jo valmistusvaiheessa. Tarkempi ohjeistus melunmittaustesteihin löytyy IEC-standardista 60034-9 ja värinätesteihin standardista 60034-14.

5 HALT-TESTILAITTEEN HYÖDYNTÄMINEN

5.1 Yleistä

Yksi opinnäytetyön tavoitteista oli tutkia testitilan vieressä sijaitsevan HALT-testilaitteen, (Highly Accelerated Life Test), (kuva 33) käyttömahdollisuuksia moottoritestien yhteydessä. HALT-testilaitteessa testattavat esineet (tässä tapauksessa taajuusmuuttajat) altistetaan nopeille lämpötilavaihteluille ja värähtelyille, joilla saadaan keinotekoisesti vanhennettua testattavia esineitä reaaliaikaa nopeammin. Tällä menetelmällä saadaan mahdollisuus löytää ja poistaa testattavan tuotteen heikkoudet tehokkaasti ennen massatuotantoon siirtymistä. HALT on englanninkielisen nimensä mukaisesti korkeasti kiihdytetty elinikätesti. Vaikka menetelmän nimi viittaa elinikätestiin, ei HALTilla kuitenkaan voida määrittää tuotteen kenttäelinikää vaan päällimmäinen tavoite on tuotteen luotettavuuden kehittäminen rasittamalla tuote äärirajoilleen ja tätä kautta löytämään sen heikkoudet sekä mahdolliset suunnitteluvirheet lyhyessä ajassa. /17/



Kuva 33. Technobotnian HALT-testilaite.

5.2 HALTin soveltuvuus testiympäristöön

HALT-testilaitteen käyttö on helposti sovellettavissa testien yhteyteen. Käyttö ei käytännössä vaadi kuin syöttökaapelien vetämistä moottoritestaukselta HALT-testitilaan. Tämä voidaan helpoiten toteuttaa irtokaapeleilla, joita säilytetään irrallaan ja kiinnitetään vain tarvittaessa. Kiinteä asennus on mahdollinen, mutta tulee huomattavasti kalliimmaksi ja HALTin pienen käyttöasteen vuoksi kiinteän kaapeloinnin merkitys pienenee entisestään.

Mikäli kaapelointi halutaan toteuttaa kiinteästi, voi sen tehdä seuraavalla tavalla:

HALTin vasemmassa kyljessä olevasta koestuspulpetista tuodaan lattiaa pitkin kaapelit vastapäiselle seinälle, josta ne nostetaan pientä kaapelihyllyä pitkin ylös. Ylhäällä tehdään paloeristetty läpivienti testitilan puolelle, josta jatketaan tikashyllyllä moottorikaapelien jakokeskuksen yläpuolelle. Tästä kaapelit pudotetaan suoraan alas ja viedään keskuksen yläpuolisista läpivienneistä keskuksen sisään. Keskuksen asennetaan valintakytkin, josta voidaan valita käytetäänkö keskukselta lähtevien moottorikaapelien syöttämiseen HALTin syöttöä vai kojeistos-
sa olevan taajuusmuuttajan syöttöä.

6 TESTIPAIKAN LÄMPENEMÄ

Testipaikan koko ei aiheuta ongelmia ainoastaan rajallisen tilansa vuoksi vaan päänvaivaa aiheuttaa erityisesti moottoreista ja taajuusmuuttajista syntyvän häviötehon lämmittämä ilma, sillä standardin IEC 60034-1 mukaan testipaikan ympäristölämpötila ei saa vaihdella korkeintaan kuin yhden °C tunnissa ja maksimilämpötila ei saa ylittää 40 °C. Mikäli kojepaikka olisi iso ja avoin tila, tätä lämpenemäongelmaa ei olisi, sillä syntyvä hukkalämpö sekoittuisi helposti muuhun ympäröivään ilmaan ja laboratorion oma ilmastointijärjestelmä kykenisi pitämään ympäristön lämpötilan vakiona. Koska kyseessä on kuitenkin vajaa 18 neliön tiili-seinäinen varastotila ja pahimmassa tapauksessa, eli kuormitettaessa molempia 110 kW:n moottoreita täydellä kuormalla (häviöteho pelkillä moottoreilla yhteensä noin 14 kW), lämpiää huone hyvin nopeasti yli standardin asettamien rajojen. Toki huoneistossa itsessään on jonkin verran lämpövuotoja erityisesti talven aikaan, jolloin jäähdystystehon ei tarvitse olla yhtä tehokas kuin lämpimillä ilmoilla, mutta erityisesti kesäaikaan jäähdytyksen tarvetta ei voi aliarvioida. Moottorihäviöiden lisäksi tulee ottaa huomioon kojeiston, taajuusmuuttajien, kaapeleiden ja muiden kojeiden aiheuttamat lämpenemät, jotka voivat olla 2 - 6 kW. Testitilaan tulee siis kehitellä toimiva ilmastointiratkaisu.

6.1 Toteutus

Vaihtoehtoja ilmastoinnin toteutukseen on useita, joista jokaisella on sekä hyvät että huonot puolensa. Seuraavassa muutamia esimerkkejä toteutusmahdollisuuksista:

- hyödynnetään jo olemassa olevaa kompressorihuoneen poistoilmapuhallinta
- asennetaan useampi ilmalämpöpumppu tai yksi iso pumppu usealla sisäyksiköllä
- asennetaan yksi tai useampi jäähdyttävä ilmastointilaite
- käytetään vesijäähdytettyjä moottoreita. Ei käytännössä mahdollinen, sillä vain kuormakone on kiinteästi asennettu. Toteutus tulisi olemaan kohtuuttoman kallis.

6.2 Poistoilmapuhallin

Kustannustehokkain ratkaisu olisi kompressorihuoneen poistoilmapuhaltimen käyttö. Kyseinen ratkaisu ei vaadi suuria investointeja, sillä siinä on mahdollista hyödyntää jo olemassa olevaa laitteistoa eikä se vaadi uusia laitehankintoja. Ainoat kustannukset tulevat olemaan huoneiston rakenteellisista ja ilmanvaihdollisista muutoksista, kuten kompressori- ja moottorihuoneen välille asennettavasta ilmanvaihtoventtiilistä ja ulkoseinän puolelle asennettavista tuloilmaventtiileistä. Kompressorihuoneen poistoilmapuhaltimen tehon riittävyys on kuitenkin varmistettava, jotta se soveltuu tarvittaessa hoitamaan yhtä aikaa sekä kompressori- että testitilan tuottaman lämmön tai sitten on asetettava ehto, ettei molempia voida käyttää samaan aikaan. Kuumalla ilmalla tämän jäähdytysratkaisun teho jää valittavan huonoksi, sillä ulkoa otettava korvaava ilma on jo valmiiksi lämmintä. Tämä johtaa väistämättä viilennystehon heikentymiseen.

Vaikka testitilaan saataisiin riittävä ilmanvaihto, aiheuttaa standardin vaatimissa rajoissa pysyminen hankaluuksia. Vaikka huoneen ilmanlämpötila saataisiinkin pysymään keskiarvallisesti standardin vaatimissa rajoissa voi hetkelliset lämpötilavaihtelut olla todella suuria. Ongelmaksi muodostuukin se, miten toteuttaa ilmanvaihto mahdollisimman tasaisesti. Yksi ilman sisään- ja ulostulo kykenee hoitamaan ylimääräisen lämmön poiston, mutta kyseinen ratkaisu ei takaa tasaista ja vakaata lämpötilaa koko testitilassa vaan aiheuttaa erilaisia lämpötilakerrostumia testitilan eri osissa. Riittävän stabiilin lämpötilan saamiseksi tulisi testitilassa olla useita ilman sisään- ja ulostuloja. Paras ratkaisu olisi varmasti ilman sisäänohjaus lattiasta ja poisto katon kautta. Tässä tapauksessa lattiatuuletusta ei ole kuitenkaan mahdollista järjestää. Useissa laboratoriotiloissa käytetään lisäksi ilmansekoittajia tasaisen lämpötilan aikaansaamiseksi. Testitilan pieni koko ei kuitenkaan välttämättä vaadi ilmansekoittajia vaan tasainen ilmanvaihto voidaan toteuttaa suunnitteleamalla ilmanvaihto riittävän hyvin.

6.3 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu koostuu ulos asennettavasta höyrystinyksiköstä sekä rakennuksen sisälle sijoitettavasta lauhdutinyksiköstä. Lämpöpumppu toimii kuin jää-

kaappi eli siirtää lämpöenergiaa: jäähdytyskoneisto ottaa lämmön kaapin sisältä ja poistaa eli pumppaa sen ulkopuolelle. Ilmalämpöpumpulla lämmönsiirto tapahtuu joko sisältä rakennuksesta ulos (jäähdytyskäyttö) tai ulkoa sisälle (lämmityskäyttö). Kylmällä vuodenajalla (-20...+15 °C), kun lämmitystä tarvitaan, voidaan lämpöenergiaa siirtää edullisesti ilmalämpöpumpulla sisätiloihin. Nykyaikainen ilmalämpöpumppu voi parhaimmillaan siirtää yhden kilowatin sähkökulutuksella ulkoilmasta saatua lämpöenergiaa noin 4 - 5 kW sisätiloihin. Lämmönkuljettimena ilmalämpöpumpussa toimii kylmäaine, nykyään yleisimmin R410a tai R407c. Lämmityskäytössä kylmäaine höyrytetään ulkoyksikössä ja samalla siihen siirtyy ulkoilmasta lämpöenergiaa. Kylmäaine virtaa laitteen ulkoyksiköltä sisäyksikölle kupariputkissa. Sisäyksiköllä kylmäaine lauhdutetaan, jolloin se luovuttaa ulkoa siirretyn lämpöenergian sisätiloihin. Lämmön luovutettuaan kylmäaine palaa paluuputkessa takaisin ulkoyksikölle ja kierto voi alkaa uudelleen.

Jäähdytyskäytössä laitteen toimintaperiaate on aivan sama. Lämpöä siirretään nyt vain sisältä rakennuksesta ulos. Ilmalämpöpumppu onkin oikeammin jäähdytyslaite, joka on varustettu venttiilillä jota säätelämällä saadaan laite toimimaan sekä lämmitys-, että jäähdytyskäytössä. Kun kyseessä oleva venttiili on asennossa 1, toimii ilmalämpöpumppu jäähdyttimenä ja kun venttiili käännetään asentoon 2, se muuttaa kylmäaineen kulkusuunnan järjestelmässä ja ilmalämpöpumppu toimii lämmittimenä. Ilmalämpöpumput voivatkin olla varsin energiatehokkaita mitä tulee niiden lämmönsiirtokykyyn. Ainoa ongelma lämpöpumpuissa on kuitenkin se, että ulkoyksikön kennot keräävät jäätä. Tämä ei varsinaisesti ole mikään ongelma, mutta jäätymistä ehkäistäkseen on laitteen aina silloin tällöin sulatettava ulkoyksikön kennolle kertynyt huurre ja jää. Tämä sulatustoiminnoksi kutsuttu toiminto alentaa hivenen laitteen lämpökerrointa. Kun kertynyt jää on saatu sulatettua ulkoyksiköltä, laite kytkeytyy taas lämmitystoiminnolle. Kaikki tapahtuu automaattisesti, joten ulkoyksikön sulattelu ei vaadi käyttäjältä mitään toimenpiteitä. /16, 19/

Ilmalämpöpumppu ei pelkkänä jäähdytysratkaisuna ole paras mahdollinen, sillä kalliiseen hintaansa nähden siinä jätetään käyttämättä puolet laitteen ominaisuuks-

sista. Lämmitystä kyseessä oleva testitila ei tarvitse, sillä tilassa on jo valmiina lämminvesipatteristo huolehtimassa lämmityksestä.

6.4 Ilmastointilaitteet jäähdytysratkaisuna

Ilmastointilaitteisto on jäähdytyksen kannalta tehokkain ja hinta/laatusuhteeltaan kaikkein järkevin ratkaisu. Jäähdytyslaitteisto on edullisempi ja jäähdytysteholtaan huomattavasti tehokkaampi ilmalämpöpumppuun verrattuna. Hintaa laitteistolle tulee asennettuna noin 200 - 300 € / kW kun ilmalämpöpumppujen osalta kustannukset nousevat yli 600 € / kW jäähdytystehon jäädessä alle puoleen verrattuna jäähdytyslaitteistoon. Keskimäärin voidaan nyrkkisäännöksi jäähdytyslaitteiston kustannuksille laskea 1500 € / 5 kW. Halvempiin ratkaisuihin ei ole kannattavaa tyytyä, koska samalla niiden laatu heikkenee ja näin ollen laitteiston huoltokustannukset saattavat nousta suuriksi ja ennen pitkää laitteiston kokonaiskustannukset moninkertaisiksi. Paras ratkaisu on valita jäähdytysjärjestelmä tunnetulta valmistajalta ja jäähdytysasennuksiin valtuutetulta liikkeeltä. Mikäli jäähdytyksen toteutuksessa päädytään jäähdytyslaitteisiin, kannattaa laitteisto mitoittaa heti kerralla riittäväksi, koska laitteiden lisääminen jälkikäteen tuottaa paljon vaivaa niin tilaajalle kuin myyjällekin sekä kustannusten että työmäärän osalta.

