

Sähkömoottoreiden koestuskentän suunnittelu

Jarmo Seppänen

Teollisuuden ja luonnonvaran osaamisalan opinnäytetyö
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2014

ALKUSANAT

Haluan kiittää ABB Oy Service Oulun yksikön johtoa erittäin mielenkiintoisesta, opettavasta ja haastavasta opinnäytetyön aiheesta. Lisäksi haluan kiittää ABB Oy Service:n ja Oulun Teollisuuskojeistot Oy:n henkilökuntaa saamastani avusta ja ohjauksesta.

Kiitän hyvää yhteistyötä Esko Törmäkangasta, joka rakensi ja käyttöönnotti koestuskentän opinnäytetyönään. Koulun opettajakuntaa kiitän saamistani tiedoista, jotka mahdollistivat opinnäytetyöni valmistumisen.

Erityisesti haluan kiittää perhettäni heidän kärsivällisyydestään ja saamastani tuesta, pitkään kestäneen ja aikaa vieneen opiskelun ja opinnäytetyön ajan.

Kempeleessä 3.6.2014

Jarmo Seppänen

TIIVISTELMÄ

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU, Tekniikan koulutusala

Koulutusohjelma:	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä(t):	Jarmo Seppänen
Opinnäytetyön nimi:	Sähkömoottoreiden koestuskentän suunnittelu
Sivuja (joista liitesivuja):	267 (161)
Päiväys:	3.6.2014
Opinnäytetyön ohjaaja(t):	DI Jaakko Etto Lapin AMK Ins. Aila Petäjäjärvi Lapin AMK Kalle Rantala ABB Oy
<p>Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella ABB Oy Service Oulun sähkökonekorjaamolle uusi sähkömoottoreiden koekäyttökenttä. Työn tavoitteena oli laatia järjestelmän sähkötekniset, tila- ja layoutsuunnitelmat, joiden perusteella toimeksiantaja voi rakentaa tehokkaamman, nykyaikaisemman ja monipuolisemman koekäyttöjärjestelmän.</p> <p>Työn määrittelyvaiheessa selvitettiin tekniset reunaehdot, toimeksiantajan määrittämät toiminnalliset ja suorituskykyvaatimukset, käytettävissä olevat tilat ja mahdolliset toteutusta rajoittavat tekijät. Suunnitelmat tehtiin järjestelmän mitoitus-, suojausten, asennusten, komponenttivalintojen, turvallisuuden ja dokumentoinnin osalta noudattaen voimassa olevia lakeja ja standardeja sekä toimeksiantajan käyttäjävaatimuksia.</p> <p>Suunnitteluvaiheessa tehtiin tarvittavat mitoituslaskelmat, suojaustarkastelut, laite- ja toimittajavalinnat, sekä tuotettiin tarvittava sähkötekniikan dokumentaatio hankintoja ja asennustöitä varten. Opinnäytetyössä saavutettiin sille asetetut tavoitteet ja tuotetut suunnitelmat vastasivat toimeksiantajan määrittelemiä käyttäjävaatimuksia.</p>	
<p>Asiasanat: koestus, oikosulkuvirta, sähkömoottori, sähkösuunnittelu, sähköverkko, taajuusmuuttaja, tasasähkökäyttö.</p>	

ABSTRACT

LAPLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme:	Electrical Engineering
Author(s):	Jarmo Seppänen
Thesis title:	Design of Electric Motor Test Field
Pages (of which appendixes):	267 (161)
Date:	3 June 2014
Thesis instructor(s):	Jaakko Etto, M.Sc (Tech.) Aila Petäjäjärvi, B.Sc (Tech.) Kalle Rantala, ABB Co.
<p>The objective of this thesis was to design a new test field of electric motors for ABB Corporation Service in Oulu. The aim of the this work was to create design documentation for the test system incorporating the electrical engineering, space and layout design, the basis of which the client can build a more efficient, modern and versatile test system.</p> <p>There were found out the technical boundary conditions, the functional and performance requirements defined by the client organization, the available facilities and the possible limiting factors of the implementation in the definition phase. Plans for the electrical dimensioning, protection, safety and documentation were made obeying valid laws and standards as well as the client's user requirements.</p> <p>The requisite electrical dimensioning calculations, protection reviews and equipment / supplier selections were made in the design phase. During this phase the requisite electro technical documentation for procurement and installation work were also created. The objectives were achieved and met the requirements defined by the client in this thesis.</p>	
<p>Keywords: testing, short-circuit current, electric motor, electrical engineering, grid drive module, converter module.</p>	

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	8
1 JOHDANTO	9
2 SUUNNITTELUPROSESSI.....	11
3 MÄÄRITTELYVAIHE	13
3.1 Esisuunnittelu.....	13
3.1.1 Käyttäjävaatimukset koekäyttöjärjestelmän suorituskyvylle.....	14
3.1.2 Käyttäjävaatimukset ohjaukselle, mittaukselle ja dokumentoinnille.....	14
3.1.3 Tilamäärittely ja turvallisuusvaatimukset	15
3.2 Perussuunnittelu	15
3.2.1 Käyttäjävaatimus 1 ja laitevalinnat	16
3.2.2 Käyttäjävaatimukset 2-5 ja laitevalinnat	19
3.2.3 EMC/RFI-suodatus, käyttöympäristöt ja käyttökelpoisuusluokat	21
3.2.4 Käyttäjävaatimukset 3-5 ja laitevalinnat	26
3.2.5 Käyttäjävaatimus 6 ja laitevalinnat	29
3.2.6 Käyttäjävaatimus 7 ja laitevalinnat	34
3.2.7 Käyttäjävaatimus 8 ja laitevalinnat	38
3.3 Keskukset ja tilat.....	39
4 SUUNNITTELUVAIHE.....	40
4.1 Järjestelmän tunnisteeet	40
4.2 Sähköverkko.....	40
4.2.1 Loisteho.....	42
4.2.2 Yliaallot.....	43
4.3 Tila- ja layoutsuunnittelu	43
4.3.1 Muuntajatila ja laitteet.....	45
4.3.2 Koestuskentän layout:	48
4.3.3 Koestuskentän sähköverkon rakenne	51
5 KAAPELEIDEN JA SUOJAUSTEN KUORMITUKSEN MUKAINEN MITOITUS.....	54

5.1	Kaapeleiden ja suojausten mitoitus.....	54
5.2	Kaapelointi ja suojaus pääkeskuksen ja ohjauskeskuksen 1 välillä.....	55
5.3	Kaapelointi ja suojaus ohjauskeskuksen 1 syöttämissä ryhmissä	58
5.3.1	Ohjauskeskuksen 1 kentän 1 (OK11) kenttälähdöt.....	59
5.3.2	Ohjauskeskuksen 1 kentän 2.1 ja kentän 2.2 (OK122) kenttälähdöt	60
5.3.3	Ohjauskeskuksen 1, kentän 3 (OK13) kenttälähdöt.....	63
6	KAAPPELEIDEN, SUOJAUSTEN JA KOJEISTOJEN VIKAVIRTOJEN MU- KAINEN MITOITUS	65
6.1	Prospektiivinen oikosulkuvirta.....	65
6.2	Dynaaminen- eli sysäysoikosulkuvirta	66
6.3	Ekvivalenttinen, terminen oikosulkuvirta	68
6.4	Pienin oikosulkuvirta	70
6.5	Yksivaiheinen oikosulkuvirta.....	70
7	KOESTUSKENTÄN VIKAVIRTALASKENTA.....	72
7.1	Taustaverkon impedanssi ja kolmivaiheinen oikosulkuvirta pääkeskuksella.	72
7.2	Impedanssit ja vikavirrat kaapelin J2.0 lopussa, muuntajalla T01.3.....	75
7.3	Yksivaiheinen oikosulkuvirta ohjauskeskuksen 1, 400 V kojeistossa, (OK13)..	76
8	JÄNNITEHÄVIÖ	78
9	SELEKTIIVISYYS.....	80
10	PÄÄVIRTAPIIRIT	82
10.1	Päävirtapiirien kojeet	82
10.2	Käyttöluokat ja koordinaatiotyypit	82
10.3	Katkaisijat	83
11	OHJAUSJÄRJESTELMÄ	86
12	TURVALLISUUS	89
12.1	Koestuskentän turvallisuus	89
12.2	Aidat ja kulkureitit	90
12.3	Ovien ja suojien lukitus.....	90
12.4	Turvareleet	92
12.5	Hätä-Seis toiminto.....	92
12.6	Merkkivalot.....	93
13	MAADOITUS.....	94
13.1	Päämaadoituskisko.....	94
13.2	Suojajohtimet	95

13.3 PEN johtimet.....	96
13.4 Suojaavat potentiaalintasausjohtimet.....	96
13.5 Koestuskentän maadoitus.....	96
14 TARKASTUKSET	98
14.1 Sähkölaitteistoluokat.....	98
14.2 Käyttönottotarkastus	99
14.3 Varmennustarkastus	99
14.4 Huolto, kunnossapito ja määräaikaistarkastus	100
15 POHDINTA	101
LÄHTEET.....	102
LIITELUETTELO	105

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AC	vaihtosähkö
CMF	Common Mode Filter (yhteismuutosuodin)
DC	tasasähkö
DI	Digital Input
DTC	Direct Torque Control (suora momenttisäätö)
DO	Digital Output
EMC	Elektromagnetic Compatibility (sähkömagneettinen yhteensopivuus)
f	taajuus
HMI	Human machine interface (käyttöliittymä)
I_{k1}	yksivaiheinen oikosulkuvirta
I_{k2}	kaksivaiheinen oikosulkuvirta
I_{k3}	kolmivaiheinen oikosulkuvirta
I_n	nimellisvirta
I_{dyn}	sysäysoikosulkuvirta
I/O	input/output
IGBT	Insulated gate bipolar transistor (eristehilabipolaaritransistori)
kVA	kilovolttiampeeri
kV	kilovoltti
kW	kilowatti
KTMp	Kauppa ja Teollisuus Ministeriön päätös
OEOy	Oulun Energia Oy
PDS	Power Drive System (taajuusohjattu sähkömoottorikäyttöjärjestelmä)
PJ	pienjännite
P_k	kuormitushäviöt
P_o	tyhjäkäyntihäviöt
PWM	Pulse Width Modulation (pulssileveys modulaatio)
RFI	Radio Frequency Interference (radiotaajuinen häiriö)
SPK	sähköpääkeskus
uk%	suhteellinen oikosulkuimpedanssi
UPS	Uninterruptible Power Supply (keskeytymätön tehonsyöttö)
Z	impedanssi

1 JOHDANTO

Yhteydenotto mahdollisesta opinnäytetyön toimeksiannosta tuli ABB Oy Service Oulun yksiköltä. Haastavana esitetty työ koski moottorikorjaamon koestuskentän, uuden koekäyttöjärjestelmän sähkötekni- sen ja layout-suunnittelun. Koekäyttö on osa moottori- koestusta, jolla varmistetaan, että laite täyttää huollon tai korjauksen jälkeen sille asetet- tut käytettävyyksivaatimukset.

Sähköistysprojektin tarkoituksena oli uusia olemassa oleva koekäyttöjärjestelmä koko- naisuudessaan, kuitenkin hyödyntäen mahdollisimman paljon olemassa olevia kaape- lointeja, sekä omia ja ABB Nokian moottorikorjaamolta varastoituja laitteita. Syyt in- vestointiin olivat suurelta osin vanhentunut laitekanta ja tarve parantaa koekäyttöjärjes- telmän suorituskykyä, varsinkin kuormituskokeiden osalta. Mahdollisuus mittaustieto- jen myöhempään automaattisen tallennuksen kehittämiseen oli myös huomioitava suun- nitelmissa.

Opinnäytetyöhön sisältyvät suunnitteluprosessin määrittely- ja suunnitteluvaiheet. Nä- mä perustuvat mitoitusten, turvallisuuden ja dokumentoinnin osalta voimassa oleviin lakeihin ja standardeihin, toimintojen ja suorituskyvyn osalta toimeksiantajan määrittä- miin käyttäjävaatimuksiin. Uudessa järjestelmässä käytetään pääsääntöisesti ABB Oy tuotevalikoimaan kuuluvia kojeita ja laitteita. Suunnittelussa laaditaan koestuskentän sähkötekni- set, dokumentoidut suunnitelmat siten, että ne vastaavat työn alussa määritet- tyjä käyttäjävaatimuksia ja koestuskenttä voidaan toteuttaa laadittujen dokumenttien pohjalta.

ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka pääkonttori sijait- see Sveitsin Zürichissä. ABB:n palveluksessa on noin 150 000 henkilöä yli 100 maassa. Yrityksen osakkeilla käydään kauppaa Zürichin, Tukholman ja New Yorkin pörssi-issä. Yhtiö perustettiin vuonna 1988, mutta sen historia ulottuu yli 120 vuoden päähän ja sen kasvu perustuu teknologiseen voimaan ja vahvoihin paikallisiin juuriin, joita Suomessa edustaa Strömberg Oy. ABB on Suomen suurin teollisuuden kunnossapitäjä. Liikevaiht- o on noin 2,3 miljardia euroa, ja tuotekehitykseen käytetään vuosittain noin 193 mil- joonaa euroa. Suomen ABB työllistää noin 5 500 henkilöä noin 25 paikkakunnalla.

Tehdaskeskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa. (ABB Oy 2014. new.abb.com/fi, hakupäivä 28.4.2014).

ABB Oy:n Service-palveluliiketoiminta, johon myös Oulun moottorikorjaamo kuuluu, on johtava teollisuuden kunnossapitäjä Suomessa. Servicen palvelut perustuvat ABB:n sähkövoima- ja automaatioteknologioihin ja tuotteisiin. Suomessa palveluliiketoiminnan ammattilaiset palvelevat noin 25 paikkakunnalla. (ABB Oy 2014. new.abb.com/fi, hakupäivä 28.4.2014).

2 SUUNNITTELUPROSESSI

Suunnittelu on toimintaprosessi, joka voidaan jakaa pienempiin suunnittelutehtäviin (elinkaaritoimiin) tehdasmallin (suunnittelijoille yhteinen tietokanta) rakenteen mukaisesti. Tehtävät käyttävät toisten tehtävien tuloksia, mutta koska tieto on usein puutteellista ja muutokset yleisiä, sama tehtävä suoritetaan usein moneen kertaan.

Käytännön suunnittelutoiminnassa mallin tiedot täydentyvät ja muuttuvat iteratiivisesti ja rinnakkain. Tietyt asiat tulisi ratkaista projektin oikeassa vaiheessa, mutta ajoitus on projektikohtaista ja usein käsittely venyy pitemmälle ajanjaksolle. Järjestelmän, suunnittelun elinkaaren vaiheet voidaan määrittellä seuraavasti:

- *Määrittelyvaihe (specification phase)*: Järjestelmän vaatimukset ja toiminnot määritellään toimittajan puolella tapahtuvaa tarkempaa suunnittelua ja toteutusta varten.
 - *Esisuunnittelu (preliminary design)*: Asiakas määrittelee järjestelmän käyttäjävaatimukset sekä laatii alustavan *kelpuutussuunnitelman*. Lisäksi esisuunnittelussa arvioidaan järjestelmän hyödyt ja kustannukset *investointipäätöksen* tekemistä varten.
 - *Perussuunnittelu (basic design)*: Asiakas ja toimittaja kuvaavat järjestelmän toiminnot sopimusta, tarkempaa suunnittelua ja toteutusta varten.
- *Suunnitteluvaihe (system design)*: Toimittaja tarkentaa perussuunnittelun aineistot järjestelmän toteutusta varten. Suunnitteluvaiheen päätehtäviä ovat *järjestelmäsuunnittelu* ja *toteutussuunnittelu* sekä testaus suunnitelmien laatiminen. Suunnitteluvaiheen etappina on *toteutuslupa* järjestelmälle tai sen osalle.
- *Toteutusvaihe (implementation phase)*: Toimittaja valmistaa, kokoaa ja testaa järjestelmän. Toteutusvaihe päättyy *tehdastestien* tultua hyväksytyiksi etappiin nimeltä *toimituslupa*.
- *Asennusvaihe (installation phase)*: Järjestelmä kaikkine komponentteineen ja ohjelmistoineen toimitetaan asennuspaikalle ja asennetaan. *Laitteistotestauksen* avulla tarkistetaan, että järjestelmä toimii ja on suunnittelukuvausten mukainen. Asennusvaiheen päättyessä automaatiojärjestelmä on valmis toiminnallista testausta varten (*mekaaninen valmius*).

- *Toiminnallinen testausvaihe (commissioning)*: Toimittaja osoittaa *kylmä- ja kuumatestausten* avulla, että asiakkaan tiloihin asennettu järjestelmä vastaa toiminnallista kuvausta ja sopimusta. Hyväksytyjen testausten perusteella järjestelmä voidaan luovuttaa asiakkaalle.
- *Kelpuutusvaihe (validation phase)*: Muodostuu automaation teknisestä lopukelpuutuksesta ja prosessikelpuutuksesta. Kelpuutus on tarpeen erityisesti turvallisuuden kannalta vaativissa sovelluksissa (esim. voimalaitosten suojausjärjestelmissä ja lääketeollisuudessa), joissa vaaditaan järjestelmän laadun dokumentoitua osoittamista. Tosin vastaava jakso voidaan erottaa muissakin kohteissa, esimerkiksi takuuaikana, että tehtävinä suorituskykykokein.
- *Tuotantovaihe (production phase, operation phase)*: Kelpuutettua automaatiojärjestelmää käytetään tuotteiden valmistukseen. Muutokset ovat periaatteessa pieniä projekteja, jotka käynnistyvät määrittelyvaiheesta.
- *Purkuvaihe*
(Suomen Automaatioseura 2007, 16-17).

3 MÄÄRITTELYVAIHE

Suunniteltavalla koekäyttöjärjestelmällä tehdään sähkömoottoreiden tyhjäkäynti ja kuormituskokeet, joilla varmistetaan, että laite täyttää huollon tai korjauksen jälkeen sille asetetut käytettävyyksivaatimukset. Sähkömoottorin loppukoestukseen kuuluu alla mainittuja vaiheita, tehdyistä toimenpiteistä ja moottorityypistä riippuen:

- silmämääräinen tarkastus
- käämitysten eristysvastusmittaus
- jännite- eli eristyskoe
- 3-vaihekäämitysten vertaileva syöksyaaltokoestus
- käämitysten vastusmittaus
- varusteiden ja apulaitteiden toiminnan tarkastus
- akseliheitto
- tyhjäkäynti ja/tai kuormituskoe mahdollisuuksien mukaan nimellisjännitteellä
- mitattujen arvojen tallennus.

(ABB Oy laatuohje via Konttinen 2008, 34).

Lähtökohtana koestuskentän uusimiselle oli olemassa olevan laitekannan korkea ikä, heikko suorituskyky ja heikentynyt varaosien saatavuus. Oli myös tullut tarve lisätä moottoreiden kuormituskokeita, kentän jännitetasoja ja tehoa.

3.1 Esisuunnittelu

Esisuunnittelun tarkoituksena on luoda edellytykset investointipäätökselle. Teollisuuslaitoksen prosessin sähköistyksen osalta on selvitettävä:

- sähköverkoston nykytilanteen kartoitus ja selvitys
 - kuormatietojen selvittäminen
 - pääjakelujärjestelmän esisuunnittelu sisältäen verkostoselvitykset ja alustavat yleiskaaviovaihtoehdot
 - tilantarve ja layout -suunnittelun lähtötiedot
 - kustannusarvioiden laatiminen halutuille vaihtoehdoille.
- (Etto 1998, 9).

Toteutettava laitteisto on kompromissi käytössä olevan budjetin, laitteistolle asetettujen vaatimusten ja olemassa olevien tilojen, laitteiden ja asennusten kesken. Lisäksi järjestelmän tulee täyttää viranomaisvaatimukset. Seuraavassa on kuvattu koestuskentän, esisuunnittelun tulokset, joiden perusteella perussuunnittelu voidaan aloittaa.

3.1.1 Käyttjävaatimukset koekäyttöjärjestelmän suorituskyvyille

Käyttjävaatimukseen kuuluu järjestelmän suorituskykyvaatimukset, jotka toimeksiantaja on määrittänyt testattavien moottoreiden perusteella:

- 1) 0 – 600 VAC, portaattomasti säädettävä jännite, teho ≤ 208 kVA, suojatut 10 A, 16 A, 32 A, 63 A, 100 A ja 200 A suorat moottorikäytöt
- 2) 690 VAC, 0..100 Hz, ≥ 600 kW taajuusmuuttajakäyttö,
- 3) taajuusmuuttajakäyttö, 3,15 kV, 6,3 kV ja 10,5 kV, 500 kVA
- 4) tasavirtakäyttö, 690 VAC/750 VDC, n. ≥ 700 kW
- 5) koneiden testattavuus mahdollista nimelliskuormalla n. ≥ 650 kW, jossa kuormitustehon syöttö takaisin verkkoon 690 VAC jännitetasolla
- 6) taajuusmuuttajakäyttö, 400 VAC, 0..300 Hz, n. ≥ 200 kW.

3.1.2 Käyttjävaatimukset ohjaukselle, mittaukselle ja dokumentoinnille

Järjestelmää ohjataan koestuskentällä olevalta erilliseltä ohjauspulpetilta. Moottorikäyttöjen parametroidit tehdään laitteiden omilta ohjauspaneelilta. Lisäksi rakennetaan valmius HMI kautta tapahtuvaan parametroiintiin ja ohjaukseen.

Mittaustiedot otetaan katkaisijoilta ja soveltuvilta laitteilta kenttäväylän Modbus RTU kautta ohjauspaikan HMI:lle. Väylä ketjutetaan valmiiksi kaikkien väylään soveltuvien laitteiden kautta, mahdollista myöhempää kenttäväylän kautta tapahtuvaa tiedonsiirtoa varten.

Suunnitelmassa käytettävät tunnistet ja merkinnät jäävät suunnittelijan määritettäväksi. Piirustukset laaditaan CADS Planner ohjelmalla ja tallennetaan drw-formaatissa. Taulukot laaditaan MS Excel -ohjelmalla ja muut dokumentit MS Word -ohjelmalla.

3.1.3 Tilamäärittely ja turvallisuusvaatimukset

Koestuskenttä rakennetaan olemassa olevan koestuskentän alueelle. Tarvittaessa on mahdollisuus ottaa käyttöön viereinen varastointialue ja laitetilaksi osa sähköpääkeskuksen vieressä olevasta työtilasta. Layout suunnitellaan siten, että uudet laitteet voidaan asentaa ja kaapeloida pääosin olemassa olevan laitteiston ollessa käytössä, jolla pyritään minimoimaan kentän käyttökatoon kuluva aika.

Laitteet, suojaukset ja kaapeloinnit valitaan huomioiden käytössä syntyvät pahimmat kuormitukset ja ympäristöolosuhteet ja ne täyttävät nykyiset sähkölaitteille, järjestelmille ja asennuksille asetetut määräykset ja vaatimukset.

Järjestelmän tulee täyttää työturvallisuudelle asetetut määräykset ja vaatimukset. Vaarantekijät ja ehkäisevät toimenpiteet arvioidaan standardin SFS-EN 1050 mukaan laaditulla arviointitaulukolla. Koestuskentän turvallisuusmäärittelyä varten laadittiin liitteessä 2 esitetty turvallisuuden määrittelyohje ja liitteessä 3 esitetty vaarantekijäluettelo.

3.2 Perussuunnittelu

Perussuunnittelussa laaditaan dokumentit, joita tarvitaan suoritettavien sähkölaitteiden kintojen ja -asennusten teknisissä määrittelyissä. Lähtötietoina ovat esisuunnittelun dokumentit sekä prosessin päälaite-suunnittelijoilta ja muilta suunnittelijoilta saatavat tiedot. Perussuunnitteluun sisältyy seuraavia tehtäviä, työn laajuudesta riippuen:

- yleinen perussuunnittelu (piirustusluettelo, mitoituslähtötiedot ja erilliset selvitykset)
- pääjakelujärjestelmän yleissuunnittelu (sähkönjakelun yleiskaaviot, kaapelikartat, sähkölaitosautomaation toteutus)
- sijoitus- ja kaapelointisuunnittelu (sähkölaitesijoitus- ja kaapelihyllyreittipiirustukset, maadoituskaaviot ja -piirustukset, rakennustekniset tiedot ja vaatimukset)
- suur- ja välijännitejakelun suunnittelu (kojeistojen pääkaaviot ja sijoituspiirustukset, virtatiet, toisiojärjestelmien yleis- ja pääkaaviot, tekniset erittelyt)
- pienjännitejakelun suunnittelu (yleiskaaviot, pääkaaviot, tyyppikaaviot, kuorma-luettelot sisältäen moottorikäytöt, sähkölämmitykset, sähkösaatot, valaistus- ja huoltosähköverkon sekä muut kuormat ja loistehon kompen-

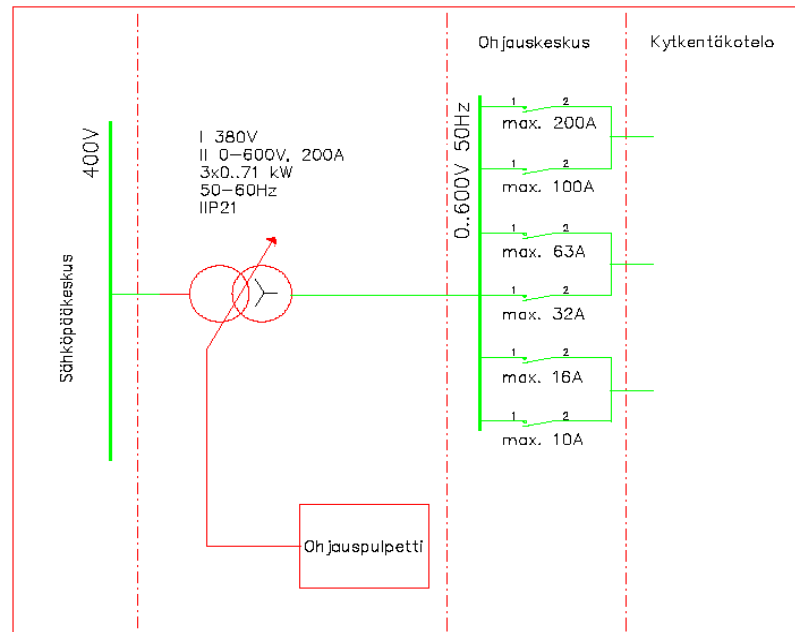
soinnin, sähkölaitteiden sijoituspiirustukset, tekniset erittelyt, keskusten hankintaerittelyt)

- apusähköjärjestelmien suunnittelu (yleis- ja pääkaaviot, laiteluettelot sekä teknisten tietojen lomakkeet ja tekniset erittelyt: AC-, DC-, UPS- ja varavoimajärjestelmistä)
 - pyörivien sähkökoneiden määrittelyt (moottoriluettelot, tekniset erittelyt ja teknisten tietojen lomakkeet: oikosulkumoottorit <1000 V, oikosulkumoottorit >1000 V, tasasähkömoottorit, tahtimoottorit, tahtigeneraattorit, muut sähkökoneet)
 - säädettävien käyttöjen määrittelyt (laiteluettelot erillis- ja ryhmäkäytöistä, teknisten tietojen lomakkeet ja tekniset erittelyt: taajuusmuuttajat, pehmoikäynnistimet, ryhmäkäytöt DC/AC)
 - ohjausjärjestelmien suunnittelu (järjestelmän periaatekaaviot, peruslogiikka-kaaviot, I/O -luettelot, kaavionäytöt, tekniset erittelyt)
 - asennusurakan suunnittelu (materiaalimääräluettelot, asennusohjeet, asennustyypipiirustukset, tekniset erittelyt, laitteet, luettelot).
- (Etto 1998, 9).

Perussuunnittelu toteutettiin laatimalla ideointien pohjalta yksinkertaiset kaaviot esisuunnittelun käyttäjävaatimusten perusteella. Näillä kaavioilla on tarkoitus havainnollistaa käyttäjävaatimusten mukaista järjestelmän rakennetta ja siten helpottaa varsinaiseen suunnitteluvaiheeseen siirtymistä. Suunnittelussa hyödynnettiin mahdollisimman paljon ABB Oy:n valmistamia komponentteja ja laitteita.

3.2.1 Käyttäjävaatimus 1 ja laitevalinnat

Kuviossa 1 on esitetty yksinkertaistettu periaatekaavio koestuskentän suorille moottori-käyttöille, joissa jännitesäätö on mahdollista tehdä portaattomasti välillä 0...630 V. Maksimi kuormitusteho on 3x71 kW ja maksimi toision kuormitusvirta on 200 A. Testattaville moottoreille on mahdollista valita ohjauskeskukselta moottorin nimellisvirran mukainen suojattu lähtö. Suunnittelu perustui korvattavan koestuskentän, säätömuuntajan kilpiarvoihin ja käytettyihin suoriin moottorilähtöihin. Jännitesäätö ja valvonta tehdään kentällä sijaitsevalta ohjauspulpetilta.