6.5 Ilmastoinnin toteutus käyttämällä jäähdytyslaitteita

Jäähdytyslaitteiston syöttö on mahdollista ottaa kompressorihuoneen jakokeskuksesta (kuva 34), josta löytyy yksi kuvassa 35 näkyvä varalla oleva 63 A:n lähtö. Syötön riittävyys tulee varmistaa käytettäessä tehokkaampia ilmastointijärjestelmiä, mutta pienemmissä laitteissa sulakkeeksi riittää 10 – 16 A riippuen laitteistosta. Muussa tapauksessa keskukseen tulee asentaa suurempi lähtö tai vetää ilmastointilaitteistolle täysin oma syöttökaapelinsa jostain muualta.



Kuva 34. Jakokeskus JK05 (PK F6)



Kuva 35. 63 A:n vapaana oleva lähtö.

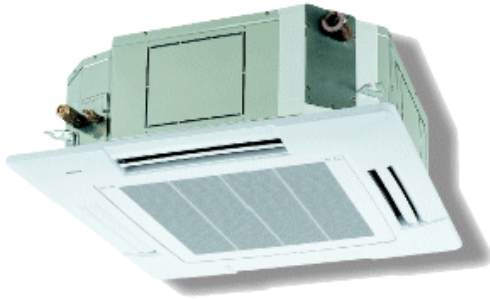
6.5.1 Panasonic V-18 & V24

Panasonicin tehokas V-sarja on hyvä vaihtoehto ilmastoinnin toteutukseen. CU-V24CKE -malli (kuva 38) on jäähdytysteholtaan 7,02 kW ja kahdella yksiköllä saadaan jo 14 kW:n jäähdytysteho, joka lähentelee riittävää jäähdytystehoa testitilan jäähdyttämiseen. Kaksi V24-jäähdytintä seinäasennettavalla sisäyksiköllä (kuva 36) maksaa noin 4000 euroa. Vastaavasti voitaisiin käyttää V18CKE-yksikköä, jonka jäähdytysteho on 5,30 kW ja kolmella yksiköllä saataisiin peräti 15,9 kW:n jäähdytysteho. Kolmen V18-yksikön kustannukset ovat hieman kalliimmat, noin 4500 euroa, mutta näillä saataisiin aikaisempi tasaisempi jäähdytys tulos kuin kahdella yksiköllä. V18 ja V24 -mallien sisäyksiköiden pituus on noin metri. Kahden yksikön sijoitus testitilan ulkoseinän (kojeistoseinän) puolelle pitäisi onnistua. Jos halutaan käyttää kolmea yksikköä, voi tila käydä rajalliseksi laitteiden sijoittelun suhteen.



Kuva 36. Split-sisäyksikkö CS-V24CKE. /21/

Vaihtoehtona split-yksikölle voidaan käyttää kattoon asennettavaa kasettiyksikköä (kuva 37), jonka etuna on tasaisempi jäähdytystulos, mutta hieman korkeampi hinta. /21/



Kuva 37. Sisäyksikkö CS-V24CTP. /21/



Kuva 38. Ulkoyksikkö CU-V24CKE. /21/

Mikäli jäähdytystehoa tarvitaan lisää, niin silloin on aiheellista siirtyä esimerkiksi Toshibaan järeisiin VRF-SMMS ilmastointilaitteisiin, joiden jäähdytystehot alkavat 14 kW:sta ja kapasiteettia riittää seuraavissa malleissa useisiin satoihin kilowatteihin.

6.5.2 Toshiba VRF

Mikäli jäähdytystehoa tarvitaan enemmän, on aiheellista siirtyä esimerkiksi Toshibaan mini-SMMS:ään tai vielä järeämpiin VRF-SMMS -ilmastointilaitteisiin, joissa kapasiteettia riittää 14 kW:sta aina 135 kW:iin asti.

Toshiban VRF (Variable Refrigerant Flow) SMMS (Super Modular Multi System) 2-putkijärjestelmä on suunniteltu jäähdyttämään yleisesti paljon tehoa vaati-

vissa kohteissa. Sen etuina ovat mahdollisuus käyttää useita erilaisia sisäyksiköitä ja yhtä yhteistä ulkoyksikköä. Kaikki sisäyksiköt ovat ohjelmoitavissa erikseen vaikka ne kuuluvatkin yhteen ja samaan ulkoyksikköön.

Kuvassa 39 esitetyistä vaihtoehdoista kattokasettiyksikkö takaisi suhteellisen tasaisen jäähdytyksen kaikkialle testitilaan. Neljään suuntaan puhaltava kasettiyksikkö on hieman kalliimpi kuin useimmat muut taulukossa mainitut yksiköt, mutta hintaero on suhteellisen pieni verrattuna järjestelmän kokonaiskustannuksiin. Taulukoista 6 ja 7 löytyvät Toshiba ulkoyksiköiden tekniset tiedot.

 <p>Kattokasetti</p>	 <p>Lattia-/kattoasennus</p>	 <p>Yhteen suuntaan puhaltava</p>
 <p>Kahteen suuntaan puhaltava</p>	 <p>Lattiamalli</p>	 <p>Lattiamalli</p>
 <p>Kanavoitava</p>	 <p>Lattialla seisova</p>	 <p>Seinämalli</p>

Kuva 39. Sisäyksikkövaihtoehdot Toshiba VRF-jäähdytysjärjestelmään. /35/

Taulukko 6. Mini-SMMS ulkoyksikön tekniset tiedot. /35/

TEKNISET TIEDOT / Mini-SMMS ULKOYKSIKKÖ				
Malli		4HP	5HP	6HP
Jäähdytysteho	kW	12,10	14,00	15,50
Ottoteho	%	2,82	3,47	4,63
Energialuokitus		A	A	A
Käyttövirta	A	13,20	16,10	21,40
Jäähdytyskerroin	W / W	4,29	4,03	3,35

Taulukko 7. SMMS ulkoyksikön tekniset tiedot. /35/

TEKNISET TIEDOT / SMMS ULKOYKSIKKÖ						
Malli		5HP	6HP	8HP	10HP	12HP
Jäähdytysteho (1)	kW	14,00	16,00	22,40	28,00	33,50
Ottoteho	%	3,65	4,64	5,67	7,67	11,92
Energialuokitus		A	A	A	A	A
Käyttövirta	A	5,85	7,28	8,62	11,55	18,30
Jäähdytyskerroin	W / W	3,84	3,45	3,95	3,65	2,81

(1) Perustuu sisäilman lämpötilaan 27 °C (kuiva) / 19 °C (kosteaa) ja ulkoilman lämpötilaan 35 °C (kuiva)

Liitteessä 9 on jäähdytyskaavio Toshiba VRF-jäähdytysjärjestelmästä kahdella kasettiyksiköllä. Tällä toteutustavalla järjestelmän komponenttien hinnaksi tulisi noin 11 000 euroa kun vertailukohtana käytetään 20 kW:n jäähdytystarvetta. Asennustöiden kustannukset eivät sisälly hintaan, koska laitetoimittajan tulee nähdä asennuspaikka ennen kustannusten arviointia. Varovasti arvioiden kokonaisuus saattaisi nousta joka tapauksessa lähelle 12 000 - 13 000 euroa.

Järjestelmän komponenttien hintaa voidaan vähentää käyttämällä erilaisia jäähdytysyksiköitä, sillä kattokasettiyksikkö on hyvin usein melko hintava muihin malleihin verrattuna. Tällöin tasainen jäähdytys kuitenkin kärsii. Toinen vaihtoehto on käyttää vain yhtä kasettiyksikköä ja jotain toista mallia siinä rinnalla. Vain yhtä yksikköä ei voida käyttää, sillä missään niissä ei riitä kapasiteetti käsittelemään järjestelmän koko jäähdytystehoja. /35/

6.5.3 Carrier palvelinhuoneiden jäähdyttimet

ATK- ja palvelintilojen laitteet ovat ilmaa jäähdyttäviä ja suodattavia niin kutsuttuja split-laitteita tai kaappikojeita, jotka pitävät ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan vakiona lämmittämällä, jäähdyttämällä ja kostuttamalla kiertoilmaa. Laitteet sijoitetaan tilan vaatimusten mukaan joko seinälle, kattoon tai mikäli huoneessa on kaksoislattia, voidaan jäähdytetty ilma puhaltaa lattian alle alaspäin.

Kaappikojeessa on yleensä kompressori, höyrystin, puhallin, kostutus ja lämmitys sekä suodatus ja säätölaitteet samassa laitepaketissa. Vain ilmanlauhdutin sijoitetaan ulos. Säätötarkkuus näille laitteille on noin ± 1 °C lämpötilan- ja ± 5 % suhteellisen ilmankosteuden suhteen. Laitteille on kytkettävä suodatettu vesiliitäntä ja viemäröinti. Sähkösyötön on oltava kolmivaiheinen. Laitteiden jäähdytystehot ovat noin 5 - 50 kW. Koska laitteita tarvitaan ympäri vuoden, on kaikkien varusteiden oltava kesä- ja talvikäyttöä varten. Palvelinjäähdyttimien valttina onkin niiden toimintavarmuus, myös kovilla pakkasilla. Valmiin kaappikojelaitteiston hinta on alkaen noin 10 000 euroa. /23/

6.6 Ilmastoinnin johtopäätökset

Yksiselitteistä ratkaisua ei jäähdytyskysymykseen voida sanoa. Osaan laitteista ei ole esillä suurta määrää tietoa. Esimerkiksi hyvin olennainen asia, jäähdytyksen tarkkuus, ei ole esillä juuri minkään valmistajan toimesta. Ilmastointilaittevalmistajia on erittäin kirjava joukko eikä niiden kaikkien esittely ja vertailu ole kannattavaa, koska suuria eroja ei hinnassa ja ominaisuuksissa juuri ole. Kaikkein edullisimpia ratkaisuja kannattaa välttää, koska niissä on järjestelmällisesti useita tyyppivikoja ja luotettavuusongelmia.

Järkevin ratkaisu olisi käyttää yhtä tehokasta multi-split järjestelmää (esimerkiksi Toshiba), joka käsittää yhden ulos asennettavan lauhdutinyksikön ja useita sisäyksiköitä. Tällä tavalla saavutetaan tehokas jäähdytysteho yhdestä lauhduttimesta ja samalla tämä teho voidaan ohjata usealle, toisistaan riippumattomalle sisäjähdytinyksikölle, jotka kuitenkin pystyvät kommunikoimaan ja toimimaan yhteisesti. Järjestelmän haittapuolena on sen korkea hinta.

Koska kustannukset tulee pitää minimissään, voi pienempien jäähdyttimien valinta tulla kyseeseen, kuten Panasonicin V-malliston tuotteet. Näissä laitteissa yhtä lauhdutinyksikköä kohden on yksi sisäyksikkö, joten jäähdyttimien välinen kommunikointi ei ole mahdollista. Jäähdytyksen tarkkuutta ja vakautta ei voida näin ollen tietää muuten kuin kokeilemalla, mutta näin pienen tilan ollessa kyseessä voidaan olettaa jäähdytyksen olevan riittävän tarkka. Kyseessä olevan tavan kustannukset tulevat hieman pienemmiksi kuin isoissa multi-split laitteissa.

Paras vaihtoehto on pyytää esimerkiksi Pohjanmaan Lämpöpumppukeskuksen tai Vaasan Ilmastointi Oy:n edustajaa paikan päälle katsomaan tilavaatimuksia ja keskustelemaan jäähdytystarpeista. Näin saadaan luotettava ammattilaisen arviointi sopivan jäähdytyksen toteutuksesta, hankinnasta ja kustannuksista. Kun arviointi on saatu, voidaan tarkempia tarjouksia kysellä useilta eri jälleenmyyjiltä.