Kuvio 1. Alustava kaavio käyttäjävaatimukselle 1. (0..600 V, 10 A ... 200 A)

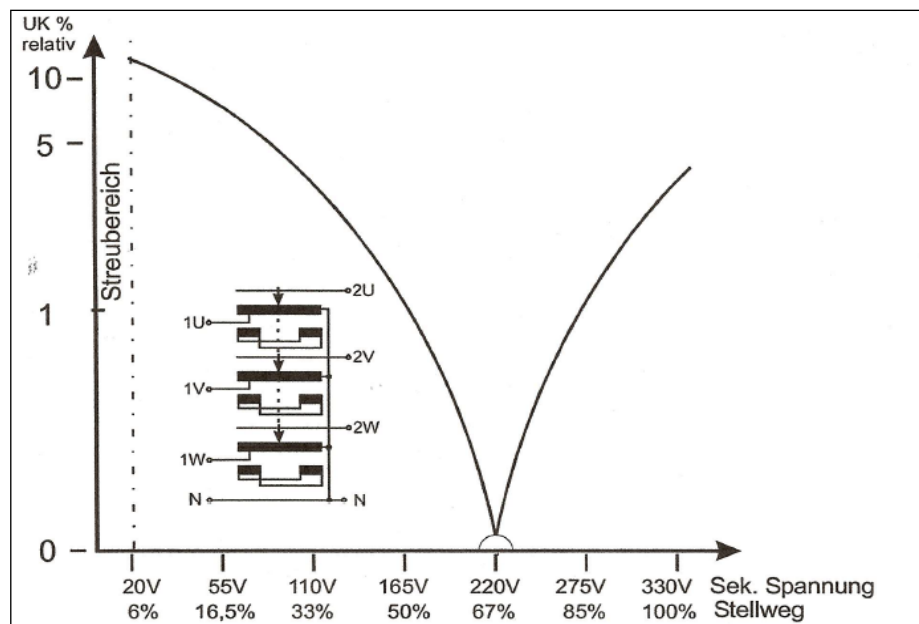
Muuntajaksi asennetaan ABB Nokian koestuskentältä saatu säätömuuntaja, jollainen oli käytössä jo olemassa olevalla koekentällä. Muuntaja on koteloitu kuivamuuntaja. Kuvassa 1 muuntaja on suojalevy irrotettuna ja liittynät nähtävillä. Säätömuuntajan kilpi-tiedot ovat:

- valmistaja: REO
- tyyppi/sarjanumero: DRTMO/C28919
- teho: 3x0-76000 W
- jännite: 380 V/0-600 V
- toisiovirta: max. 200 A
- taajuus: 50-60 Hz
- suojausluokka: IP20
- ulkomitat: l x k x s, 980 x 1940 x 1220 mm.



Kuva 1. Säättömuuntaja REO DRTMO 380V/0-600 V, syöttö-, lähtö- ja ohjausliitännät (kuva käyttöön otettavasta muuntajasta).

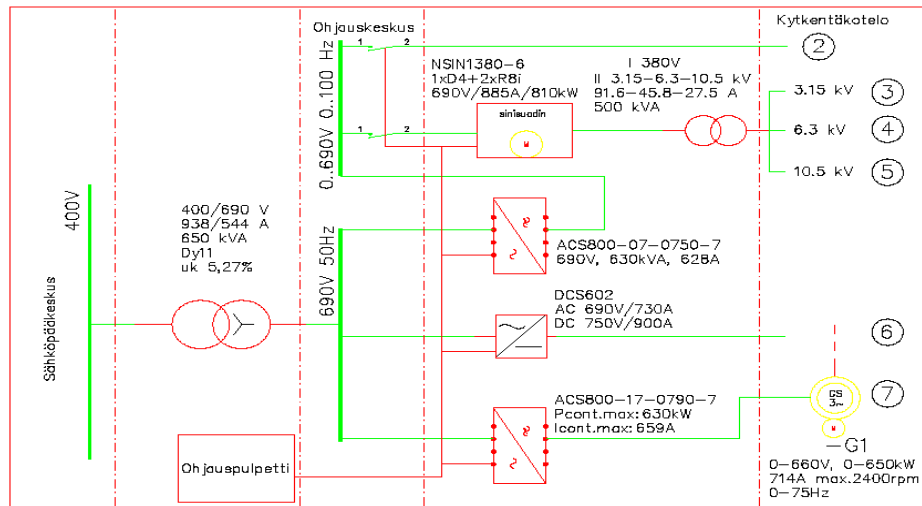
Koska kilpitiedot olivat puutteelliset sähköteknistä laskentaa varten, pyydettiin saksalaiselta valmistajalta lisätietoja. Valmistaja ilmoitti muuntajan olevan niin vanha, ettei yksilöllisiä tietoja ollut enää saatavilla. He kuitenkin tekivät suuntaa-antavat laskelmat ja lähettivät kuvion 2 mukaisen kuvaajan suhteelliselle oikosulkuimpedanssille, uk%. Kuvioista käy myös esille muuntajan sisäinen kytkentä.



Kuvio 2. Säättömuuntajan kytkentä ja oikosulkuimpedanssi uk% toisiosajännitteen suhteen (Grunwald 27.2.2014, sähköpostiviesti).

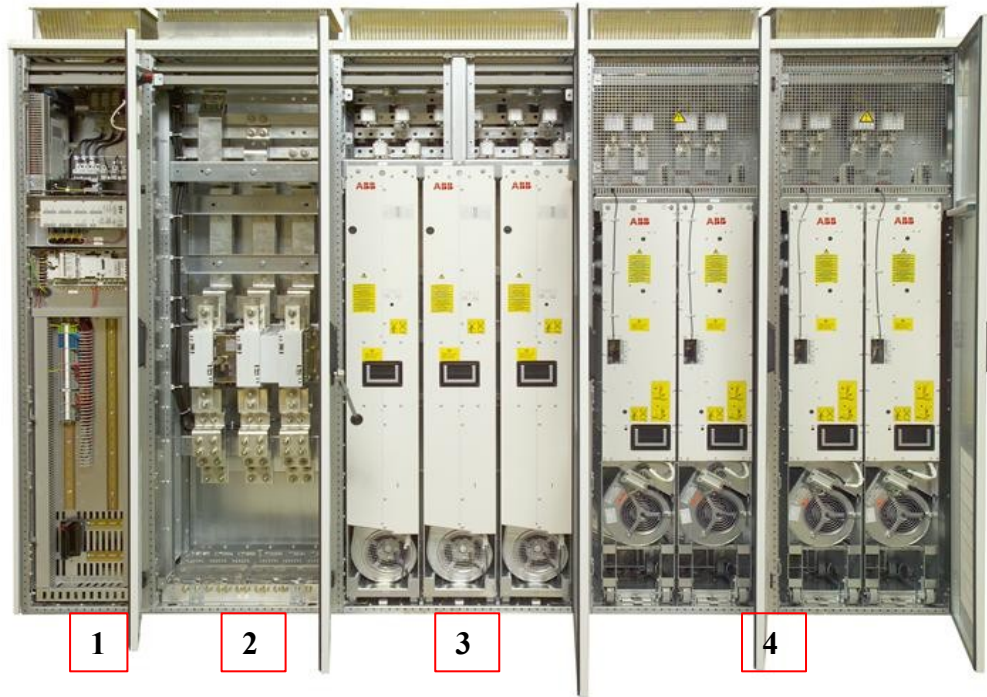
3.2.2 Käyttäjävaatimukset 2-5 ja laitevalinnat

Kuviossa 3 on esitetty yksinkertaistettu periaatekaavio käyttäjävaatimuksille 2-7, joissa koestuskentän taajuusmuuttajan ja tasavirtakäyttöille käyttöjen syöttöjännite on 690 V. Koska syötöt 2 ja 3-5 eivät voi olla päällä yhtä aikaa, joudutaan ohjauskeskuksen 690 V kiskosto jakamaan kahteen osaan. Ohjaus ja valvonta tehdään kentällä sijaitsevalta ohjauspulpetilta.



Kuvio 3. Alustava kaavio käyttäjävaatimuksille 2-7 (kuviossa käyttäjävaatimuksia vastaava numerointi).

Käyttäjävaatimuksen 2 toteuttamiseksi pääkäytöksi valittiin kuvassa 2 esitetty, tyypin ACS800-07-0750-7 taajuusmuuttaja ja sille lisävarusteet +F253+F260+H359+K458+L501+Q964+V992. Käytön syöttö otetaan ohjauskeskuksen 690 V kiskosta, jota syötetään 400 V/690 V nostomuuntajalla. Muuntajan syöttö otetaan sähköpääkeskukselta. Taajuusmuuttajan tasasuuntaus on toteutettu diodeilla, joten se ei kykene syöttämään tehoa takaisin verkkoon.



Kuva 2. ACS800-07-0750-7. 1. I/O-liitäntä ja ohjaus, 2. lisävarusteena saatava pääkytkin ja tuloliitäntäkenttä, 3. Ulosvedettävä diodisyöttömodulit, 4. Ulosvedettävät vaihtosuuntaajamodulit, lähtöliittimet takana. (ABB Oy 2009, ACS800).

Taulukossa 1 on esitetty kyseisen laitetypin tekniset tiedot, jonka jälkeen luettelo laitteen sisällöstä. Tiettyjä laitteeseen sisältyviä komponenttien ominaisuuksia on käsitelty jäljempänä tarkemmin.

Taulukko 1. ACS800-07-0750-7 nimellisarvot. (ABB Oy 2009, ACS800).

Nimellisarvot		Ei yli-kuumitusta	Normaali käyttö		Raskas käyttö		Melutaso	Lämpöhäviö	Ilmavirta	Tyypikoodi	Runkokoko
$I_{cont. max}$ A	I_{max} A	$P_{cont. max}$ kW	I_N A	P_N kW	I_{hd} A	P_{hd} kW	dBA	kW	m ³ /h		
$U_N = 690 \text{ V}$ (Alue 525–690 V). Tehoarvot pätevät nimellisjännitteellä 690 V.											
628	939	630	603	630	470	500	73	13,9	3120	ACS800-07-0750-7	1xD4 + 2xR8i
Raskas käyttö: I _{hd} : jatkuva virta, 150 % I _{hd} sallittu 1 min ajan 5 min välein 40°C lämpötilassa.											

Taajuusmuuttajan ACS800-07-0750-07 sisältö:

- kotelointiluokka IP21 (UL type 1)
- katkaisija
- ohjauspaneeli CDP312R, (paikallista parametointia ja ohjausta varten)
- Tiedonsiirtomoduli RDCO-03, joka käyttää ABB tiedonsiirtoprotokollaa DDCS

- EMC/RFI-suodin 2. käyttöympäristöä, rajoittamatonta jakelua varten standardin SFS-EN 61800-3 (runkokoot nxR8i) (kategoria C3) mukaan
- vakio-ohjelma
- 230 VAC ohjausjännite
- syöttökaapelointi alhaalta (määritelty tilauksessa)
- lähtökaapelointi alhaalta (määritelty tilauksessa)
- kaapeliläpiviennit
- Common mode filter (CMF)
- du/dt suodin, FOCH0260-70
- lakatut piirilevyt
- yksi suomenkielinen dokumentti sarja.

Laitteeseen sisältyvät lisävarusteet (määritetty tilauksen yhteydessä):

- +F253: kuormakytkin
- +F260: erikoisnopeat aR etusulakkeet
- +H359: moottorilähdön kytkentäkenno
- +K458: Kenttäväyläsovitin, Modbus RTU ABB Drives 600 bittiä/s -19,2 kbittiä/s
- +L501: I/O-laajennusmoduli RDIO-01, 4 x DI/O, 2 x RO)
- +Q964:hätä-seis pysäytys, cat 1
- +V992: Uusi DSU (diode supply unit), diodi tasasuuntaaja.

Hätäpysäytys: +Q964:hätä-seis pysäytys, cat 1.

Taajuusmuuttajan pysäyttämistä ja jännitteen katkaisemista varten on hätäpysäytystoiminto (lisävaruste). Valittavana on kaksi standardin IEC/EN 602041:1997 mukaista pysäytyskategoriaa: jännitteen katkaiseminen heti (kategoria 0) ja ohjattu hätäpysäytys (kategoria 1). (ABB Oy 2009, ACS800).

3.2.3 EMC/RFI-suodatus, käyttöympäristöt ja käyttökelpoisuusluokat

Nopeussäädettyjen käyttöjen perusstandardina käytetään PDS-käyttöjen (Power Drive System) EMC-tuotestandardia SFS-EN 61800-3 (tai IEC 61800-3). EMC tarkoittaa sähkömagneettista yhteensopivuutta (Electromagnetic Compatibility), eli sähkö- ja elektroniikkalaitteiden kykyä toimia häiriöttä sähkömagneettisessa ympäristössä. Vas-

taavasti laite ei saa häiritä muiden sen lähistöllä olevien tuotteiden tai järjestelmien toimintaa.

Taajuusmuuttajissa suurtaajuushäiriöitä aiheuttaa tehokomponenttien, kuten eristehila-transistorien (IGBT) ja ohjauselektronikan nopeat kytkentäilmiöt. Nämä suurtaajuushäiriöt etenevät johtumalla ja säteilemällä. PDS-käytöt voidaan yhdistää joko teollisiin tai julkisiin sähköjakeluverkkoihin. Käyttöympäristö riippuu tavasta, jolla PDS-käyttö on kytketty syöttävään verkkoon. Käyttöympäristö voidaan jakaa 1. ja 2. käyttöympäristöön. (ABB Oy 2012, Technical guide no. 3, 8-10 (käännös, 5.5.2014)).

Käyttöympäristöt

Ensimmäiseen käyttöympäristöön kuuluvat kotitaloudet sekä laitokset, jotka on liitetty suoraan ilman välimuuntajaa kotitalouksien pienjänniteverkkoon. (ABB Oy 2012. Technical guide no. 3, 15 (käännös, 5.5.2014)).

Toiseen käyttöympäristöön kuuluvat kaikki muut laitteistot paitsi ne, jotka on liitetty suoraan kotitalouksien pienjänniteverkkoon. Toisen käyttöympäristön PDS-käytöissä käyttäjän on varmistettava, että pienjänniteverkkoon ei kulkeudu liikaa häiriöitä, silloinkaan kun häiriöt etenevät keskijänniteverkon kautta. (ABB Oy 2012. Technical guide no. 3, 16 (käännös, 5.5.2014)).

Käyttökelpoisuusluokat

Tuotestandardi EN 61800-3 jakaa sähkökäytöt neljään luokkaan käyttötarkoituksen mukaan. Euroopassa standardi EN 61800-3 menee etusijalle kaikkien aiemmin sovellettujen yleisten tai tuoteperhe EMC-standardien suhteen. (ABB Oy 2012. Technical guide no. 3, 16-17 (käännös, 5.5.2014)).

Sähkökäytön luokka C1 edellyttää, että taajuusmuuttajan nimellisjännite on alle 1000 V ja se on tarkoitettu käytettäväksi ensimmäisessä käyttöympäristössä. Sähkökäyttö myydään valmiiksi rakennettuna loppukäyttäjälle. (ABB Oy 2012. Technical guide no. 3, 16-17 (käännös, 5.5.2014)).

Sähkökäytön luokka C2 edellyttää, että taajuusmuuttajan nimellisjännite on alle 1000 V ja sähkökäyttö ei ole ns. ”plug in”-tyyppinen tai siirrettävä laite. Luokan C2 sähkökäytön saa asentaa ja käyttöönottaa vain riittävän ammattitaidon omaava henkilö. Myytävän

sähkökäytön tulee olla osa laitteistoa, järjestelmää tai asennusta. (ABB Oy 2012. Technical guide no. 3, 16-17 (käännös, 5.5.2014)).

Sähkökäytön luokka C3 edellyttää, että taajuusmuuttajan nimellisjännite on alle 1000 V ja se on tarkoitettu käytettäväksi toisessa käyttöympäristössä. Sähkökäyttö myydään valmiiksi rakennettuna loppukäyttäjälle, liitettäväksi laitteeseen, järjestelmään tai asennukseen. (ABB Oy 2012. Technical guide no. 3, 16-17 (käännös, 5.5.2014)).

Sähkökäytön luokka C4 edellyttää, että taajuusmuuttajan nimellisjännite on 1000 V tai suurempi, tai nimellisvirta on 400 A tai suurempi, tai se on tarkoitettu käytettäväksi monimutkaisissa järjestelmissä, toisessa käyttöympäristössä. Sähkökäyttö myydään osaksi laitteistoa, järjestelmää tai asennusta. (ABB Oy 2012. Technical guide no. 3, 16-17 (käännös, 5.5.2014)).

Luokan C4 vaatimukset sisältävät kaikki muut EMC vaatimukset, lukuun ottamatta radiotaajuista säteilyä. Vaatimukset arvioidaan kun käyttö on asennettu sille tarkoitettuun paikkaan. Siksi luokan C4 käyttöä käsitellään kiinteänä asennuksena ja siksi siltä ei vaadita EU vaatimustenmukaisuusvaatimusta tai CE merkintää. (ABB Oy 2012. Technical guide no. 3, 16-17 (käännös, 5.5.2014)).

Koestuskenttä on toinen käyttöympäristö ja taajuusmuuttaja kuuluu käyttökelpoisuusluokkaan C3. Taajuusmuuttaja ACS800-07-0750-07 noudattaa standardia IEC 61800-3 seuraavin ehdoin:

- 1) Taajuusmuuttajassa on EMC-suodin. Suodin sopii TN- (maadoitettu) ja IT (maadoittamaton) verkkoihin.
- 2) Moottori- ja ohjauskaapelit on valittu laiteoppaassa annettujen ohjeiden mukaan.
- 3) Taajuusmuuttaja on asennettu laiteoppaassa annettujen ohjeiden mukaan.
- 4) Kaapelin maksimipituus on 100 metriä.

(ABB Oy 2006, ACS800-07).

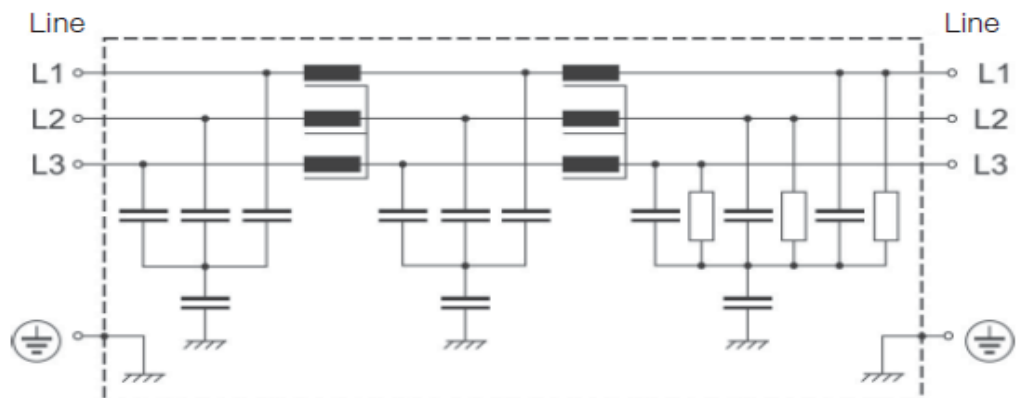
Häiriöiden vähentäminen

Johtuvat häiriöt etenevät muihin laitteisiin kaikkien johtavien osien, kuten kaapeloinnin, maadoituksen ja metallikotelon kautta. Johtuvia häiriöitä voidaan vähentää seuraavilla tavoilla:

- käyttämällä radiotaajuisten häiriöiden (RFI) suodinta
- vaimentamalla kytkentätransientit releissä, kontaktoreissa, venttiileissä jne.
- asentamalla teholiitântäkohtiin ferriittirenkaat (CMF)
- käyttämällä du/dt suodinta
- käyttämällä LCL suodinta kun kyseessä on verkkoonsyöttävät käytöt
- käyttämällä AC tai DC kuristinta, jotka on tarkoitettu yliaaltojen suodatukseen, mutta ne vähentävät myös korkeita taajuuksia.

(ABB Oy 2012. Technical guide no. 3, 19-20 (käännös, 5.5.2014)).

Kuviossa 4 on esitetty käyttömoduliin integroitua suodinrakennetta, joka koostuu keiloista ja kondensattoreista.



Kuvio 4. Esimerkki käyttömoduliin integroidusta suodatuksesta. (ABB Oy 2012, Technical guide no. 3, 22).

Du/dt-suodin ja Common mode filter (CMF)

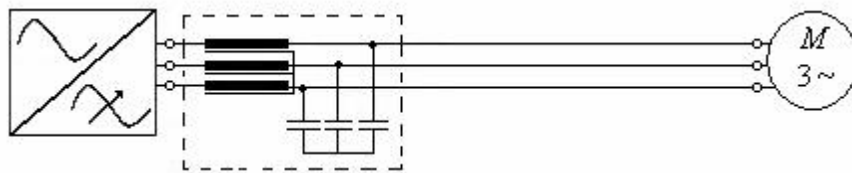
Taajuusmuuttajan lähdössä on lähtötaajuudesta riippumatta noin 1,35 kertaa verkkojännitteen suuruisia pulsseja, joiden nousuaika on erittäin lyhyt. Tämä pätee kaikkiin taajuusmuuttajiin, joissa sovelletaan uusinta IGBT vaihtosuuntaajatekniikkaa. Pulssien jännite voi olla moottoriliittimissä lähes kaksinkertainen. Moottorikaapelin ja -liittimien vaimennus- ja heijastusominaisuudet vaikuttavat jännitteeseen. Tämä voi puolestaan aiheuttaa lisärasitusta moottorin ja moottorikaapelien eristykselle. Uusien nopeussäädetyjen taajuusmuuttajien nopeasti nousevat jännitepulssit ja korkeat kytkentätaajuuudet

voivat aiheuttaa laakerin kautta kulkevia virtapulseja, jotka kuluttavat vähitellen laakereiden vierintäpintaa ja rullausominaisuuksia. Moottorin eristykseen kohdistuvaa rasi- tusta voidaan välttää käyttämällä lisävarusteena saatavia du/dt-suotimia. Du/dt -suotimet myös vähentävät laakerivirtoja. (ABB Oy 2006, ACS800-07).

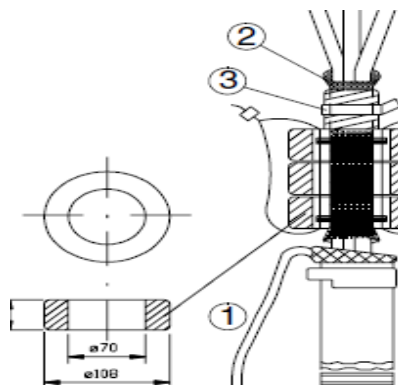
Jotta välttyttäisiin moottorin laakerien vaurioilta, kaapelit on valittava ja asennettava valmistajan ohjeiden mukaan. Lisäksi N-pään (non drive end) laakeri on eristettävä ja lähtösuotimia on käytettävä ohjeiden mukaisesti. Suotimia on kahta eri tyyppiä, ja niitä käytetään joko erikseen tai yhdessä:

- Lisävarusteena saatava du/dt-suodin (moottorin eristyksen suojaamiseen ja laakerivirtojen vähentämiseen), kuvio 5
- Yleismuotoinen eli common mode -suodin (pääasiassa laakerivirtojen vähentämiseen), kuvio 6.

(ABB Oy 2006. ACS800-07).



Kuvio 5. Yleisin du/dt suotimen rakenne. (Hanigovszki 2005 via Heimonen 2008, 20).



Kuvio 6. Yleismuotoisen suotimen (CMF) asennuskuva. Suodin koostuu kolmesta kaapelin ympärille asennettavasta ferriittirenkaasta, 1. kaapelivaipan maadoitus, 2. silikonieristeteippi, 3. nippuside. (ABB Oy 2001. Laiteopas 3AFY).

3.2.4 Käyttäjävaatimukset 3-5 ja laitevalinnat

Pääkäyttönä toimii sama ACS800 taajuusmuuttaja kuin käyttäjävaatimuksessa 2. Taajuusmuuttaja syöttää sinisuotimen kautta välijännitemuuntajaa, joka on sama kuin nykyisin käytössä oleva. Ohjauksessa on varmistettava, että taajuusmuuttajan lähtöjännitteen tehollisarvo ei ylitä välijännitemuuntajan 380 V nimellisarvoa, ettei muuntaja ja testattava moottori vahingoitu. Seuraavassa on lyhyesti, erikseen käsitelty sinisuotimen toimintaa. Järjestelmässä olevan sinisuodattimen 400 V jäähdytyspuhaltimelle otetaan syöttö ohjauskeskukselle tulevasta 400 V kentästä.

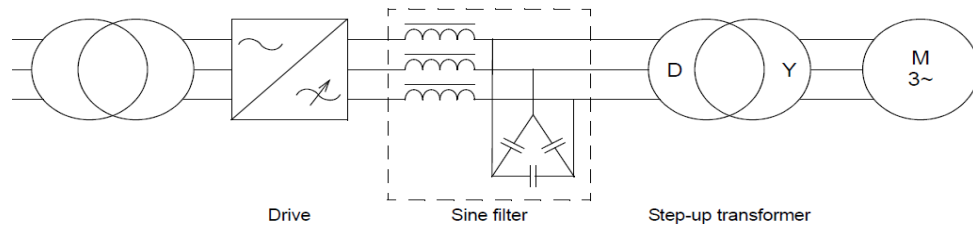
Sinisuodin

Sinisuotimia käytetään taajuusmuuttajan syöttämän PWM-jännitteen tehokkaaseen suodattamiseen, tuloksena lähes puhdas sinimuotoinen jännite. Sinisuotimet ovatkin tehokkaimpia käytettyjä suodatintyyppejä moottorin ylijännitesuojauksessa. Taajuusmuuttajan ulostulojännitteestä saadaan sinimäistä päästämällä vain jännitteen perustaajuus läpi ja suodattamalla muut taajuuskomponentit. Moottorille syötetty jännite ei näin ollen sisällä korkeataajuisia komponentteja, eikä moottorille pääse kohdistumaan ylijännite-erasituksia. Sinisuotimilla pyritään lisäksi poistamaan moottorista tulevia korkeataajuisia meluhaittoja. (Hanigovszki 2005 via Heimonen 2008, 20-21).

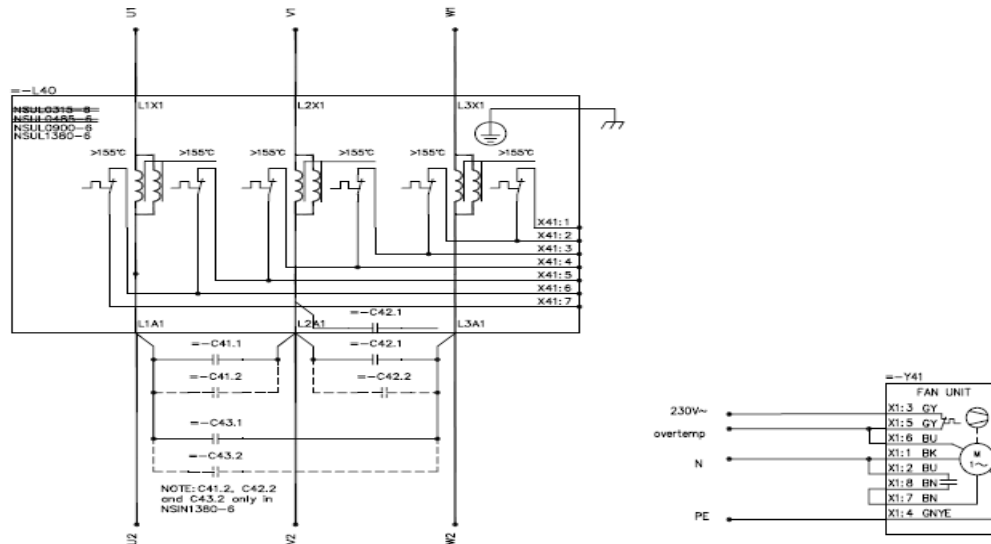
Taulukossa 2 ja kuvioissa 7 ja 8 on esitetty kyseisen tyyppin tekniset tiedot ja sinisuotimen rakennetta. Kuten taulukosta 2 nähdään, on tyyppin NSIN1380-6 sinisuodin hieman ylimitoitettu valitulle käytölle. Suodin toimitetaan suojausluokalla IP00, joten se täytyy koteloida erikseen. Järjestelmän laskennassa ja käytössä on syytä tiedostaa suotimessa syntyvä n. 10% jännitehäviö.

Taulukko 2. Sinisuotimien NSIN1380-6 ja NSIN0900-6 tekniset tiedot (ABB Oy 2008. ACS800 User's Manual Sine Filters).

Drive type ACS800-07-...	Frame	Filter type	$I_{cont,max}$	$P_{cont,max}$	Heat dis- sipation	Air flow	Noise level	*Height	*Width	*Depth	Weight
			A	kW	kW	m ³ /h	dBA	mm	mm	mm	kg
0870-7	1xD4 + 2xR8i	NSIN0900-6	729	665	24	5120	81	2130	2330	646	1600
1060-7	1xD4 + 2xR8i	NSIN1380-6	885	810	27	5120	81	2130	2330	646	1700



Kuvio 7. Sinisuotimen sijoitus ja yksinkertaistettu rakenne. (ABB Oy 2008. ACS800 User's Manual Sine Filters).



Kuvio 8. Sinisuotimen ja puhaltimen, NSIN 1380-6 kytkentäkaavio.(ABB, 2008, ACS-800 User's Manual Sine Filters).

Yksinkertaisimmillaan sinisuodin on samanlainen kuin du/dt -suodin (kuvio 5), mutta sen resonanssitaajuus on mitoitettu huomattavasti pienemmälle taajuudelle.

Lisäksi sen suodatuskyky on parempi kuin du/dt -suotimilla. Sinisuotimet ovat tehokkaita alipäästösuodattimia, joiden resonanssitaajuus mitoitetaan moottorille syötettävän jännitteen perustaajuuden ja taajuusmuuttajan kytkentätaajuuden välille:

$$f_{\text{out}} < f_0 < f_{\text{sw}} \quad (1)$$

missä

f_{out} on vaihtojännitteen perusaallon taajuus,

f_0 on suodattimen resonanssitaajuus

f_{sw} on taajuusmuuttajan kytkentätaajuus.

Vaimentaakseen tehokkaasti suurtaajuuskomponentteja suotimen resonanssitaajuuden pitää olla huomattavasti pienempi kuin taajuusmuuttajan kytkentätaajuuden. Kuitenkaan suodin ei saa olla resonanssissa perustaajuuden ympäristössä, joten resonanssitaajuuden tulee olla merkittävästi suurempi kuin perustaajuuden. Näistä mitoitusteknisistä seikoista johtuen sinisuotimienkäyttö rajoittuu useissa tilanteissa normaalia korkeammille kytkentätaajuuksille. (Hanigovszki 2005 via Heimonen 2008, 21).