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli saada yleiskuva Technobotnia tutkimuskeskukseen suunnitella olevasta taajuusmuuttajien ja moottorien testauslaitteistosta. Pääpaino testilaitteistolla tulee suurimmalta osin olemaan lämpenemätestien tekeminen erikoisille oikosulkumoottoreille ja testata samalla ABB:n ACS800-sarjan taajuusmuuttajia. Laitteisto tulee tuotekehitys- ja oppilaskäyttöön. Testauslaitteiston yhteyteen suunniteltiin myös mahdollisuus tehdä rasiustestejä taajuusmuuttajille testitilan vieressä sijaitsevalla HALT-testilaitteella.

Aihetta tutkiessani olen tullut siihen lopputulokseen, ettei laitteiston toteutus ole lainkaan mahdotonta. Ainoa kynnyskysymys tulee olemaan lopullinen kustannusten määrä ja rahoituksen saaminen. VAMKin osalta laitteistokustannukset tulevat olemaan varmasti lähellä 20 000 euroa, ellei enemmänkin, riippuen tarvittavista mittauslaitteista. Seuraavassa viitteellinen arvio mahdollisista laitteiston kustannuksista:

- Momenttianturi oheislaitteineen _____ 5500 €
 - Sisältää anturin, PC-ohjelmiston ja kaapelin
- Sähkönsyöttö _____ 1500 €
 - Sisältää uuden kalustuksen pääkeskukseen ja jakokeskukseen, mikäli vanhoja komponentteja ei voida käyttää. Moottorikaapelointi ja muuntajan suojaus
- Valvomo _____ 1000 €
 - PC + muut tarvikkeet
- Mittauslaitteet _____ 800 €
 - Milliohmimittari moottorin käämien lämpötilan mittaamiseen, lämpenemämittauslaitteistoa ei tarvita, mikäli käytetään Techno-

botnian omia laitteita. Muussa tapauksessa kustannukset nousevat noin 2000 euroa tai enemmän.

- Nostolaitteisto moottoreille _____ 1000 €
 - Käsikäyttöinen ketjunostin ja I-palkki kattoon nostimen siirtelyä varten
- Ilmastointi _____ 5000 €
 - 2 kpl Panasonic V24 -jäähdytysyksiköitä kattokasetilla (jäähdytys-teho yhteensä 14 kW). Arvio sisältää työkustannukset.
- Testitilan rakenteelliset muutokset _____ 1500 €
 - Välitilan seinien (80 cm) poisto, ohutlevyseinän vahvistus, tilan äänieristäminen ynnä muut tarvittavat muutokset
- Moottoripedin valmistus _____ 2500 €
 - Pedin suunnittelu ja valmistus ulkopuolisella

YHTEENSÄ _____ 18 800 €

Työn suorittamista vaikeutti merkittävästi epävarmuus siitä, mitä kaikkea laitteis-tolta halutaan ja mistä komponenteista se tulee lopulta koostumaan. Tekemistä olisi helpottanut huomattavasti se, että kaikkien osapuolien edustajat olisivat olleet heti alussa kertomassa mitä he haluavat. Näin ei olisi syntynyt monia kysy-mysmerkkejä ja olettamuksia, vaan tarkkoja faktoja. Työtä on ollut siis pakko pohtia monelta eri kantilta ja hakea näkökulmia asioihin. Työtä varten tehdyn työn määrästä vain murto-osa on päätynyt lopulliseen versioon. Hankalinta työssä oli-kin sen rajaaminen, sillä mitään kunnollista rajausta ei työn aloitusvaiheessa tehty. Työssä oli vedettävä raja oleellisen tiedon ja tarkentavan tiedon välille. Työ sisäl-tää edelleen paljon tietoa, jolla ei ole suoranaista vaikutusta työn päämäärään, mutta joka on lisätty mielenkiinnosta tutkimaani aihetta kohtaan. Pahinta työssä oli se, ettei mihinkään aiheeseen voinut syventyä tarkasti vaan kaikista tuli raa-

paista vain pintaa. Lisäksi olisi ollut hienoa päästä toteuttamaan laitteistoa todellisuudessa, mikäli se aiotaan tulevaisuudessa rakentaa.

Jos aloittaisin työn tekemisen uudestaan, se olisi valmis kuukaudessa. En kuitenkaan harmittele lopullista tulosta ja sitä mitä olisin voinut tehdä toisin vaan olen iloinen siitä, mitä kaikkea olen oppinut työn tekemisen aikana. Tulevaisuudessa osaan varmasti tehdä asiat oikeassa järjestyksessä ja oikealla tavalla. Olen työn aikana saanut paljon uutta tietoa, mutta ennen kaikkea olen oppinut sitä etsimään ja hyödyntämään, mikä on mielestäni yksi tärkeimmistä opinnäytetyön tavoitteista.

LÄHDELUETTELO

- /27/ ABB, Catalogue BU/ Low voltage general purpose motors EN 12-2005, 2005, Vaasa.
- /18/ ABB Laiteopas, ACS800-01-taajuusmuuttajat (0,55...110 kW) [online]. [viitattu 10.5.2010]. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.muodossa.com) <URL:http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot201.nsf/VerityDisplay/1AFF0809C8B1931FC12570D6004C6F3E/\$File/FI_ACS800_01_HW_F_screenres.pdf>
- /36/ ABB, Tekninen opas nro 2: Direktiivit [online]. 2001 [viitattu 7.2.2010]. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.muodossa.com) <URL:http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/273388f1bb98937dc1256d280040b3b9/\$File/Tekninen_opas_nro2.pdf>
- /28/ ABB, Tekninen opas nro 7: Sähkökäytön mitoitus [online]. 2001 [viitattu 7.2.2010]. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.muodossa.com) <URL:http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11daffe92973be93c1256d2800415027/\$File/Tekninen_opasnro7.pdf>
- /29/ ABB, Tekninen opas nro 5: Laakerivirrat [online]. 2000 [viitattu 10.2.2010]. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.muodossa.com) <URL:http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/\$File/Tekninenopasnro5.pdf>
- /10/ ABB TTT-käsikirja, Teknisiä tietoja ja taulukoita. ABB Oy. Vaasa. 9 p. 2000.
- /12/ Aro, Jarkko. VEDA 5000 pienjännitekeskuksen kasettikentän lämpenemistesti. Tutkintotyö. Vaasa. 2001.
- /24/ Cropico DO4000 -milliohmimittarin esite [online]. [viitattu 23.8.2009]. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.muodossa.com) <URL:http://www.pefi.fi/pdf/DO4000esite.pdf>

- /33/ Datum Electronics -momenttiantureiden datalehtiset [online]. [viitattu 3.7.2009]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.straintech.fi/momentti.html](http://www.straintech.fi/momentti.html)
- /30/ HBM-momenttiantureiden datalehtiset [online]. [viitattu 30.6.2010]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.hbm.com/en/menu/applications/torque-measurement/>](http://www.hbm.com/en/menu/applications/torque-measurement/)
- /2/ IEC 60034-2-1. Rotating electrical machines – Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles), Edition 1.0. International Electrotechnical Commission. 2007.
- /1/ IEC 60034-1. Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance, Edition 11.0. International Electrotechnical Commission. 2004.
- /34/ Industrial Measurements Ltd TLS-momenttianturin datalehtinen [online]. [viitattu 15.2.2010]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.indmeas.co.uk/resources/iml_tls.pdf>](http://www.indmeas.co.uk/resources/iml_tls.pdf)
- /5/ Jokiniemi, Juha. AC-moottoreiden kuormituskokeet ja luokitukset jaksotaiskäyttöön [online]. Tutkintotyö. Tampere. 2009 [viitattu 4.7.2009]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/45336/Jokiniemi.Juha.pdf?sequence=1>](https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/45336/Jokiniemi.Juha.pdf?sequence=1)
- /7/ Kantanen, Lasse. Tasasähkökoneen huolto ja koestus [online]. Tutkintotyö. Tampere. 2008 [viitattu 8.8.2009]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/40072/Kantanen.Lasse.pdf?sequence=1>](https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/40072/Kantanen.Lasse.pdf?sequence=1)
- /6/ Konttinen, Juha. Vaihtosähkökoneen huolto ja koestus [online]. Tutkintotyö. Tampere. 2008 [viitattu 8.8.2009]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/40073/Konttinen.Juha.pdf?sequence=1>](https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/40073/Konttinen.Juha.pdf?sequence=1)

- /32/ KTR Dataflex vääntömomentin mittausakselit -datalehtinen [online]. [viitattu 1.7.2009]. Saatavilla [www-muodossa: <URL: http://www.ktr.com/root/img/pool/pdf/produktkataloge/fi/fi_gesamt/011_dataflex_fi.pdf>](http://www.ktr.com/root/img/pool/pdf/produktkataloge/fi/fi_gesamt/011_dataflex_fi.pdf)
- /19/ KylmäCenter Oy. Ilmalämpöpumpun toiminta [online]. [viitattu 12.9.2010]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.ekopower.fi/ilmalampopumput_toiminta.html>](http://www.ekopower.fi/ilmalampopumput_toiminta.html)
- /20/ Käyttöohje Vacon NXP / C -taajuusmuuttajat [online]. [viitattu 4.6.2009]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.vacon.com/File.aspx?id=462915&ext=pdf&routing=396771&webid=396774&name=UD01029A>](http://www.vacon.com/File.aspx?id=462915&ext=pdf&routing=396771&webid=396774&name=UD01029A)
- /15/ Köykkä, Samuli. Sähkökeskusten standardin mukainen valmistus [online]. Tutkintotyö. Tampere. 2008 [viitattu 21.1.2010]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1303/Koykka_Samuli.pdf?sequence=1>](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1303/Koykka_Samuli.pdf?sequence=1)
- /11/ Lantela, Jarno. Taajuusmuuttajamoottorin tutkiminen. Tutkintotyö. Vaasa. 2005.
- /26/ Latvala, Jari-Pekka. ABB Motors Oy. 29.5.2009. Vaasa. Haastattelu.
- /31/ Magtrol TM314 – 317 -momenttianturien datalehtinen [online]. [viitattu 2.6.2009]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.magtrol.com/datasheets/tm314-317.pdf>](http://www.magtrol.com/datasheets/tm314-317.pdf)
- /23/ MV-jäähdytys Oy. Tuotteet [online]. [viitattu 6.1.2010]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://beta.mv-jaahdytys.fi/cms/content/view/9/22/>](http://beta.mv-jaahdytys.fi/cms/content/view/9/22/)
- /16/ Olli-Pekka Nissinen. Pumppu voi myös pettää (artikkeli). Aamulehti. 25.4.2009.

- /39/ Opetushallitus. Lämpötilan mittausta PC-mikron avulla –oppimateriaali [online]. Päivitetty 3.4.2000 [viitattu 16.10.2009]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.edu.fi/oppimateriaalit/luonnontieteet/analyysilaitteet/luuku2.html>](http://www.edu.fi/oppimateriaalit/luonnontieteet/analyysilaitteet/luuku2.html)
- /21/ Panasonic V-sarjan ilmastointilaitteet [online]. [viitattu 16.8.2009]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.saastaenergia.fi/74/30/Ilmal%C3%A4mp%C3%B6pumput/V-sarja%20%28Cooling%20Only%29>](http://www.saastaenergia.fi/74/30/Ilmal%C3%A4mp%C3%B6pumput/V-sarja%20%28Cooling%20Only%29)
- /38/ Pietiko Oy, Termopari lämpötila-anturina [online]. Päivitetty 2.12.2009 [viitattu 5.1.2010]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.pietiko.fi/mittarikirjallisuus/Termopari.pdf>](http://www.pietiko.fi/mittarikirjallisuus/Termopari.pdf)
- /22/ Ruppala, Erkki. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Johdon ja sen ylivirtausojan mitoitus [online]. Päivitetty 6.9.2004 [viitattu 29.11.2009]. Saatavilla [www-muodossa: <URL:http://www.tp.spt.fi/~salabra/er/siirto/ylivirtausoj.doc>](http://www.tp.spt.fi/~salabra/er/siirto/ylivirtausoj.doc)
- /13/ Salo, Mika. Sähkömoottorikäytöt-luentomoniste. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 2004.
- /14/ SFS-käsikirja 6000, Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus, 1. painos. Helsinki. 2007.
- /3/ Sähköasennustekniikka 1. Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry. Espoo. 2004.
- /4/ Sähköasennustekniikka 3. Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry. Espoo. 2004.
- /25/ Taimisto, Samuli 15.4.2009. Häiriöt ja niiden vaimentaminen (luento). Vaasa. Vaasan ammattikorkeakoulu.