Taajuusmuuttajan kytkentätaajuudella tarkoitetaan vaihtosuuntaajan transistorisillan kytkentänopeutta. IGBT-transistorien ja suurien kytkentätaajuuksien (kHz) avulla pystytään johtamaan lyhytkestoisempia jännitepulsseja sekä muodostamaan tiheämpiä pulsikuvioita. Pulssien määrän kasvaessa ja niiden kestojen lyhentyessä vaihtojännitteen tehollisarvo muistuttaa yhä enemmän siniaaltoa. Suurilla kytkentätaajuuksilla pystytään ehkäisemään moottorin aiheuttamia meluhaittoja. (Hanigovszki 2005 via Heimonen 2008, 6)

Nostomuuntaja, 400 V/690 V

Muuntajaksi asennetaan ABB Oy Service Nokian korjaamolta hankittu koteloitu kiuvasmuuntaja, jonka kilpitiedot ovat:

- valmistaja: Trafotek
- tyyppi/sarjanumero: 21174/0823157
- teho: 650 kVA
- kytkentä: Dy11.
- jännite: 400 V/690 V
- In: 938 A/544 A
- Z_k : / 5.27 %
- suojausluokka: IP23
- taajuus: 50 Hz
- muuntajan ulkomitat noin: l x k x s, n. 1600 x 1780 x 1000 mm.

Välijännitemuuntaja, 380 V/10.5 kV, (6.3 kV), (3.15 kV)

Muuntajaksi asennetaan jo ennestään koestuskentällä käytössä oleva, paisuntasäiliöllinen, öljyeristeinen muuntaja. Muuntajan kilpitiedot ovat:

- valmistaja: Strömberg
- tyyppi/sarjanumero: KTMU 12 XA 4807, IEC 78

- Sn: 500 kVA
- kytkentä: Y(Y)yd11
- (Un): 380 V/10.5 kV, (6.3 kV), (3.15 kV)
- In: 760 A/27.5 A, (45.8 A), (91.6 A)
- zk%: / 6.1%, (4.9%), (3.8%)
- eristystaso: LI 75 AC 28/AC 8
- P_k: 6907 W
- P₀: 1811 W
- taajuus: 50 Hz
- muuntajan ulkomitat noin: l x k x s, n. 1900 x 2000 x 1000 mm.

Muuntajalle teetetään uusi muuntajakaappi, johon integroidaan öljykaukalo. Kaapille varataan tilasuunnittelussa 2100 x 2200 x 1200 mm:n tila. Muuntajakaappiin tehdään luukku, joka sijoitetaan siten, että kytkennät voi tehdä koestuskentän puolelta suoraan muuntajan navoista.

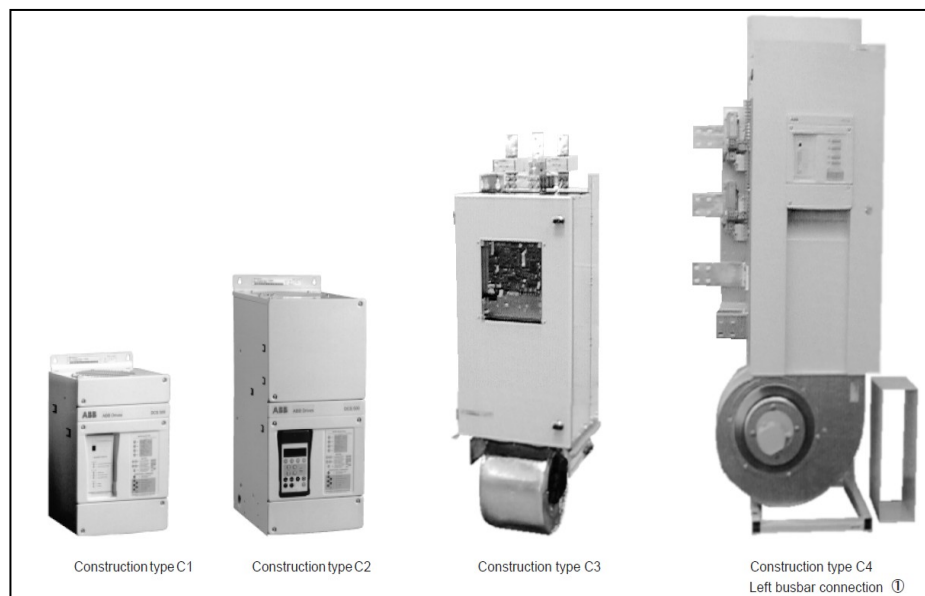
3.2.5 Käyttjävaatimus 6 ja laitevalinnat

Käytöksi asennetaan ABB Oy Service Nokian korjaamolta hankittu, kuvassa 3 esitetty, käytetty tasasähkökäyttö DCS502-0900-41-21P0010, joka oli päivitetty tyyppin DCS602-0900-71-1100010 käytöksi. Kuvassa 4 on esitetty neljä erikokoista tasavirtayksikköä, joista C3 on koestuskentälle asennettavan koko. Käytön ohjaus tehdään ohjauspulpetilta, käytön I/O kortille. Tasasähkökäytön kilpitiedot ovat:

- valmistaja: ABB
- tyyppi: DCS602-0900-71-1100010 (muutettu tyypistä DCS502....)
- teho: 648 kW
- U: 690 VAC/750 VDC
- In: 730 A/900 A
- tehohäviö Uh: < 4.8 %
- rakenne: C3
- tasasuuntaajatyypin (käyttösovellus): 4Q
- laitteiston ulkomitat: l x k x s, n. 1450 x 2000 x 600 mm.



Kuva 3. DC-käytön, DCS602-0900 molemmat kentät (kuva käyttöönotettavasta laitteesta).



Kuva 4. Tasavirtakäyttöjen DC yksikkö koot. Käyttöönotettavassa laitteessa on yksikkö C3. (ABB Oy 1999, System Description DCS 600).

Lisäksi laitteeseen hankitaan seuraavat komponentit:

- Kenttäväyläsovitin NMBA-01, (Modbus RTU ABB Drives 600 bittiä/s -19,2 kbittiä/s), jolla tehdään mittaustietojen siirto HMI:lle, sekä myöhemmässä vaiheessa on mahdollista tehdä laitteen ohjaus ja tilatietojen siirto.

- I/O moduli SDCS-IOB-3, joka toimii liityntänä ulkopuolisen ohjauksen ja ohjausmodulin SDCS-CON-2 välillä. Kyseinen moduli oli ollut laitteessa, mutta jostain syystä poistettu.

Tasasuuntaaja on nk. neljän kvadrantin sovellus, joka kertoo laitteen käyttösovelluksen. Käyttösovellukset voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan (1Q, 2Q ja 4Q) -nopeuden ja momentin mukaan (ABB Oy 2001, Tekninen opas nro 8).

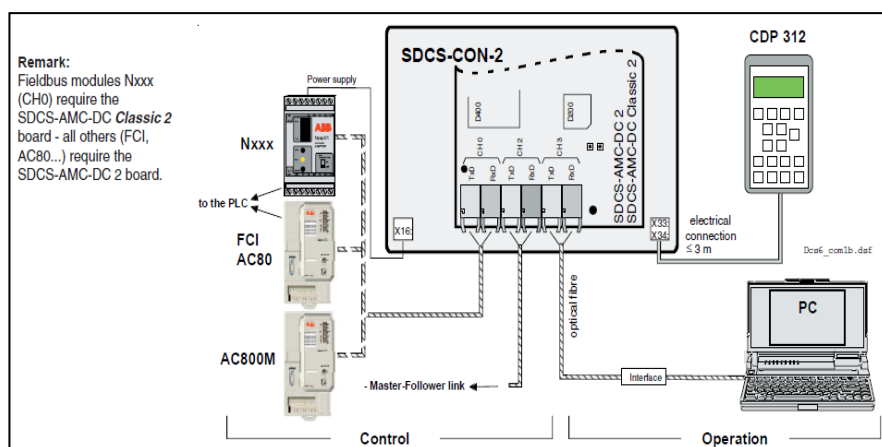
Yleisin vaihtovirtakäyttöjen sovellus on yhden kvadrantin (1Q) sovellus, jossa nopeus ja momentti pyörivät aina samaan suuntaan ja teho (nopeus x momentti) virtaa vaihtosuuntaajasta prosessiin. Tällaisia sovelluksia ovat esimerkiksi pumppu- ja puhallinsovellukset, joissa kuormitusmomentti käyttäytyy neliöllisesti. Näitä sovelluksia kutsutaankin yleensä neliöllisen momentin sovelluksiksi. Yhden kvadrantin sovellukset kuten puristimet tai kuljettimet voivat myös olla vakiomomenttisovelluksia, joissa kuormitusmomentti ei luonnostaan muutu nopeuden muuttuessa. (ABB Oy 2001, Tekninen opas nro 8).

Toiseen luokkaan kuuluvat kahden kvadrantin (2Q) sovellukset, joissa pyörimissuunta ei muutu, mutta momentin suunta voi muuttua. Tällöin teho voi virrata käytöstä moottoriin tai päinvastoin. Yhden kvadrantin käytöstä voi tulla kahden kvadrantin käyttö esimerkiksi silloin, jos puhaltimen nopeus hidastuu nopeammin kuin mitä mekaanisten häviöiden avulla olisi mahdollista. Monilla teollisuudenaloilla laitteen hätäpysäytys saattaa edellyttää kahden kvadrantin käyttöä vaikka itse prosessi vaatii yhden kvadrantin käytön. (ABB Oy 2001, Tekninen opas nro 8).

Kolmas luokka koostuu neljän kvadrantin (4Q) sovelluksista, joissa nopeuden ja momentin suunta voi vapaasti vaihdella. Tällaisia sovelluksia ovat paitsi hissit, vinssit ja nosturit, myös monet prosessit, kuten leikkaaminen, taivuttaminen, kutominen ja koneen testaus, jotka voivat vaatia toistuvia nopeuden ja momentin muutoksia. Tällä sovelluksella on mahdollisuus syöttää tehoa verkkoon. (ABB Oy 2001, Tekninen opas nro 8).

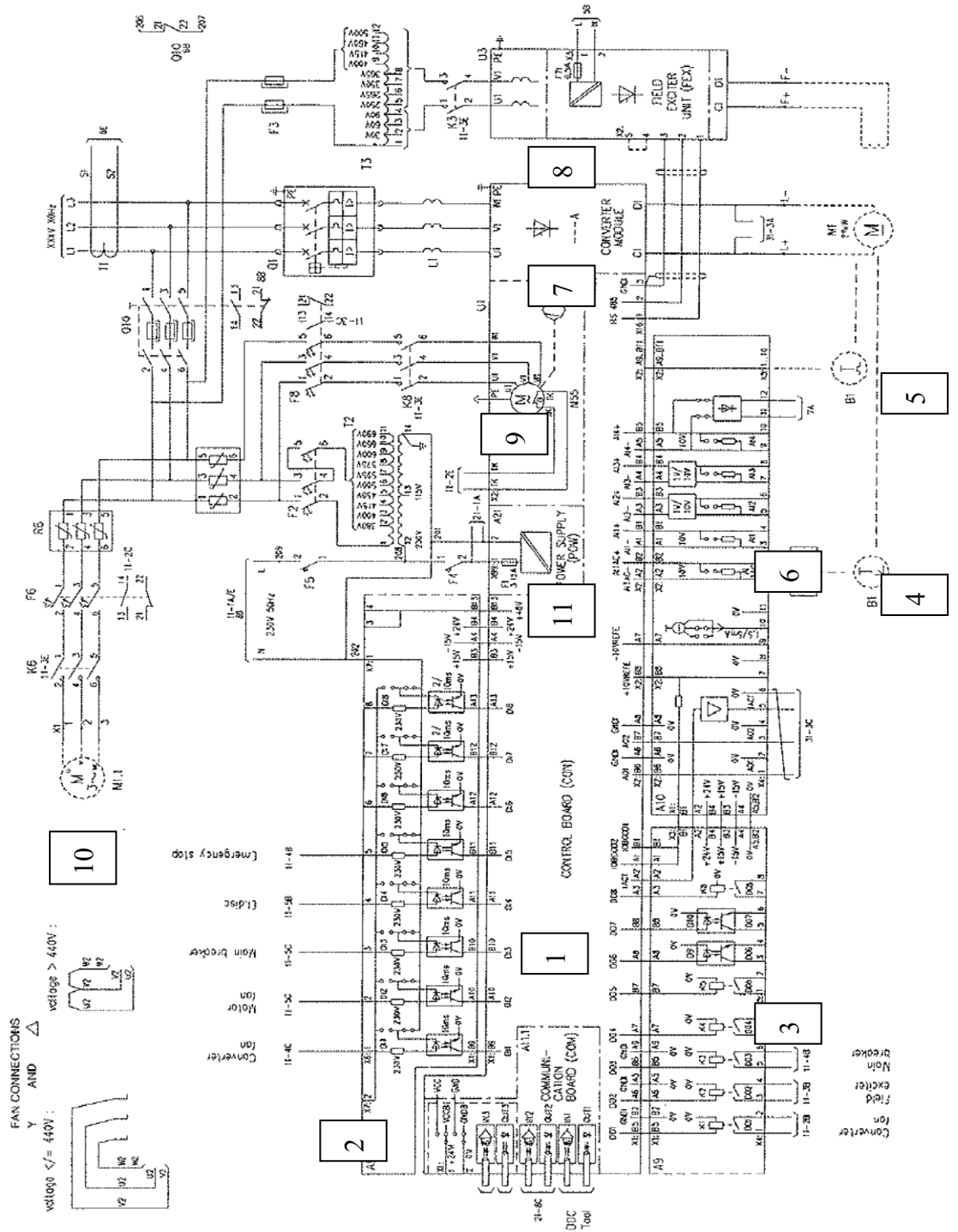
Laitetta voidaan ohjata ja valvoa kuviossa 9 esitetyn viestintämodulin SDCS-AMC-DC Classic 2 (4) kautta. Viestintämoduliin voidaan liittää optisella kuidulla ohjelmoitava

logiikka, tietokone tai kenttäytläsovitin ja RS485 liitännällä ohjauspaneeli CDP 312. Lisäksi voidaan yhdistää kaksi käyttöä, jolloin toinen on pääkäyttö (master) ja toinen ns. orja (follower). (ABB Oy 1999, System Description DCS 600).



Kuvio 9. Tiedonsiirtomoduulin kytkettävät ohjaus- ja valvontalaitteet (ABB Oy 1999, System Description DCS 600).

Kuviossa 10 on esitetty DCS602:n pääkaavio. Käyttöä ohjaa annettujen määritysten mukaan ohjauskortti SDCS-CON-2 (1). Laitteiston ohjaus ja tilatiedot voidaan viedä joko suoraan ohjauskortille tai erillisten I/O relekorttien kautta. DI tiedot viedään kortin SDCS-IOB-2 (2) kautta ja DO tiedot kortin SDCS-IOB-2 (3) kautta. Analogiatiedot, kuten moottorin pyörimisnopeustieto takogeneraattorilta (4) tai pulssianturilta (5) tuodaan kortin SDCS-IOB-3 (6) kautta. Tasavirtakone tarvitsee toimiakseen ankkuri- ja magnetointivirran. Ankkurivirta saadaan käytön tasasuuntaus yksiköltä (7) ja magnetointivirta pienemmältä tasasuuntausyksiköltä SDCS-FEX-2A (8). Käytettävän moottorin lisäksi käyttö ohjaa omaa jäähdytyspuhallinta (9) ja moottorin jäähdytyspuhallinta (10). Ohjaussähkö saadaan laitteen omalta teholahteelta (11).

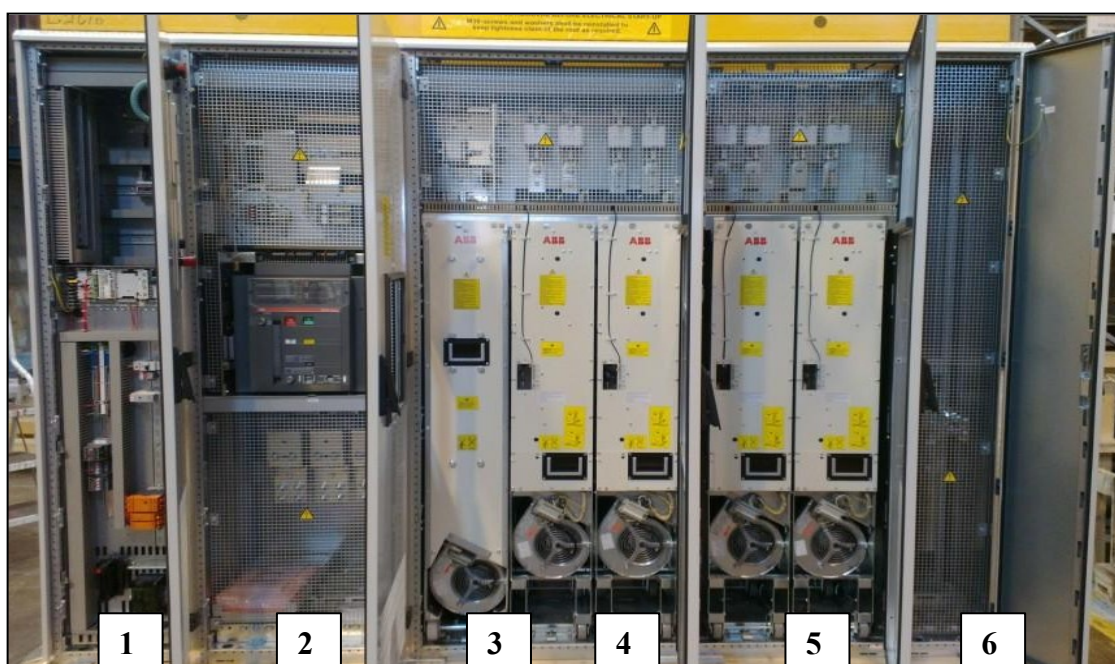


Kuvio 10. Tasavirtakäytön, DCS602 pääkaavio (ABB Oy 1999, System Description DCS 600).

3.2.6 Käyttäjävaahtimus 7 ja laitevalinnat

Pääkäyttö

Pääkäytöksi valittiin kuvassa 5 esitetty tyyppin ACS800-17-0790-7 taajuusmuuttaja ja lisävarusteet +H359, +K458, +L501+Q964. Kuormituskoneeksi asennetaan ABB Oy Service Nokian korjaamolta hankittu käytetty 630 kW oikosulkumoottori. Moottori liitetään taajuusmuuttajan kautta ohjauskeskuksen 690 V kenttään. Taulukossa 3 on esitetty hankitun taajuusmuuttajan ACS800-17 teknisiä tietoja ja jäljempänä luettelo laitteen varustelusta.



Kuva 5. ACS800-17-0790-7. 1. I/O-liitäntä ja ohjaus, 2. lisävarusteena saatava pääkytkin ja tuloliitäntäkenttä, 3. LCL verkkosuodatin, 4. Ulosvedettävä diodisyöttömoduuli, 5. Ulosvedettävät vaihtosuuntajamodulit, lähtöliittimet takana. 6. moottorilähdön kytkentäkenno. (Kuva käyttöön otettavasta taajuusmuuttajasta).

Taulukko 3. ACS800-17-0790-7 nimellisarvot. (ABB Oy 2009, ACS800).

Nimellisarvot		Ei yli- kuormitusta	Normaali käyttö		Raskas käyttö		Melu- taso	Lämpö- häviö	Ilma- virta	Tyypikoodi	Runko- koko
$I_{cont, max}$	I_{max}	$P_{cont, max}$	I_N	P_N	I_{hd}	P_{hd}	dBA	kW	m ³ /h		
A	A	kW	A	kW	A	kW					
659	985	630	632	630	493	450	77	32	6400	ACS800-17-0790-7	2xR8i

Raskas käyttö: Ihd: jatkuva virta, 150 % Ihd sallittu 1 min ajan 5 min välein 40°C lämpötilassa.

Valitun taajuusmuuttajan, ACS800-17-0790-7 varustelu:

- kotelointiluokka IP21 (UL type 1)
- ilmakatkaisija

- syöttötaajuus 50 Hz
- ohjauspaneeli CDP312R, (paikallista parametointia ja ohjausta varten)
- Tiedonsiirtomoduli RDCO-03, joka käyttää ABB tiedonsiirtoprotokollaa DDCS
- EMC/RFI-suodin 2. käyttöympäristöä, rajoittamatonta jakelua varten standardin SFS-EN 61800-3 (runkokoot nxR8i) (kategoria C3) mukaan
- kaapelointi alhaalta
- vakio-ohjelma
- 230 VAC ohjausjännite
- kaapeliläpiviennit
- Common mode filter
- du/dt suodin,
- lakatut piirilevyt
- yksi suomenkielinen dokumentti sarja.

Tilauksessa määritellyt lisävarusteet:

- +H359: moottorilähdön kytkentäkenno
- +K458: Kenttäväyläsovitin, Modbus RTU ABB Drives 600 bittiä/s -19,2 kbittiä/s
- +L501: I/O-laajennusmoduli RDIO-01, 4 x DI/O, 2 x RO)
- +Q964:hätä-seis pysäytys, cat 1.
- +V992: Uusi DSU (diode supply unit), dioditasasuuntaaja

Verkkoonjarrutus

ACS800-17 taajuusmuuttajassa on kaikki verkkoonjarrutuksessa tarvittavat ominaisuudet, verkkosuodin mukaan lukien. Aktiivinen syöttöyksikkö mahdollistaa täyden tehon molempiin suuntiin sekä moottori-, että generaattoritilassa. Energiansäästöt voivat olla huomattavia muihin jarrutusmenetelmiin, kuten mekaaniseen ja vastusjarrutukseen verrattuna. Jarrutusenergia palautuu verkkoon, eikä poistu hukkalämpönä, jonka käsittely voi olla ongelmallista. Vaihto moottori- ja generaattoritilan välillä tapahtuu nopeasti DTC-säädön ansiosta. Aktiivinen syöttöyksikkö pystyy nostamaan lähtöjännitettä, mikä takaa moottorin täyden jännitteen myös verkkojännitteen ollessa nimellisarvoa alhaisempi. Aktiivinen syöttöyksikkö ja DTC-säätö voivat yhdessä jopa kompensoida verkkojännitteen nopeita muutoksia. Sulakkeet eivät pala eivätkä komponentit vaurioidu verkon jännitealeneman yhteydessä. (ABB Oy 2009, ACS800).

PWM-moduloitu verkkosilta vaatii sähköverkon ja verkkosillan väliin kustannuksia nostavan verkkosuodattimen. Ohjattava IGBT-silta on myös tavallista diodisiltaa kalliimpi. Näin ollen aktiivisella verkkosillalla varustettu taajuusmuuttaja on huomattavasti kalliimpi, kuin vastaava diodisillalla varustettu malli. (ABB Oy 2009, ACS800).

Verkkosuodin

Invertteri vaatii lähtöjännitteen suodatuksen, jonka tehtävänä on suodattaa pois invertterin aiheuttamat perustaajuutta suuremmat jännitteen taajuuskomponentit. Suodin voidaan toteuttaa kolmella perustopologialla: LC, LCL ja L+LC. L+LC-suotimen tapauksessa suotimen kuristimien induktanssit tulevat merkittävästi suuremmiksi kuin LCL-suotimella. (Kim ym. 2000 via Nuutinen 2007, 30).

LCL-suodin on alipäästösuodin, joka suodattaa pois perustaajuuden yläpuoliset harmoniset taajuudet. LCL-suodin on LC-suotimeen perustuva suodin, jossa toisella kuristimella saadaan parannettua suodatusta. LCL tyyppinen verkkosuodin rakentuu kahdesta sarjaan kytketystä kelasta ja niiden väliin, rinnalle kytketystä kondensaattorista. (Peltoniemi 2006 via Nuutinen 2007, 36-37)

Kuormituskone

Kuormitusmoottorin tiedot:

- valmistaja: Strömberg
- tyyppi/sarjanumero: HXM 450MK6 / 4513612
- teho: 650 kW
- U: Δ 660 VAC
- In: 714 A
- taajuus: 0-75 Hz
- tehokerroin: 0.82
- koteloituiluokka: IP55
- pyörimisnopeus: nimellinen 1495 rpm, mutta tasapainotettu max. 2400 rpm
- moottorin ulkomitat: l x k x s, n. 1000 x 1000 x 2000 mm.

Epätahtikone generaattorina

Epätahtikonetta voidaan käyttää myös generaattorina. Generaattorikäytössä roottori pyörii epätahdissa magneettikentän kanssa, kuten moottorinakin, mutta nopeammin kuin magneetti-

kenttä. Epätahtigeneraattorit voidaan magnetoinnin perusteella jakaa kahteen ryhmään, verkko- ja kondensaattorimagnetoituihin (itse magnetoituva) epätahtigeneraattoreihin. Verkkomagnetoituidut epätahtigeneraattorit ottavat magnetointivirran sähköverkosta, joten ne eivät pysty syöttämään sähkötehoa muuhun kuin jännitteelliseen verkkoon. Tällaisia verkkomagnetoituja epätahtigeneraattoreita on käytetty esimerkiksi pienitehoisissa vesivoimalaitoksissa ja tuulivoimalaitoksissa. Sen sijaan kondensaattorimagnetoitu epätahtigeneraattori ottaa tarvitsemansa magnetoimisvirran koneen liittimiin kytketyistä magnetoimiskondensaattoreista, joten ne pystyvät toimimaan täysin itsenäisinä generaattoreina. Näitä generaattoreita käytetäänkin usein poltto- tai dieselmoottorin ollessa voimakoneena. Itsemagnetoituvan generaattorin rautaosien pitää olla magneettisesti kyllästyviä, jotta generaattorin heräämiselle välttämätön remanenssivuo olisi olemassa. (Korpinen 2012, 16).

Suunniteltavalla koestuskentällä kuormituskokeessa kuormituskone kytketään kardaaniakselilla mekaanisesti testattavaan moottoriin. Taajuusmuuttajalla ACS800-17 säädetään kuormituskoneelle halutun suuruinen momentti, joka on vastakkainen testattavan moottorin momentille. Tällöin kuormakone toimii generaattorina ja syöttää tehoa taajuusmuuttajan kautta 690 V kiskostoon. Kyseisellä tavalla voidaan kuormitustehoa kierrättää takaisin testattavalle koneelle ja verkosta otetaan pelkästään häviöihin kuuluva teho.

DTC-säätö

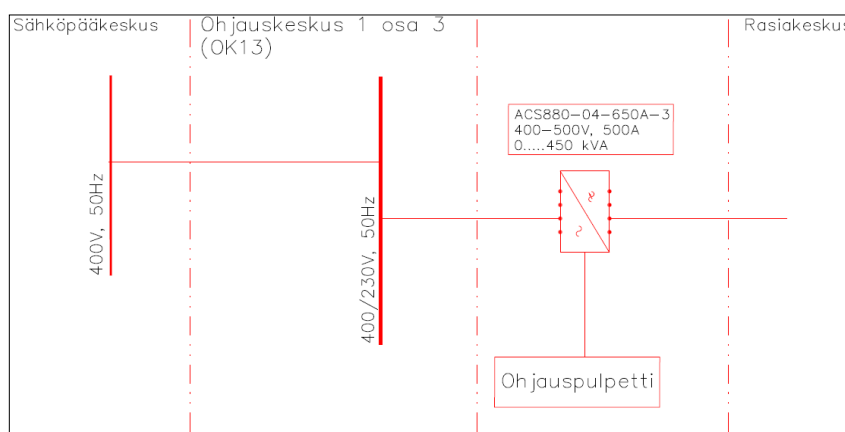
Taajuusmuuttajan pääasialliset säätötavat ovat skalaarisäätö, momenttisäätö, vektorisäätö ja suora momenttisäätö, eli DTC-säätö. Näistä DTC-säätö on kehittynein. Normaalisissa toiminnassa kahta moottorivirran vaihetta ja välipiirin jännitettä mitataan yhdessä taajuusmuuttajan kytkimen asentojen kanssa. Moottorista saadut mittaustulokset käsitellään adaptiivisen moottorimallin avulla. Moottorimallin tarkkuuden ansiosta moottorin tarkat tiedot voidaan laskea. Ennen DTC-käytön käynnistämistä moottorimalliin syötetään tiedot, jotka saadaan moottorin Id ajon aikana. Tätä kutsutaan automaattiviritykseksi, ja sen aikana määritellään mm. staattorin vastus, keskinäisinduktanssi, kyllästymisvakiot ja moottorin hitausmomentti. Moottorimallin parametrit voidaan tunnistaa ilman moottorin akselin pyörittämistä. Näin ollen DTC-tekniikka voidaan asentaa myös jälkeinpäin. Moottorimalli virittyy erittäin tarkasti, kun id-ajossa pyöritetään myös moottorin akselia muutaman sekunnin ajan. (ABB Oy 2001. Tekni-
nen opas nro 1).

Akselin nopeutta tai asentoa ilmoittavaa takometriä tai anturia ei tarvita, jos staattinen nopeustarkkuus on yli 0,5 %, kuten useimmissa teollisuuden sovelluksissa. Tämä on huomattava parannus aikaisempiin vaihtovirtakäyttöihin nähden. Itse asiassa moottorimalli on avain DTC:n hyvään suorituskykyyn alhaisilla nopeuksilla. (ABB Oy 2001. Tekninen opas nro 1).

Moottorimalli lähettää ohjaussignaaleja, jotka kertovat suoraan moottorin todellisen momentin ja todellisen staattorin vuon. Moottorimalli laskee myös akselin nopeuden. (ABB Oy 2001. Tekninen opas nro 1).