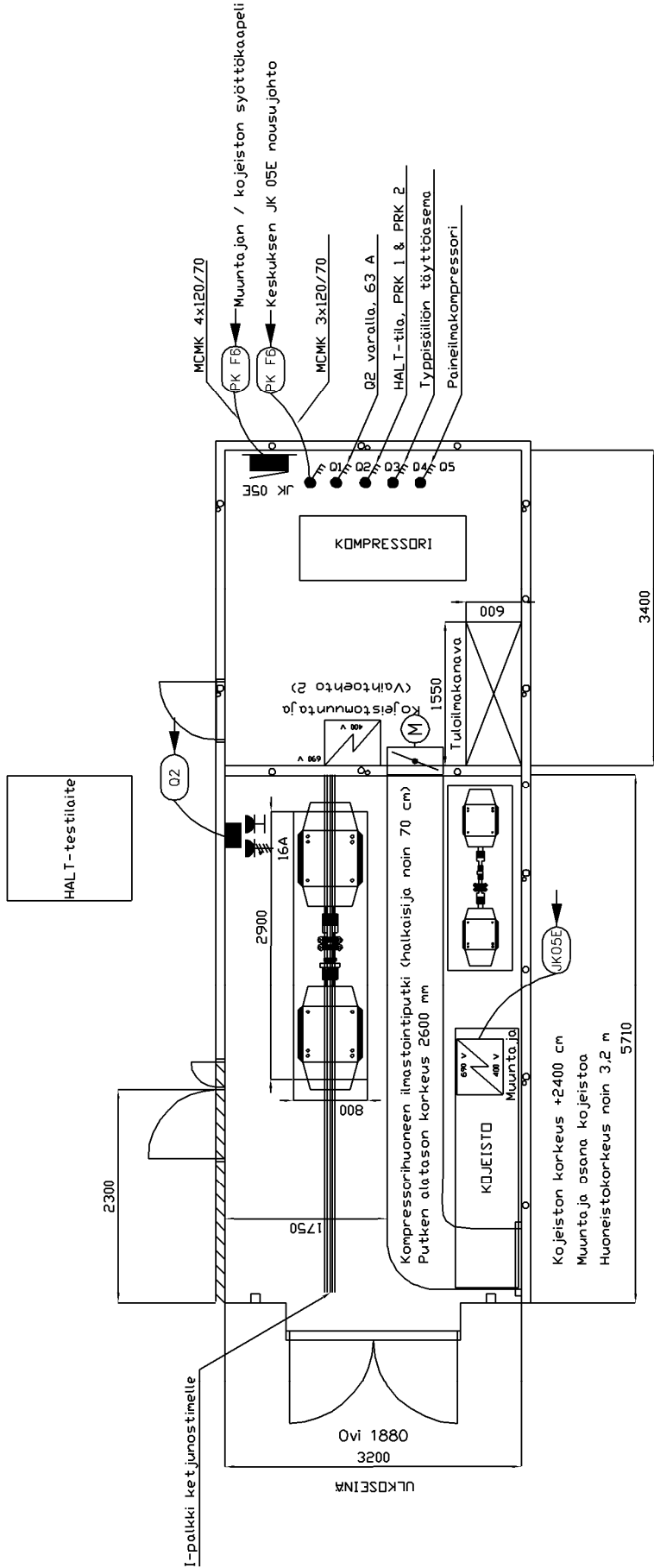
- /37/ Temperature Measurements with Thermocouples: How-To Guide, National Instruments [online]. [viitattu 5.10.2009]. Saatavilla [www-muodossa:<URL:http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7108>](http://www.muodossa:<URL:http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7108>)
- /35/ TOSHIBA VRF -ilmastointijärjestelmän esite [online]. [viitattu 2.12.2009]. Saatavilla [www-muodossa:<URL:http://www.pihapiiri.fi/wmanage/files.ph?download=true&file_id=2491>](http://www.muodossa:<URL:http://www.pihapiiri.fi/wmanage/files.ph?download=true&file_id=2491>)
- /9/ Viitanen, Elina. ACS800 Taajuusmuuttajien vikapuuanalyysi [online]. Tutkintotyö. Pori. 2006 [viitattu 20.5.2009]. Saatavilla [www-muodossa:<URL:https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1051/Viitanen_Elina.pdf?sequence=1>](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1051/Viitanen_Elina.pdf?sequence=1)
- /8/ Virtanen, Tuomas. Jännitteennostomuuntajan mitoitus sähkökonekorjauksen koekentälle [online]. Tutkintotyö. Tampere. 2005 [viitattu 19.11.2009]. Saatavilla [www-muodossa:<URL:https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/4960/TMP.objres.159.pdf?sequence=1>](https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/4960/TMP.objres.159.pdf?sequence=1)
- /17/ Wärtsilä Oyj Abp, Lehistötiedote, 23.1.2008 [online]. [viitattu 17.7.2010]. Saatavilla [www-muodossa:<URL:http://www.wartsila.com/,fi,press,0,pressrelease,5ED2AFBF-B508-4D0B-8208-5FA0299CE148,06882C05-51C5-452F-8B6C-69CB90FBA7A8,,.htm>](http://www.wartsila.com/,fi,press,0,pressrelease,5ED2AFBF-B508-4D0B-8208-5FA0299CE148,06882C05-51C5-452F-8B6C-69CB90FBA7A8,,.htm).

LIITE 1

Valmistaja	KTR	HBM	Datum Electronics
Malli	Dataflex 42	T22	M420-S3
Anturityyppi	Akseli	Akseli	Akseli
Akselin muoto / kiinnitys	Sylinteri (kitkalukitus)	Sylinteri (kitkalukitus)	Kiilaura
Nimell.momentti / Nm	1000	1000	1000
Ylikuorman kesto / Nm	1500	2000	1500
Rikkoutumisraja / Nm	2800	3000	n/a
Nimellispyörimisnopeus	6000	9000	3000
Analogiset lähdöt vakiona	n/a	V ja mA	n/a
Analogiset lähdöt optiona	V ja mA	n/a	V ja mA
Mittaustaajuus / Hz	15 000	n/a	100 / (opt. 20 000)
Mittaustarkkuus / %	0,5	0,2	0,1
Rajaliityntäpinta	Sub-D	CAN / USB	Sub-D / USB
Mittausohjelmisto	Ei	On (Optio)	On
Näyttöyksikkö	Ei	Optio	Optio
Anturin hinta / € / Alv. 0 %	2350	3300	3423
Hinta lisälaitteineen / €	3000	5000	3900
HUOM!	Ei Ohjelmistoa	Moott. aks. max. 40-60 mm	Kytkimet tilattava muualta
Yhteystiedot	pentti.pakarinen@ktr.com	Krister.Langsjö@hbm.com	kari.kukkurainen@straintech.fi

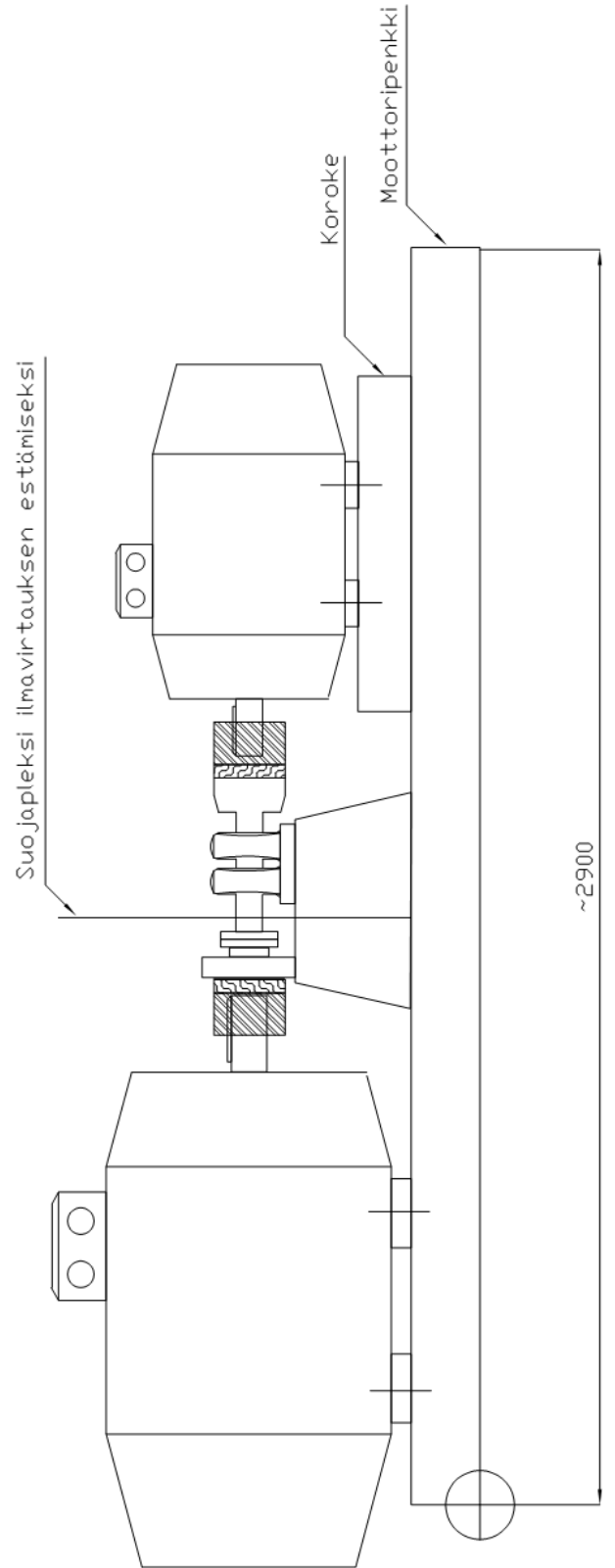
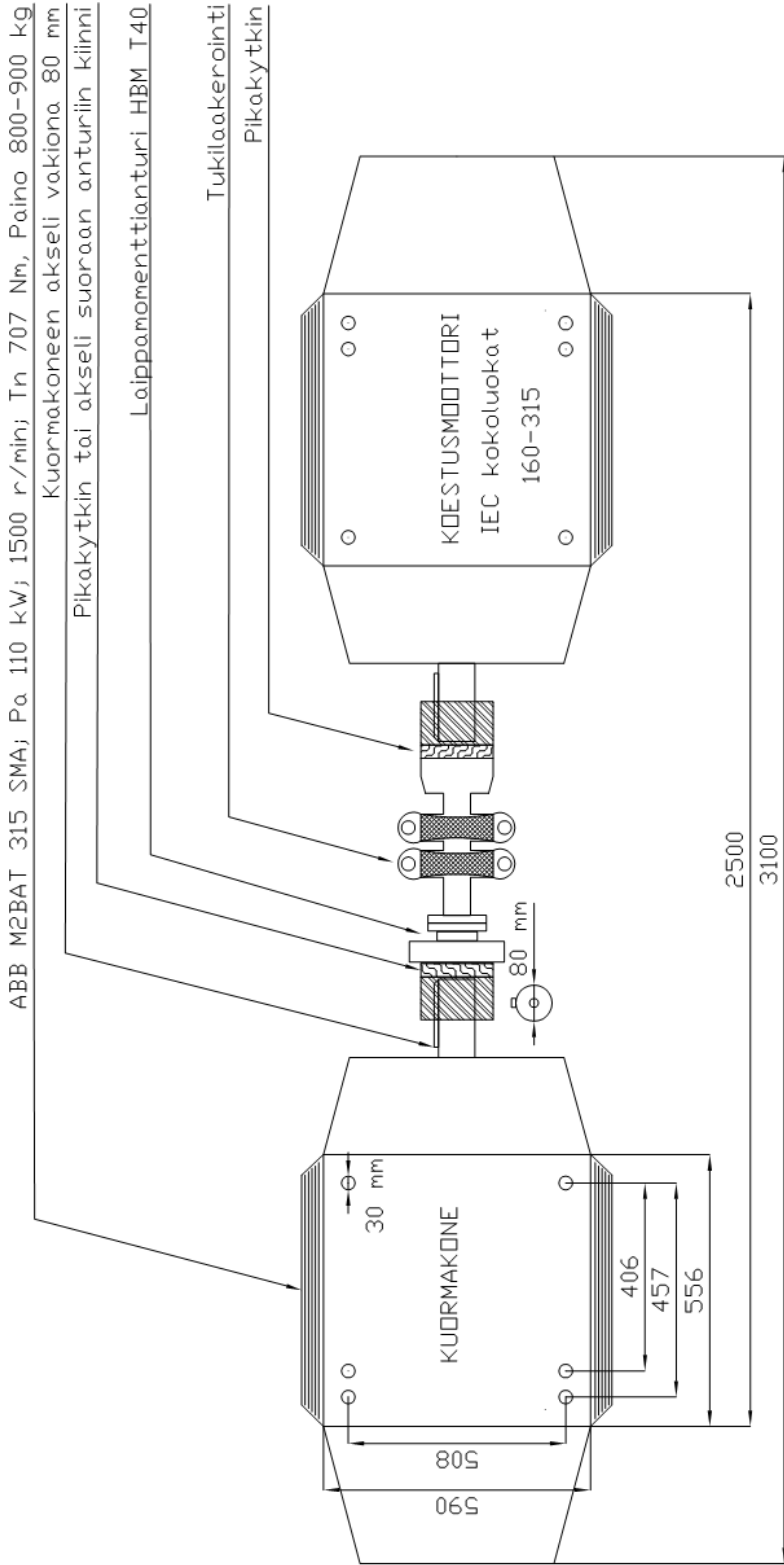
Valmistaja	Datum Electronics	*** HBM ***	Magtrol
Malli	RS420 / FF420	T40	TM314
Anturityyppi	Akseli (kelluva)	Laippa	Akseli
Akselin muoto / kiinnitys	Kiilaura / tappikytkin	Tappikytkin	Kiilaura / moniura
Nimell.momentti / Nm	1000	1000	1000
Ylikuorman kesto / Nm	1500	2000	2000
Rikkoutumisraja / Nm	n/a	>4000	5000
Nimellispyörimisnopeus	6000	20 000	7000
Analogiset lähdöt vakiona	n/a	V ja f	V
Analogiset lähdöt optiona	V ja mA	mA	mA
Mittaustaajuus / Hz	100 / (opt. 20 000)	6 000	20 000
Mittaustarkkuus / %	0,1 (0,05 optiona)	0,05	0,1
Rajaliityntäpinta	Sub-D / USB	USB / (CAN) / (LAN)	Sub-D
Mittausohjelmisto	On	On	On
Näyttöyksikkö	Optio	Optio	Optio
Anturin hinta / € / Alv. 0 %	3423 / 4271	4900	6000
Hinta lisälaitteineen / €	3900 / 4800	5000-6000	12 000
HUOM!	Laakeriton malli M420:sta	Ei tarvitse kytkimiä	Kytkimet 35-70 mm akselille
Yhteystiedot	kari.kukkurainen@straintech.fi	Krister.Langsjö@hbm.com	antti.karvonen@comotest.fi