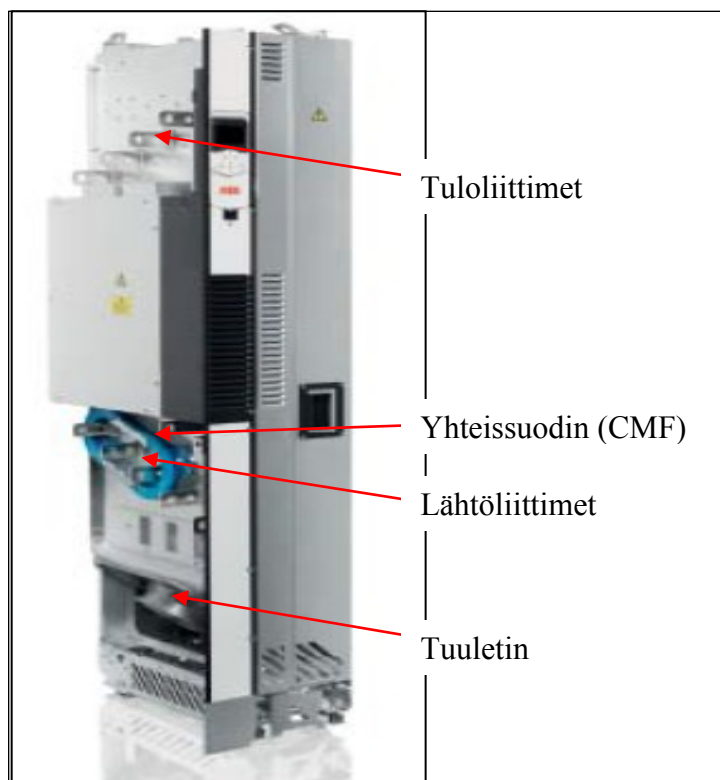
3.2.7 Käyttjävaatimus 8 ja laitevalinnat

Kuviossa 11 on esitetty yksinkertaistettu periaatekaavio käyttjävaatimukselle 8, jossa koe-
stuskentän taajuusmuuttaja- ja tasavirtakäyttöjen syöttöjännite on 400 V. Ohjaus ja valvonta
tehdään kentällä sijaitsevalta ohjauspulpetilta.



Kuvio 11. Alustava kaavio käyttjävaatimuksen 8 toteutukselle (vaatimuksia vastaavat kohdat numeroitu).

Pääkäytöksi vaatimukselle 8 valittiin kuvassa 6 esitetty, tyyppin ACS880-04-650A-3 taajuusmuuttaja, jonka tekniset tiedot on esitetty taulukossa 4.



Kuva 6. Kennoon asennettava ACS880-04-650A-3. (ABB Oy 2013. ABB industrial drives).

Taulukko 4. ACS880-04-650A-3 tekniset tiedot. (ABB Oy 2013. ABB industrial drives).

$U_N = 400 \text{ V}$ (range 380 to 415 V). The power ratings are valid at nominal voltage 400 V (250 to 1400 kW).											
Nominal ratings			Light-overload use		Heavy-duty use		Noise level	Heat dissipation	Air flow	Type designation	Frame size
I_N A	I_{max} A	P_N kW	I_{Ld} A	P_{Ld} kW	I_{Hd} A	P_{Hd} kW	dB(A)	W	m ³ /h		
650	730	355	634	355	477	250	72	8122	1200	ACS880-04-650A-3	R10

Moottorin normaali virta-alue on 1/6...2 * I_N DTC-säädöllä ja 0 ...2 * I_N skalaarisäädöllä.
Säätötila valitaan käytön parametreilla.

3.3 Keskukset ja tilat

Koestuskentän käyttöön hankitaan uusi ohjauskeskus ja ohjauspulpetti joiden koko ja niihin sijoitettavat laitteet määrittyvät suunnitteluvaiheessa. Testattavien koneiden kytkeminen järjestelmään tehdään erillisessä liityntäkotelossa. Muut mahdolliset keskukset ja kotelot määritetään suunnitteluvaiheen edetessä. Keskusten toimittajaksi valittiin Oulun Teollisuuskojeistot Oy (Outeko Oy), joka tekee myös keskussuunnittelun määritysten ja piirikaavioiden pohjalta.

4 SUUNNITTELUVAIHE

Koestuskentän yksityiskohtainen suunnittelu aloitettiin kun reunaehdot ja käyttäjävaatimukset oli määritelty. Suunnitteluvaiheen etappina on *toteutuslupa* järjestelmälle tai sen osalle.

4.1 Järjestelmän tunnistheet

Suunnittelun ensimmäisenä vaiheena oli koekenttäjärjestelmän tunnisteeden määrittäminen. Järjestelmän tunnisteeissa käytetään pääosin Suomen standardisoimisliiton julkaiseman SFS-käsikirjan 16 mukaisia tunnisteeita.

Tunnistheet ovat helposti käsiteltäviä pääasiassa yleisesti käytettyjä lyhenteitä, joilla erotellaan järjestelmän osat ja komponentit toisistaan. Koestuskentän laitteiden tunnistehierarkia on esitetty liitteessä 1.

4.2 Sähköverkko

Suunniteltavalla koestuskentällä suurimmat tehohuiput tapahtuvat testattavan moottorin kuormituskokeessa, ohjauskeskuksen 690 V kentästä. Kuormitusteho suunnitellaan syötettäväksi takaisin 690 V kiskoon ja sieltä taas testattavalle moottorille. Näin pääkeskuksen kautta otetaan pelkästään häviöihin kuluva teho. Säättömuuntajan ja 400 V kiskoston teho otetaan pääkeskuksen kautta.

Edellä mainitusta tehonkierrätyksestä huolimatta selvitettiin, mikä on ohjauskeskusta syöttävän verkon kuormitettavuus. Kuormitettavuuteen vaikuttavat kiinteistöä syöttävä jakeluverkko, kiinteistön loisteho ja mahdolliset yliaallot.

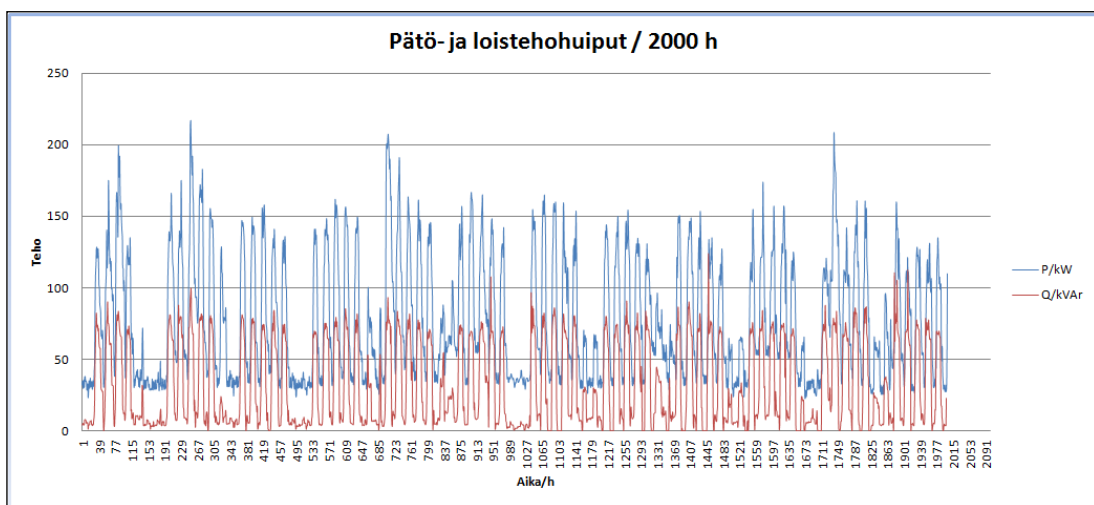
Kiinteistöllä on oma kiinteistömuuntaja, jonka nimellisteho on 800 kVA. Jakeluverkon haltija, Oulun Energia Oy (myöhemmin OEOy) ilmoitti verkon kykenevän syöttämään muuntajan nimellistehon. OEOy:ltä saadun tiedon mukaan oikosulkuvirrat 20 kV kiskostossa ovat:

- kolmivaiheinen oikosulkuvirta, I_{k3} on 6.2 kA
- kaksivaiheinen oikosulkuvirta, I_{k2} on 4.7 kA.

(Kylli 2013. sähköpostiviesti).

OEOy:ltä pyydettiin tietoja myös kiinteistön kulutuksesta. Tietojen saaminen oli helppoa, koska kiinteistöllä on automaattinen kulutuksenmittaus. OEOy toimitti kulutuslukemat vuoden 2012 ajalta, 2 min mittausvälillä.

Tietojen perusteella laadittiin kuvion 12 mukainen graafinen kuvaaja pätö- ja loistehosta. Kuvion aikajana on selkeyden vuoksi rajattu kolmeksi kuukaudeksi (tammikuu-maaliskuu 2012). Kuvaajasta nähdään hyvin vuorokautinen ja viikoittainen tehovaihtelu. Pätötehohuiput ovat kuvaajan mukaan keskimäärin noin 160 kW ja satunnaiset huipputehot n. 200 kW. Loistehohuiput ovat keskimäärin n. 80 kVAr.



Kuvio 12. Kiinteistön ottama sähköteho ajalta tammikuu-maaliskuu 2012. Laadittu Oulun Energia Oy ilmoittamien lukujen perusteella.

Kiinteistömuuntajan kuormitusta laskettaessa täytyy laskea muuntajaa kuormittava kokonais-teho, eli näennäesteho, joka saadaan laskettua pätö- ja loistehosta.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2)$$

missä

S on näennäesteho

P on pätöteho

Q on loisteho

Kiinteistömuuntajaa kuormittava näennäesteho

$$S = \sqrt{(160kW)^2 + (80kVAr)^2}$$

$$S = 197kVA$$

Koestuskenttä voi siis kuormittaa kiinteistömuuntajaa ja siten myös syöttävää verkkoa teholla.

$$S = 800kVA - 197kVA$$

$$S = 603kVA$$

Koska OEOy:ltä saadut teholumemat sisälsivät myös nykyisen koestuskentän kuormitustehoa, voidaan laskettu kapasiteetti katsoa riittäväksi uudelle koestuskentälle. Kapasiteettia on mahdollista kasvattaa kompensoimalla loistehoa pois kuormituksesta.

4.2.1 Loisteho

Kiinteistössä on loistehonkompensointilaitteisto, jossa on taulukon 5 mukainen kompensointiporrastus. Laitteiston näyttöpaneelin ja mitatun loistehon perusteella on todennäköistä, että taulukossa oleva, laitteen keskimäinen 50 kVAr kondensaattoriparisto on viallinen.

Taulukko 5. ABB Oulun kiinteistön loistehon kompensointiporrastus (laitemanuaali)

Porras	25 kVAr	50 kVAr	50 kVAr
1	x		
2		x	
3	x	x	
4		x	x
5	x	x	x

Vajaa kompensointi voi aiheuttaa kuormitettavuuden rajoituksen lisäksi myös ylimääräisiä kustannuksia, josta kertoo seuraava OEOy:n, ABB kiinteistöstä ilmoittama laskelma.

Loistehoveloitus määräytyy laskutuskauden aikana esiintyneen suurimman 60 minuutin loishuipun mukaan. Loistehohuipusta jätetään veloittamatta 0,16 kVAr kutakin samalta laskutuskaudelta veloittavan pätötehuipun kilowattia kohti. Tehomaksu määräytyy 12kk aikaikkunan kahden suurimman pätötehon mukaan. Esimerkiksi, marraskuussa tehomaksu on ollut 215,7 kW:sta ja suurin loisteho on ollut 126,6 kVAr.

Loistehomaksun määräytyminen:

$$215,7 \text{ kW} \times 0,16 = 34,512 \text{ kW.}$$

$$126,6 \text{ kVAr} - 34,512 \text{ kVAr} = 92,9 \text{ kVAr}$$

Marraskuussa on maksettu loistehomaksua 92,9 kVAr loistehosta. Tämä 92,9 kVAr osuus on kompensoitavissa pois, jolloin loistehomaksu tippuu nolnaan.

Loistehomaksu on 0,92€/kVAr/kk.

(Kylli 2013. Sähköpostiviesti).

4.2.2 Yliaallot

Sähkönjakelujärjestelmään kytketyt epälineaariset kuormat synnyttävät yliaaltovirtoja ja jännitteitä. Yliaaltosärö on yksi sähkölaitteistossa muodostuva saasteen muoto, joka voi aiheuttaa ongelmia, jos yliaaltovirrat ylittävät tietyt rajat. Kaikki erilaisissa sähkölaitteistossa käytetyt tehoelektroniikkalaitteet voivat lisätä yliaaltosäröjä levittämällä yliaaltovirtoja suoraan verkkoon. (ABB Oy 2001. Tekninen opas 6).

Tavallisia epälineaarisia kuormia ovat moottorin käynnistimet, nopeussäädetyt käytöt, tietokoneet ja muut elektroniikkalaitteet, elektroniset valonsäätimet, hitsauslaitteet ja UPS-laitteet. Yliaaltojen vaikutuksesta yliaaltoja synnyttävien laitteiden kanssa samaan sähkönsyöttöön kytketyt muuntajat, kaapelit, moottorit, generaattorit ja kondensaattorit voivat ylikuumeta. Elektroniset näytöt ja valot saattavat vilkkua, katkaisijat voivat laueta, tietokoneet voivat kaa-tua ja mittalaitteet antavat vääriä lukemia. (ABB Oy 2001. Tekninen opas 6).

Jos yllä mainittujen oireiden syytä ei tiedetä, on syytä tutkia sähkönjakelujärjestelmän yliaaltosärö. Vaikutukset näkyvät todennäköisesti asiakkaan laitteissa ennen kuin ne näkyvät syöttävässä verkossa. (ABB Oy 2001. Tekninen opas 6).

Koestuskentän laskelmissa ei yliaaltoja huomioida, koska kentälle hankituissa laitteissa on hyvä yliaaltojen suodatus. Tarvittaessa yliaallot voidaan mitata myöhemmin käytössä olevasta laitteistosta, verkkoanalysointilaitteella ja rajoittaa kuormitustehoja.