LIITE 2

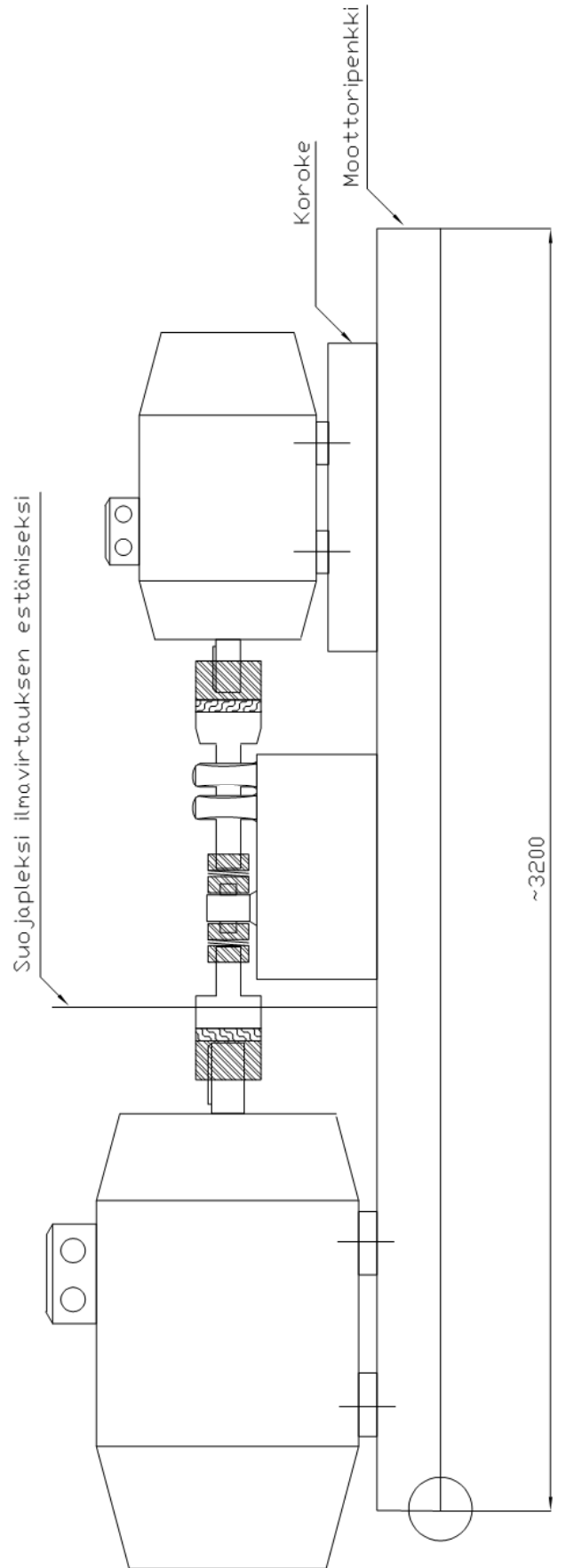
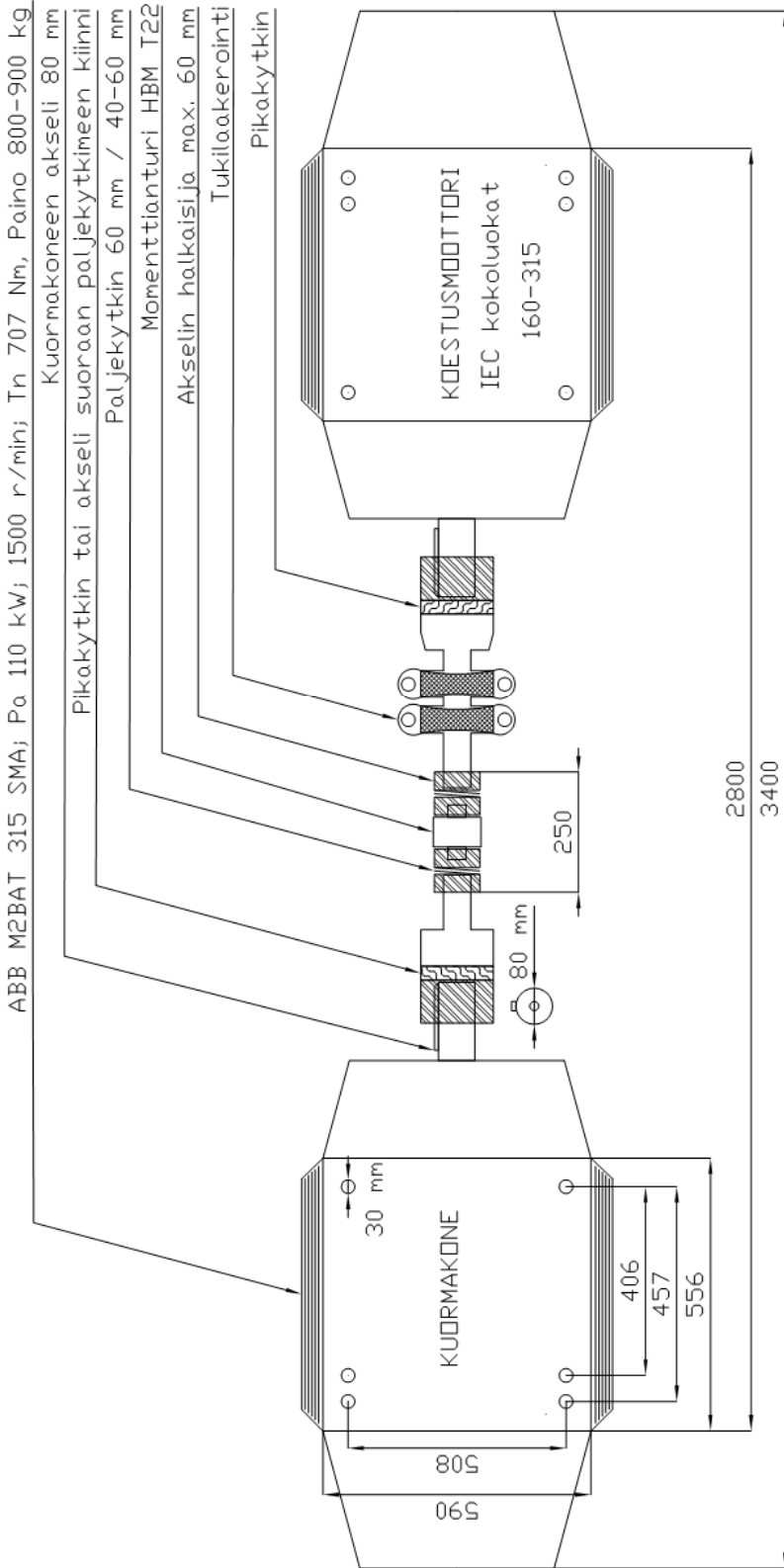


K.O.SA/KYLÄ	KORTTELI/TILA	TOINTI/RYN.O	VIHANNIEMÄN ARKISTOINTIMERKINTÖJÄ VARTEN Piirtäjä: Tuominen Ölii, VAMK	JUOKS. N. O
TOIMENPIDE	LAAJENNUS		PIIRUSTUSLAJI	MITTAKAAVA
RAKENNUSKOHDE	TUTKIMUSKESKUS TECHNOBOTNIA PUUVILLAKUJA 3 65101 VAASA		PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ LÄMPENÄMÄTESTAUSLAITTEISTO MOOTTORIT & TAAJUUSMUUTTAJAT 1. KERROS	1:50
	VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniikka ja liikenne		PAIVÄYS 13.01.2010	MUUTOS
			KOODI PIIRUSTUS N:o TYÖ N:o	
			SÄH 01-10-01	

LIITE 3



LIITE 4



LIITE 5

Kuparijohtiminen PVC-eristeinen häiriösuojattu 1 kV voimakaapeli

KÄYTTÖ

Kiinteään asennukseen sisällä, ulkona ja maahan

Johtimen suurin sallittu lämpötila:

- jatkuvassa käytössä: 70 °C
- vikatilanteessa (kesto enintään 5 s) 160 °C

Alin suositeltu käsittelylämpötila: -15 °C

PALOLUOKITUS

IEC 60332-3-23 kategoria B, eli kaapelit ovat nippuun asennettunakin itsestään sammuvia ja paloa levittämättömiä. Ko. testissä pystyhyllään asennettua kaapelinippua polttokoestetaan 40 minuuttia.

RAKENNE

Johdin	Tiivistetty hehkutettu (AN) helposti taivutettava sektorinmuotoinen kuparijohdin
Eristys	Lyijytön PVC-muovi
Kertaus	Kolme eristettyä vaihejohtinta kerrattu yhteen
PEN-johdin	Kuparinauha ja kuparilankakerros
Vaippa	Musta lyijytön PVC-muovi

VAIHETUNNISTUS

Vaihejohtimet ruskea, musta ja harmaa

MERKINTÄ

Prysmian, tuotteen nimi, valmistusaika, ulkovaipan
materiaalimerkintä, metrimerkintä

STANDARDIT

SFS 4880
HD 603-3F
IEC 60502-1
IEC 60332-3-23 cat B

SERTIFIKAATIT / HYVÄKSYNNÄT

FI (FIMKO)
CE

NIMELLISJÄNNITE

U_{oU} = 0,6/1 kV, U_m = 1,2 kV



Tuotteen nimi			MCCMK 3x25/16 AN 1 kV	MCCMK 3x35/16 AN 1 kV	MCCMK 3x50/25 AN 1 kV	MCCMK 3x70/35 AN 1 kV	MCCMK 3x95/50 AN 1 kV	MCCMK 3x120/70 AN 1 kV	MCCMK 3x150/70 AN 1 kV	MCCMK 3x185/95 AN 1 kV	MCCMK 3x240/120 AN 1 kV
EAN-numero	(SSTL-numero)	64 100+	06 020 58-4	06 020 59-1	06 020 60-7	06 020 61-4	06 020 62-1	06 020 63-8	06 020 64-5	06 020 65-2	06 020 66-9
Tullikoodi	8544 49 91										
RAKENNETIETOJA											
Kaapelin ulkohalkaisija (1)	mm		22	24	27	31	36	38	42	47	53
Massa (1)	kupari	kg/km	800	1050	1460	2100	2920	3730	4500	5750	7500
	kaapeli	kg/km	1150	1450	1950	2650	3700	4600	5550	7050	9050
TOIMITUSTIETOJA											
Vakiotoimituspituus	m		500	500	500	500	500	500	500	500	500
Toimituskela			K11	K11	K12	K14	K16	K18	K18	K20	K24
Massa (1)	kaapeli+kela	kg	680	780	1065	1440	2045	2530	3005	3865	4975
MEKAANISIA ARVOJA (2)											
Pienin sallittu taivutussäde asennusvedossa	m		0,27	0,29	0,34	0,38	0,44	0,46	0,51	0,57	0,64
Pienin sallittu taivutussäde lopullisessa asennuksessa (3)	m		0,19	0,21	0,24	0,26	0,30	0,33	0,35	0,40	0,45
Suurin sallittu asennusvetovoima vetosukalla	kN		1,1	1,5	2,2	3,1	4,2	5,4	6,7	8,3	8,5
Suurin sallittu asennusvetovoima vetopäällä	kN		7,5	10,5	15,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
SÄHKÖISIÄ ARVOJA (2)											
Vaihejohtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20°C	Ω/km	0,727	0,524	0,387	0,268	0,193	0,153	0,124	0,0991	0,0754
Vaihejohtimen vaihtovirtaresistanssi (1)	johdin 70°C	Ω/km	0,87	0,63	0,47	0,32	0,23	0,19	0,15	0,12	0,097
PEN-johtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20°C	Ω/km	1,15	1,15	0,727	0,524	0,387	0,268	0,268	0,193	0,153
Induktanssi vaihetta kohti (1)		mH/km	0,26	0,26	0,25	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23
Käyttökapasitanssi (1)		µF/km	0,45	0,55	0,60	0,65	0,75	0,80	0,80	0,85	0,85
KUORMITETTAVUUS (2)											
Maassa	johdin 70°C	A	130	160	190	240	285	325	370	420	480
Ilmassa (B)	johdin 70°C	A	107	135	160	200	245	280	320	365	425
TERMINEN OIKOSULKUKESTOISUUS (2)											
Suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta	vaihejohdin (4)	kA	2,8	4,0	5,7	8,0	10,9	13,7	17,2	21,2	27,5
	PEN-johdin (5)	kA	2,6	2,6	4,4	5,7	7,2	10,4	10,4	13,4	16,6

(1) Likiarvo

(2) Katso taulukkoarvojen lähtöolettamukset kappaleesta Yleistä tuotetietoa.

(3) Taivutus on tehtävä varovaisena ja tasaisena kertataivutuksena.

(4) Johtimen lämpötila on ennen oikosulkua 70°C ja oikosulun päättyessä 160°C.

(5) PEN-johtimen lämpötila on ennen oikosulkua 65°C ja oikosulun päättyessä enintään 250°C.

LIITE 6



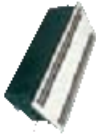


ACS800-04 size	Nominal ratings		No-overload use	Light-overload use		Heavy-duty use		Frame size	Air flow m ³ /h	Heat dissipation W
	$I_{cont,max}$ A	I_{max} A	$P_{cont,max}$ kW	I_{2N} A	P_N kW	I_{2hd} A	P_{hd} kW			
Three-phase supply voltage 380 V, 400 V or 415 V										
-0003-3	5.1	6.5	1.5	4.7	1.5	3.4	1.1	R2	35	100
-0004-3	6.5	8.2	2.2	5.9	2.2	4.3	1.5	R2	35	120
-0005-3	8.5	10.8	3	7.7	3	5.7	2.2	R2	35	140
-0006-3	10.9	13.8	4	10.2	4	7.5	3	R2	35	160
-0009-3	13.9	17.6	5.5	12.7	5.5	9.3	4	R2	35	200
-0011-3	19	24	7.5	18	7.5	14	5.5	R3	69	250
-0016-3	25	32	11	24	11	19	7.5	R3	69	340
-0020-3	34	46	15	31	15	23	11	R3	69	440
-0023-3	40	46	22	39	18.5	28	15	R3	69	520
-0025-3	44	62	22	41	18.5	32	15	R4	103	530
-0030-3	55	72	30	50	22	37	18.5	R4	103	610
-0035-3	59	72	30	57	30	41	22	R4	103	660
-0040-3	72	86	37	69	30	49	22	R5	168	810
-0050-3	86	112	45	80	37	60	30	R5	168	990
-0060-3	103	138	55	100	55	69	37	R5	168	1190
-0070-3	141	164	75	132	55	97	45	R6	405	1440
-0100-3	166	202	90	155	75	115	55	R6	405	1940
-0120-3	202	282	110	184	90	141	75	R6	405	2310
-0135-3	225	326	110	220	110	163	90	R6	405	2810
-0165-3	260	326	132	254	132	215	110	R6	405	3260

ACS800-04 size	Nominal ratings		No-overload use	Light-overload use		Heavy-duty use		Frame size	Air flow m ³ /h	Heat dissipation W
	$I_{cont,max}$ A	I_{max} A	$P_{cont,max}$ kW	I_{2N} A	P_N kW	I_{2hd} A	P_{hd} kW			
Three-phase supply voltage 525 V, 550 V, 575 V, 600 V, 660 V or 690 V										
-0011-7	13	14	11	11.5	7.5	8.5	5.5	R4	103	300
-0016-7	17	19	15	15	11	11	7.5	R4	103	340
-0020-7	22	28	18.5	20	15	15	11	R4	103	440
-0025-7	25	38	22	23	18.5	19	15	R4	103	530
-0030-7	33	44	30	30	22	22	18.5	R4	103	610
-0040-7	36	54	30	34	30	27	22	R4	103	690
-0050-7	51	68	45	46	37	34	30	R5	250	840
-0060-7	57	84	55	52	45	42	37	R5	250	1010
-0070-7	79	104	75	73	55	54	45	R6	405	1220
-0100-7	93	124	90	86	75	62	55	R6	405	1650
-0120-7	113	172	110	108	90	86	75	R6	405	1960
-0145-7	134	190	132	125	110	95	90	R6	405	2660
-0175-7	166	245	160	155	132	131	110	R6	405	3470
-0205-7	190	245	160	180	160	147	132	R6	405	4180

LIITE 7

ACS800-31 size	Nominal ratings		No-overload use $P_{cont.max}$ kW	Light-overload use		Heavy-duty use		Frame size	Air flow m ³ /h	Heat dissipation W
	$I_{cont.max}$ A	I_{max} A		I_{2N} A	P_N kW	I_{2hd} A	P_{hd} kW			
Three-phase supply voltage 208 V, 220 V, 230 V or 240 V										
-0011-2	34	52	7.5	32	7.5	26	5.5	R5	350	505
-0016-2	47	68	11	45	11	38	7.5	R5	350	694
-0020-2	59	90	15	56	15	45	11	R5	350	910
-0025-2	75	118	22	69	18.5	59	15	R5	350	1099
-0030-2	88	144	22	83	22	72	18.5	R5	350	1315
-0040-2	120	168	37	114	30	84	22	R6	405	1585
-0050-2	150	234	45	143	45	117	30	R6	405	2125
-0060-2	169	264	45	157	45	132	37	R6	405	2530
Three-phase supply voltage 380 V, 400 V or 415 V										
-0016-3	34	52	15	32	15	26	11	R5	350	550
-0020-3	38	61	18.5	36	18.5	34	15	R5	350	655
-0025-3	47	68	22	45	22	38	18.5	R5	350	760
-0030-3	59	90	30	56	30	45	22	R5	350	1000
-0040-3	72	118	37	69	37	59	30	R5	350	1210
-0050-3	86	144	45	83	45	65	30	R5	350	1450
-0060-3	120	168	55	114	55	88	45	R6	405	1750
-0070-3	150	234	75	143	75	117	55	R6	405	2350
-0100-3	165	264	90	157	75	132	75	R6	405	2800
Three-phase supply voltage 380 V, 400 V, 415 V, 440 V, 460 V, 480 V or 500 V										
-0020-5	31	52	18.5	29	18.5	25	15	R5	350	655
-0025-5	36	61	22	34	22	30	18.5	R5	350	760
-0030-5	47	68	30	45	30	37	22	R5	350	1000
-0040-5	58	90	37	55	37	47	30	R5	350	1210
-0050-5	70	118	45	67	45	57	37	R5	350	1450
-0060-5	82	144	55	78	45	62	37	R5	350	1750
-0070-5	120	168	75	114	75	88	55	R6	405	2350
-0100-5	139	234	90	132	90	114	75	R6	405	2800
-0120-5	156	264	110	148	90	125	75	R6	405	3400
Three-phase supply voltage 525 V, 550 V, 575 V, 600 V, 660 V or 690 V										
-0060-7	57	86	55	54	45	43	37	R6	405	1750
-0070-7	79	120	75	75	55	60	55	R6	405	2350
-0100-7	93	142	90	88	75	71	55	R6	405	2800

LIITE 8

Mallityyppi	Mallinimi	MINI-SMMS	SMMS ja SHRM	Teho-koodi	Jäähdytys-teho	Lämmitys-teho	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Syvyys (mm)	Paino (kg)	
4-suuntainen kasettimalli 	MMU-AP0091H	●	●	1	2,8	3,2				20	
	MMU-AP0121H	●	●	1,25	3,6	4,0				22	
	MMU-AP0151H	●	●	1,7	4,5	5,0		840			
	MMU-AP0181H	●	●	2	5,6	6,3	256			23	
	MMU-AP0241H	●	●	2,5	7,1	8,0					
	MMU-AP0271H	●	●	3	8,0	9,0					
	MMU-AP0301H	●	●	3,2	9,0	10,0				28	
	MMU-AP0361H	●	●	4	11,2	12,5	319	840			
	MMU-AP0481H	●	●	5	14,0	16,0					
	MMU-AP0561H	●	●	6	16,0	18,0					
	Pienikokoinen 4-suuntainen kasettimalli 	MMU-AP0071MH	●	●	0,8	2,2	2,5				17
		MMU-AP0091MH	●	●	1	2,8	3,2				
MMU-AP0121MH		●	●	1,25	3,6	4,0					
MMU-AP0151MH		●	●	1,7	4,5	5,0	268	575			
MMU-AP0181MH		●	●	2	5,6	6,3					
MMU-AP0271MH		●	●	2	5,6	6,3					
2-suuntainen kasettimalli 	MMU-AP0071WH	●	●	0,8	2,2	2,5		830		33	
	MMU-AP0091WH	●	●	1	2,8	3,2					
	MMU-AP0121WH	●	●	1,25	3,6	4,0				44	
	MMU-AP0151WH	●	●	1,7	4,5	5,0	398		550		
	MMU-AP0181WH	●	●	2	5,6	6,3		1350			
	MMU-AP0241WH	●	●	2,5	7,1	8,0				48	
	MMU-AP0271WH	●	●	3	8,0	9,0					
	MMU-AP0301WH	●	●	3,2	9,0	10,0				22	
	MMU-AP0071YH	●	●	0,8	2,2	2,5					
	MMU-AP0091YH	●	●	1	2,8	3,2	235	850	400		
	MMU-AP0121YH	●	●	1,25	3,6	4,0					
	MMU-AP0152SH	●	●	1,7	4,5	5,0					
MMU-AP0182SH	●	●	2	5,6	6,3	200	1000	710			
MMU-AP0242SH	●	●	2,5	7,1	8,0						
Kattomalli 	MMC-AP0151H	●	●	1,7	4,5	5,0		910		21	
	MMC-AP0181H	●	●	2	5,6	6,3					
	MMC-AP0241H	●	●	2,5	7,1	8,0	210	1180	680	25	
	MMC-AP0271H	●	●	3	8,0	9,0					
	MMC-AP0361H	●	●	4	11,2	12,5		1595		33	
MMC-AP0481H	●	●	5	14,0	16,0				11		
MMK-AP0072H	●	●	0,8	2,2	2,5	275	790	208			
MMK-AP0092H	●	●	1	2,8	3,2						
MMK-AP0122H	●	●	1,25	3,6	4,0						
MMK-AP0071H	●	●	0,8	2,2	2,5						
MMK-AP0091H	●	●	1	2,8	3,2		895				
High wall 	MMK-AP0121H	●	●	1,25	3,6	4,0	368		210	18	
	MMK-AP0151H	●	●	1,7	4,5	5,0		1055			
	MMK-AP0181H	●	●	2	5,6	6,3		1430		19	
	MMK-AP0241H	●	●	2,5	7,1	8,0					

LIITE 9

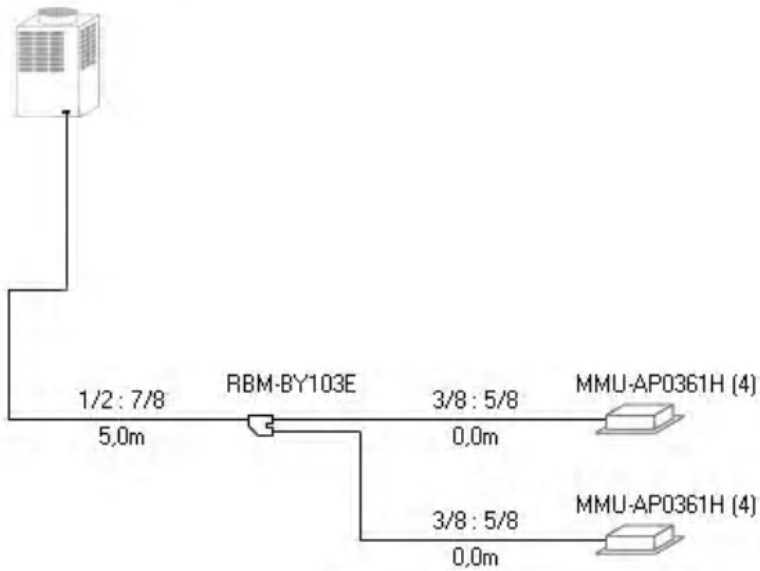
TOSHIBA



Piping Schematic 12. tammikuuta 2010

PROJECT: 20 kW
SYSTEM: 1
Indoor Units : 2 of 13
Capacity : 8 of 8 (100,00 %)
Total Pipe 5 of 300m
Actual Cooling (Tot/Sens) 21,28 kW / 16,13 kW
Required Cooling (Tot/Sens) 20,00 kW / ?
Building Diversity (Clg) 0 %
(? = Incomplete information)

MMY-MAP0801T8



LIITE 10



HBM Finland

Kuunsäde 2 E
02210 Espoo
Finland
Puh.: +358 9 229 30150
Fax: +358 9 229 30110
<http://www.hbm.com>

Laatinut:

Krister Langsjo
Puh.: 0500 622 641
Fax: 09 229 30150
Sähköposti: Krister.Langsjo@hbm.com
Myynti-insinööri:
Krister Langsjo
Puh.: 0500 622 641
Fax: 09 229 30150
Sähköposti: Krister.Langsjo@hbm.com

HBM Finland · Kuunsäde 2 E · 02210 Espoo · Finland

Vaasan ammattikorkeakoulu
Kari Jokinen
Wolffintie 30
65200 Vaasa

Tarjous: 9999115918 - T22

14.04.2009

Kiitämme kyselystänne ja tarjoamme teille seuraavaa.

Pos	Tuote	Määrä	Yks. hinta	Kok. hinta
10	1-T22/1KNM Torque transducer nominal (rated) torque: 1 kNm strain gage measuring system nominal (rated) speed: 9,000 rpm accuracy class: 0.5 measurement signal transmission: contactless torque output signal: +/- 5V and 10 +/- 8 mA supply voltage: 11.5 - 30 V DC / 0.2 A electrical connection via 12-pin male device connector	1	1.767,00 EUR	1.767,00 EUR
20	3-3301.0158 Transducer connection cable, 680-free ends, 5 m	1	109,00 EUR	109,00 EUR
30	3-3312.0268 Cable socket 12POL. SER.680 AU	1	20,00 EUR	20,00 EUR
40	3-4412.0022 Bellows coupling for T22/500...1000 NM torque transducer. Please specify the diameter of the connection hole on the	2	696,00 EUR	1.392,00 EUR

14.04.2009

Pos	Tuote	Määrä	Yks. hinta	Kok. hinta
	customer side in your order.			
50	Valinnainen 1-MP01 DC voltage amplifier for 4 channel voltage current or thermocouple or 2 channels resistance or Pt100 measurement frequency range up to 250HZ 2 peak value stores, 4 limit switches 4 remote inputs, 4 remote outputs Accuracy class 0.1; alphanumeric LCD display touch-sensitive keypad with 3 pressure-sensitive keys CAN-communication interface module for support rail mounting to DIN EN 50022, degree of protection IP20 supply voltage 18 - 30 V DC	1	1.155,00 EUR	1.155,00 EUR
60	Valinnainen 1-PME-SETUP-USB PME-Setup-USB for the configuration of the PME-modules MPxx via USB interface consisting of: - PME-Setup Program for Windows 98/ME/2000/XP graphical user interface, in German, English and french language - CAN/USB adapter - connecting cable CAN-Adapter/PME	1	418,00 EUR	418,00 EUR
Tuotteet yhteensä				3.288,00 EUR
Kokonaishinta				3.288,00 EUR

14.04.2009

Kaikki hinnat ilman ALV.
Kokonaissumma ei sisällä tarjousta optioista eikä vaihtoehtoisista tuotteista.
Kun tilaus on alle 1000,- EUR , veloitamme 30,- EUR käsittelykuluja.

Toimitusaika: 2-3 viikkoa
tilauksen vastaanotosta. Toimitusajat määräytyvät varastotilanteen mukaan.

Toimitusehdot: Delivered Duty Unpaid

Toimituspaikka: Vaasa

Maksuehdot: WITHIN 30 DAYS DUE NET

Voimassaolo: 13.07.2009

Palvelut:

Tämä tarjous ei sisällä HBM:n tuotevalikoiman sopeuttamista asiakkaan laitteiston mukaiseksi asennuspaikalla.

Tekniset muutokset:

HBM pidättää oikeuden tehdä teknisiä muutoksia tämän tarjouksen sisältämiin muuntimiin, laitteistoihin ja ohjelmistoihin. Kaikki tuotekuvaukset on tehty ainoastaan yleisessä muodossa. HBM ei tämän vuoksi vastaa vahingosta, joka on aiheutunut sen vuoksi, että tuote poikkeaa tämän tarjouksen mukaisesta tuotekuvauksesta.

Takuu:

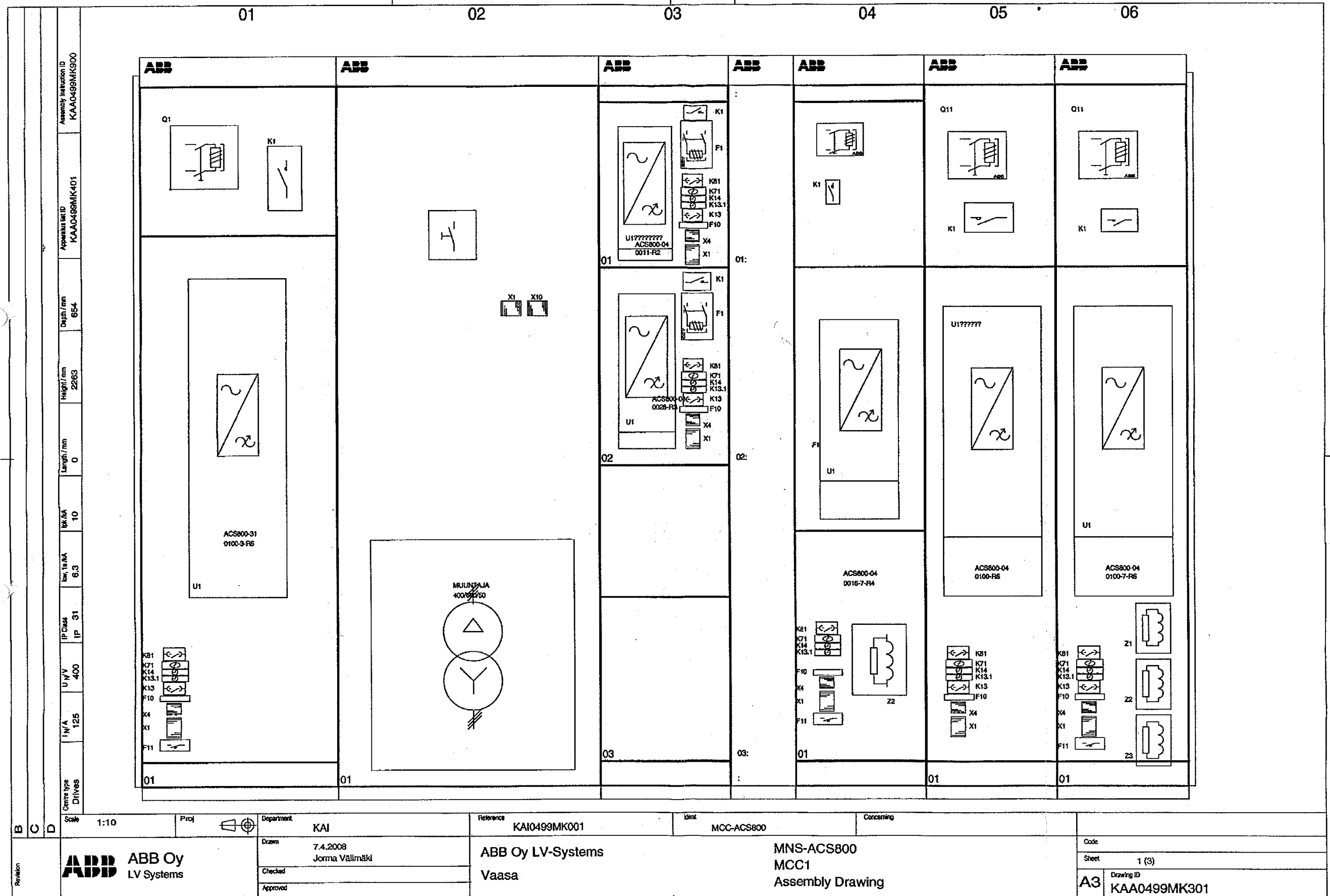
Kolme vuotta kaikilla HBM sarjatuotteilla. Ohjelmistoihin ja erityisesti valmistettuihin sekä tilaustyönä tehtyihin tuotteisiin sovelletaan erityisehtoja.

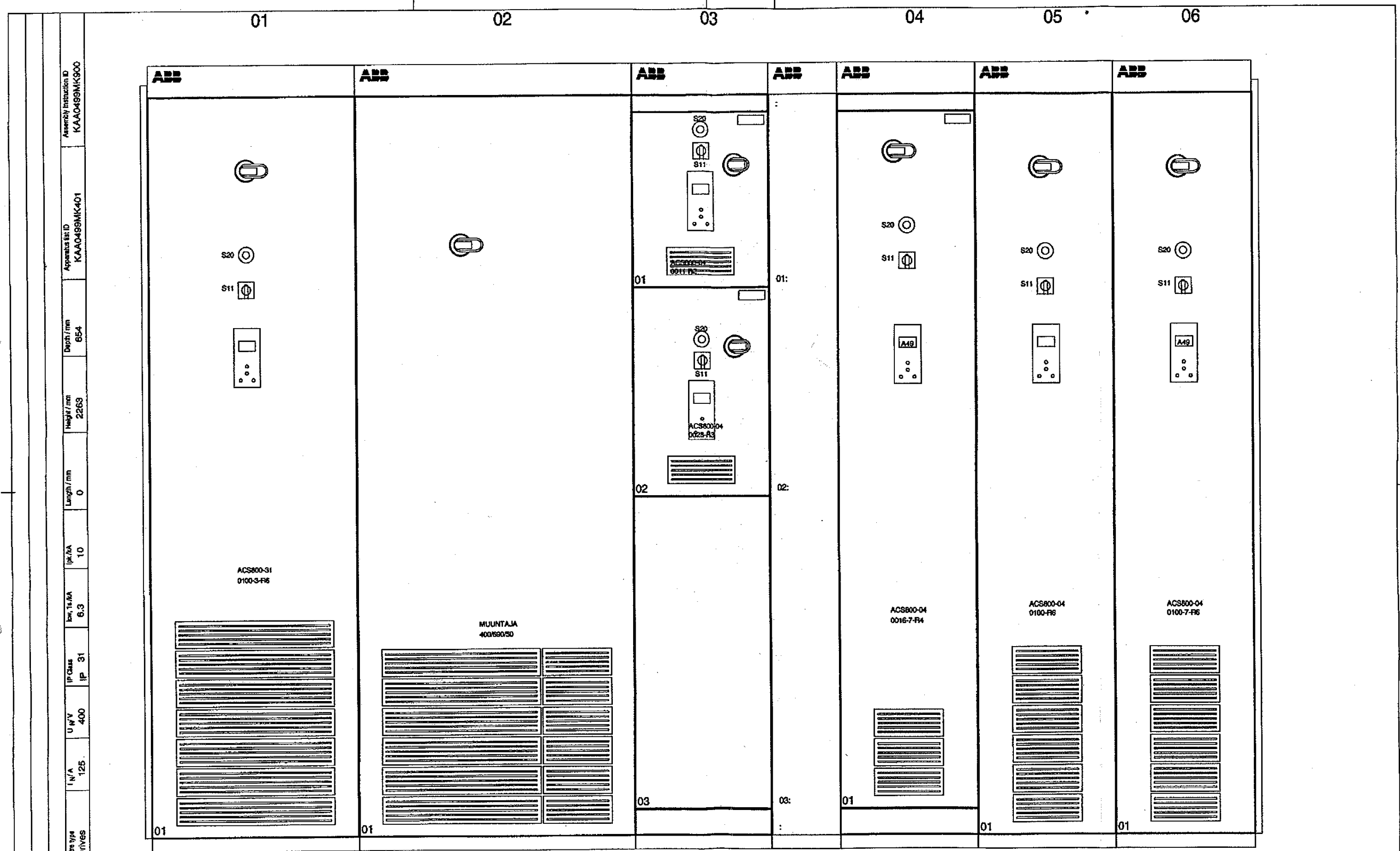
Vienti:

Mikäli HBM:n toimittamia tuotteita viedään/jälleenviedään, tulee itsenäisesti tarkastaa kaksikäyttötuotteiden ja -teknologian vientiä koskevan yhteisön valvontajärjestelmän perustamisesta annetun neuvoston asetuksen (EY) N:o 1334/2000 4 artiklan ja/tai kansalliset vientirajoitusmääräykset ja/tai osin tai kokonaan Amerikan Yhdysvalloista peräisin olevien tuotteiden kohdalla Amerikan Yhdysvaltojen vientirajoitusmääräykset.

Myynnin vakioehdot:

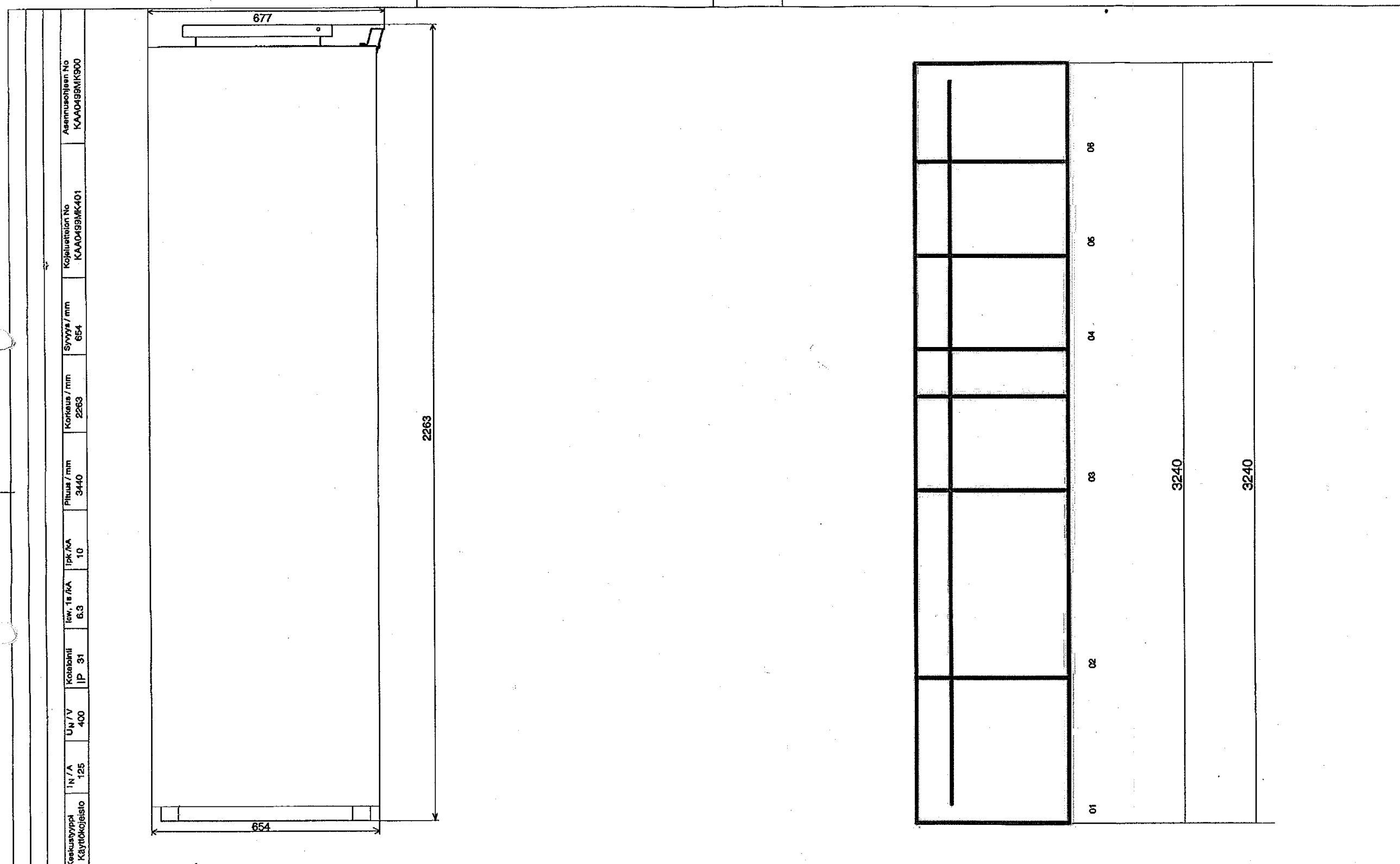
Kaikkeen liiketoimintaan sovelletaan Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH:n myynnin vakioehtoja. Voimassa olevat myynnin vakioehdot ovat ladattavissa Internet-sivuiltamme <http://www.hbm.com/en/menu/about-us/terms-conditions>.





Revision	Scale	1:10	Proj		Department	KAI	Reference	KAI0499MK001	Ident	MCC-ACS800	Concerning		Code	
					Drawn	7.4.2008 Jorma Väilmäki		ABB Oy LV-Systems		MNS-ACS800			Sheet	2 (3)
					Checked			Vaasa		MCC1			Drawing ID	KAA0499MK301
					Approved					Assembly Drawing			A3	





Mittaus	<table border="1"> <tr> <td>Käytettyköpi Käyttökohde</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>U_N / V</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>Korotus IP</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>low. Is / kA</td> <td>6.3</td> </tr> <tr> <td>Isk / kA</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Pituus / mm</td> <td>3440</td> </tr> <tr> <td>Korkeus / mm</td> <td>2263</td> </tr> <tr> <td>Syvyys / mm</td> <td>654</td> </tr> <tr> <td>Kojelaitteen No</td> <td>CAA0499MK401</td> </tr> <tr> <td>Asennusohjeen No</td> <td>CAA0499MK900</td> </tr> </table>	Käytettyköpi Käyttökohde	125	U _N / V	400	Korotus IP	31	low. Is / kA	6.3	Isk / kA	10	Pituus / mm	3440	Korkeus / mm	2263	Syvyys / mm	654	Kojelaitteen No	CAA0499MK401	Asennusohjeen No	CAA0499MK900	<table border="1"> <tr> <td>Proj</td> <td> </td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Osasto</td> <td>KAI</td> </tr> <tr> <td>Tekijä</td> <td>7.4.2008 Jorma Vallimäki</td> </tr> <tr> <td>Tarkastaja</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hyväksyjä</td> <td></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>Suudo</td> <td>1:10</td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Työnumero</td> <td>KAI0499MK001</td> </tr> <tr> <td>Tunnus</td> <td>MCC-ACS800</td> </tr> <tr> <td>Lisäty</td> <td></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>ABB</td> <td>ABB Oy LV Systems</td> <td> <table border="1"> <tr> <td>ABB Oy LV-Systems</td> <td>MNS-ACS800 MCC1 Assembly Drawing</td> </tr> <tr> <td>Vaasa</td> <td></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Koodi / Kirjaus</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lehti</td> <td>3 (3)</td> </tr> <tr> <td>Piirustus No</td> <td>AAA0499MK301</td> </tr> <tr> <td>A3</td> <td></td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	Proj		<table border="1"> <tr> <td>Osasto</td> <td>KAI</td> </tr> <tr> <td>Tekijä</td> <td>7.4.2008 Jorma Vallimäki</td> </tr> <tr> <td>Tarkastaja</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hyväksyjä</td> <td></td> </tr> </table>	Osasto	KAI	Tekijä	7.4.2008 Jorma Vallimäki	Tarkastaja		Hyväksyjä		Suudo	1:10	<table border="1"> <tr> <td>Työnumero</td> <td>KAI0499MK001</td> </tr> <tr> <td>Tunnus</td> <td>MCC-ACS800</td> </tr> <tr> <td>Lisäty</td> <td></td> </tr> </table>	Työnumero	KAI0499MK001	Tunnus	MCC-ACS800	Lisäty		ABB	ABB Oy LV Systems	<table border="1"> <tr> <td>ABB Oy LV-Systems</td> <td>MNS-ACS800 MCC1 Assembly Drawing</td> </tr> <tr> <td>Vaasa</td> <td></td> </tr> </table>	ABB Oy LV-Systems	MNS-ACS800 MCC1 Assembly Drawing	Vaasa				<table border="1"> <tr> <td>Koodi / Kirjaus</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lehti</td> <td>3 (3)</td> </tr> <tr> <td>Piirustus No</td> <td>AAA0499MK301</td> </tr> <tr> <td>A3</td> <td></td> </tr> </table>	Koodi / Kirjaus		Lehti	3 (3)	Piirustus No	AAA0499MK301	A3	
	Käytettyköpi Käyttökohde	125																																																										
	U _N / V	400																																																										
	Korotus IP	31																																																										
low. Is / kA	6.3																																																											
Isk / kA	10																																																											
Pituus / mm	3440																																																											
Korkeus / mm	2263																																																											
Syvyys / mm	654																																																											
Kojelaitteen No	CAA0499MK401																																																											
Asennusohjeen No	CAA0499MK900																																																											
Proj		<table border="1"> <tr> <td>Osasto</td> <td>KAI</td> </tr> <tr> <td>Tekijä</td> <td>7.4.2008 Jorma Vallimäki</td> </tr> <tr> <td>Tarkastaja</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hyväksyjä</td> <td></td> </tr> </table>	Osasto	KAI	Tekijä	7.4.2008 Jorma Vallimäki	Tarkastaja		Hyväksyjä																																																			
Osasto	KAI																																																											
Tekijä	7.4.2008 Jorma Vallimäki																																																											
Tarkastaja																																																												
Hyväksyjä																																																												
Suudo	1:10	<table border="1"> <tr> <td>Työnumero</td> <td>KAI0499MK001</td> </tr> <tr> <td>Tunnus</td> <td>MCC-ACS800</td> </tr> <tr> <td>Lisäty</td> <td></td> </tr> </table>	Työnumero	KAI0499MK001	Tunnus	MCC-ACS800	Lisäty																																																					
Työnumero	KAI0499MK001																																																											
Tunnus	MCC-ACS800																																																											
Lisäty																																																												
ABB	ABB Oy LV Systems	<table border="1"> <tr> <td>ABB Oy LV-Systems</td> <td>MNS-ACS800 MCC1 Assembly Drawing</td> </tr> <tr> <td>Vaasa</td> <td></td> </tr> </table>	ABB Oy LV-Systems	MNS-ACS800 MCC1 Assembly Drawing	Vaasa																																																							
ABB Oy LV-Systems	MNS-ACS800 MCC1 Assembly Drawing																																																											
Vaasa																																																												
		<table border="1"> <tr> <td>Koodi / Kirjaus</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lehti</td> <td>3 (3)</td> </tr> <tr> <td>Piirustus No</td> <td>AAA0499MK301</td> </tr> <tr> <td>A3</td> <td></td> </tr> </table>	Koodi / Kirjaus		Lehti	3 (3)	Piirustus No	AAA0499MK301	A3																																																			
Koodi / Kirjaus																																																												
Lehti	3 (3)																																																											
Piirustus No	AAA0499MK301																																																											
A3																																																												