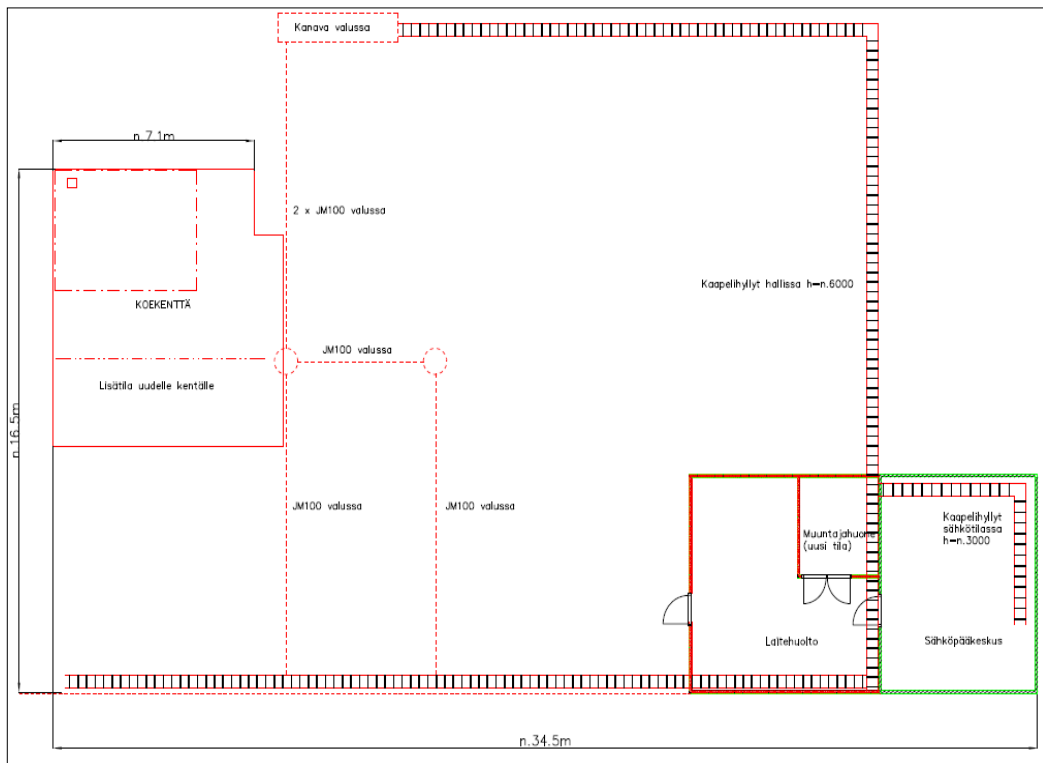
4.3 Tila- ja layoutsuunnittelu

Tilasuunnittelussa päätetään laitteiden ja toimintojen sijoittelu koekentän käyttöön varattuihin tiloihin, sekä kulku- ja kaapelireitit. Laitesijoitteluun vaikuttivat seuraavat tekijät:

- kaapelireitit ja olemassa olevien kaapelointien hyödyntäminen
- tuotantokatkoksen minimoiminen siirryttäessä käyttämään uutta koestuskenttää
- laitteiden käytettävyys ja toiminnallisuus
- turvallisuus
- käytettävissä olevat tilat
- budjetti.

Nykyiselle koestuskentälle oli sähkösyöttö sähköpääkeskukselta tehty kahdella MCMK3x185+95 ja kahdella MCMK3x240+120 kaapelilla. Kyseiset kaapelit oli korjaamohallin pituussuunnassa viety seinien vieressä kaapelihyllyillä ja koestuskentän kohdalla laskettu lattian sisässä kulkeviin asennusputkiin. Määrittelyvaiheessa todettiin, että kyseisten kaapeleiden muuttaminen on erittäin vaikea tehtävä, eikä uusille kaapeleille ole lattian alla olevissa kanavissa ja putkissa vapaata tilaa. Siksi suunnitelmat pyritään tekemään käyttäen olemassa olevia pääsyöttökaapeleita, jotka suurelta osin määrittelevät laitteiden sijoituksen.

Suuren laitemäärän ja koestuskentän rajallisen tilan takia oli välttämätöntä sijoittaa osa laitteista muualle kuin varsinaiselle koestuskentälle. Tarkastelujen perusteella päädyttiin kuvion 13 mukaiseen tilaratkaisuun, jossa säätö- ja nostomuuntaja sijoitetaan sähköpääkeskuksen viereiseen tilaan rakennettavaan muuntajahuoneeseen. Kuvioista käy selville myös sähkötilojen ja koestuskentän väliset kaapelireitit.



Kuvio 13. Koestuskentän toimintaan liittyvät tilat ja olemassa olevat kapelihyllyt.

4.3.1 Muuntajatilat ja laitteet

Rakenteet ja tilan mitoitus

Sisälle asennettavien muuntajien tilojen paloturvallisuuden suhteen on noudatettava Suomen rakentamismääräyskokoelman julkaisun E 1 vaatimuksia. Rakennukseen sijoitettava muuntaamo on rakennettava omaksi palo-osastokseen, ellei käytetä luokan F1 tai F2 kuivamuuntajaa. Luokan F1 ja F2 kuivamuuntajille ei vaadita muuntajapalon takia paloteknistä osastointia, mutta osastointi voi olla tarpeen sen takia, että muuntajia halutaan suojata ulkopuolisen tulipalon aiheuttamilta vaurioilta.

Ovien palonkestävyys on oltava vähintään puolet rakennuksen palonkestoajasta. Ulkotilaan aukeavissa ovissa riittää, että niiden materiaali on vaikeasti syttyvä ja paloa levittämätön (E1 mukainen luokka 1/I, tulevaisuudessa luokka B-s1, d0). Jos käytetään automaattista palonsammutuslaitteistoa, voidaan harkita lievennyksiä palosuojausvaatimukseen julkaisun E1 mukaisesti. (SFS 6001 + A1 + A2, 7.6.2.2).

Harmonisointidokumentissa HD 464 kuivamuuntajat jaetaan palokäyttötymisen mukaan seuraaviin luokkiin:

- luokka F0, jossa ei ole erityistoimenpiteitä syttyvyyden vähentämiseksi.
- luokka F1, jossa vaaditaan rajoitettua syttyvyyttä. Palon tulee sammua itsestään määrätyn ajan kuluttua.
- luokka F2, jossa muuntajan pitää toimia määrätty aika tulipalon aikana. Myös luokan F1 vaatimusten pitää täytyä.

(SFS 6001 + A1 + A2 / 7.6.2).

Sähkötiloihin ja teollisuusrakennuksien sähkölaitetiloihin on asetettava tilan ulkopuolelle ja kuhunkin sisäänkäyntioveen tilan tunnistetiedot ja merkinnät vaaroista. Kilpien on täytettävä valtioneuvoston päätöksessä (976/1994) esitetyt vaatimukset. (SFS 6001 + A1 + A2, 7.8.2).

Käyttöön otettavat kuivamuuntajat määritetään kuuluvaksi luokkaan F0. Koska rakennuksessa on enintään 2 kerrosta, saadaan taulukosta 6 muuntajatilien kantaville rakenteille vaatimukseksi R60 ja osastoiville rakenteille vaatimukseksi EI60.

Taulukko 6. Kantavien ja osastoivien rakenteiden vaatimukset (Energiateollisuus. Verkosuositus RM 3:02).

Kerroksien lukumäärä	01 luokan eristysnestettä sisältävän muuntajan tila		F0 luokan kuivamuuntaja - tai kojeistotila	
	Kantavien rakennusosien vaatimukset	Osastoivien rakennusosien vaatimukset	Kantavien rakennusosien vaatimukset	Osastoivien rakennusosien vaatimukset
Enintään 2	R 120	EI 120	R 60	EI 60
3-8 tai 1. kellaritaso	R 180	EI 120	R 60	EI 60
yli 8 tai 1. kellaritason alapuolella	R 240	EI 120	R 120	EI 120

Muuntajan edessä on oltava vähintään 800 mm leveä hoitokäytävä, jolta käsin on voitava suorittaa tilan valaisimen huolto ja muuntajan valvontatoimenpiteet muuntajan ollessa jännitteinen. Muuntajan tahaton koskettaminen sen ollessa jännitteinen on estettävä kotelolla, suojuksella tai sijoittamalla se kosketusetäisyyden ulkopuolelle. Muuntajan vaihto on voitava suorittaa rakenteita muuttamatta. (PSK 2001).

Ilmanvaihto

Muuntajatilän jäähdytys tapahtuu pääasiassa luonnonkierrolla. Muuntajatilassa pitää olla pystysuuntainen ilmavirta siten, että ilman sisäänvirtaus tapahtuu muuntajan alapuolelta ja ulosvirtaus yläpuolelta. Virtaus on mitoittettava muuntajan kokonaishäviöiden mukaan, yleensä 3-5 m³ / min / kW. Mikäli tarvittavaa virtausta ei saavuteta luonnonkierrolla, on käytettävä koneellista ilmastointia. Tuuletusritilät ja -venttiilit eivät saa liiaksi rajoittaa ilmavirran kulkua ilman sisään- ja ulostuloaukoissa. Tarkka mitoitus tehdään muuntajatoimittajan ohjeiden mukaan. Koteloidun kuivamuuntajan kotelon ja lattian väliin on jäätävä vähintään 250 mm etäisyys. (PSK 2001).

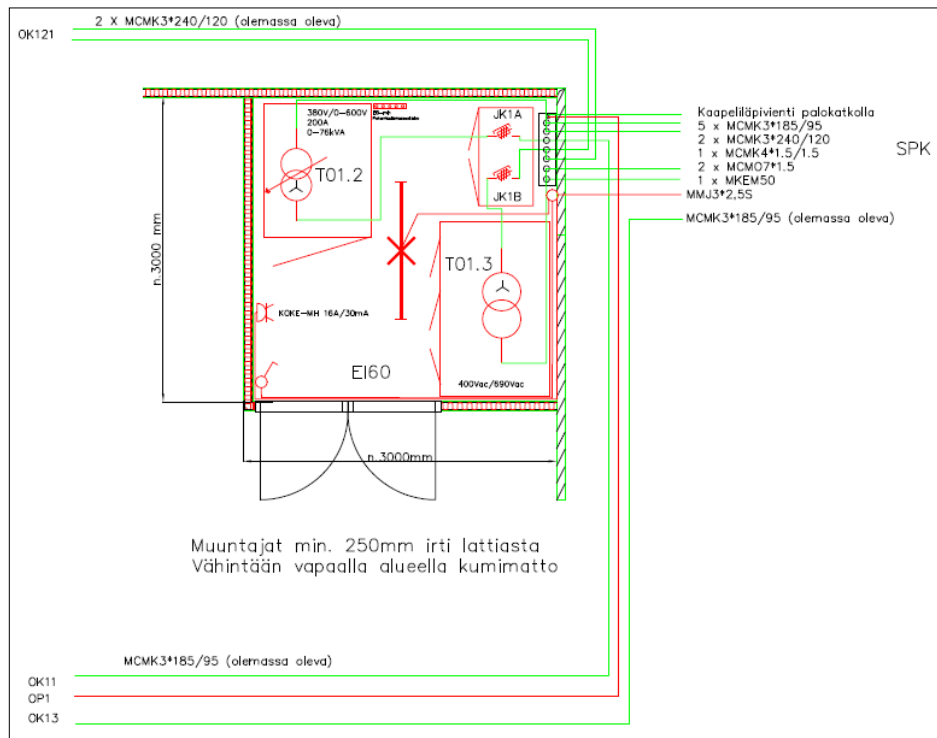
Sähköpääkeskukseen ja muuntajatilaan asennettiin jo suunnitteluvaiheen aikana koneellinen ilmanvaihto. Ilmanvaihdon tarvetta helpottaa tieto, että muuntajien yhtäaikainen kuormitus on epätodennäköinen, muuntajia kuormitetaan lyhytaikaisesti ja alle niiden nimelliskuormituksen. Muuntajille rakennetaan vähintään 250 mm:n korkuiset jalustat.

Valaistus ja pistorasiat

Muuntajatilaan asennetaan riittävä valaistus ja 2-osainen vikavirtasuojattu suojakosketinpistorasia. Valaisin sijoitetaan siten, että lamppu voidaan vaaratta vaihtaa hoitokäytävältä muuntajan ollessa jännitteinen. Muuntajatilän valaistus otetaan varmennetusta verkosta, jos mahdollista (PSK 2001). Koestuskentälle suunnitelmat tehdään näiden vaatimuksen mukaisesti poikkeuksella, ettei valaistusta syötetä varmennetusta verkosta.

Putket ja kanavat

Muuntajatilän kautta ei saa johtaa mitään muuntajatilän käyttöön liittymättömiä putkia, kanavia tai kaapeleita (PSK 2001). Kuviossa 14 on esitetty suunnitelma laitesijoittelulle muuntajahuoneessa. Kuvioon on piirretty myös kojeisto JK1, jonka kautta lähtevät syöttökaapelit koestuskentälle. Kuviossa on esitetty muut tilaan tulevat ja siitä lähtevät kaapelit, lukuun ottamatta maadoitukseen ja potentiaalintasaukseen kuuluvia johdotuksia, jotka käsitellään myöhemmin kappaleessa 14, maadoitukset.



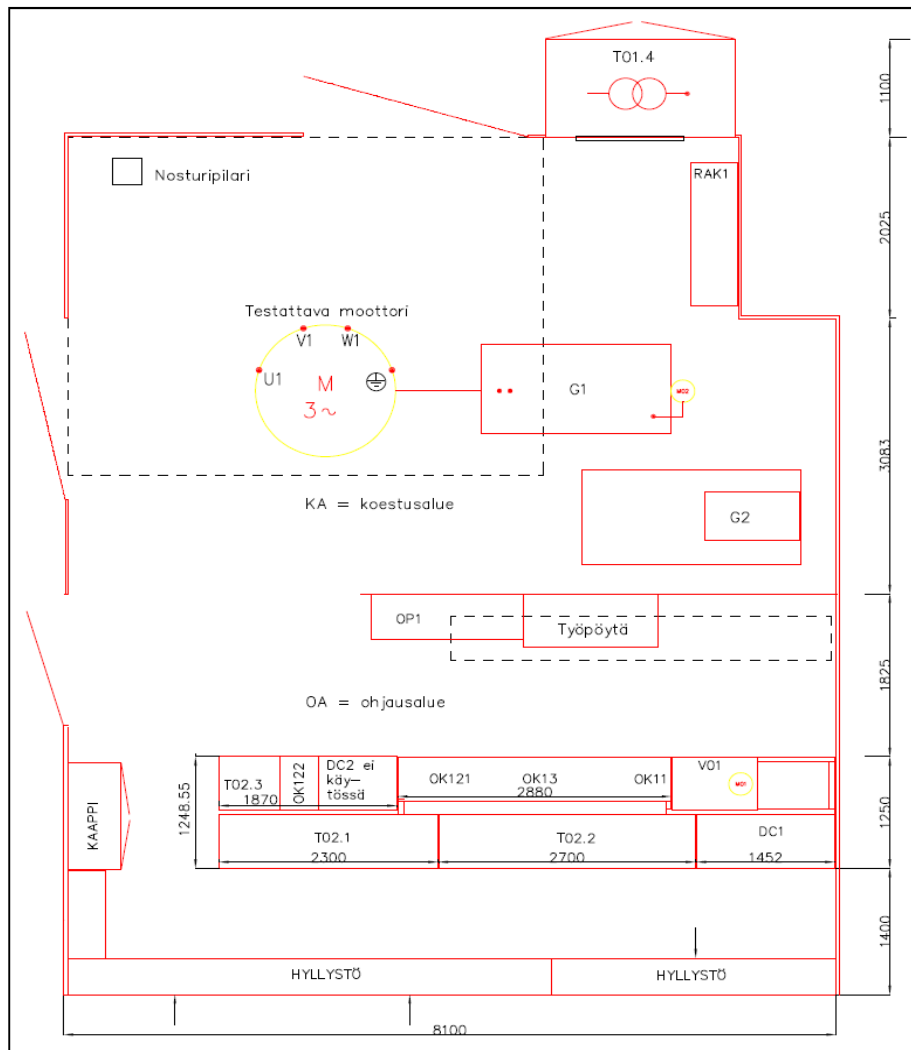
Kuvio 14. Muuntajatilan layout- ja sähköistysuunnitelma

4.3.2 Koestuskentän layout:

Laitteet, kojeet, kaapeli- ja kulkureitit tulee sijoittaa siten, että standardin SFS-EN 50191 (sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö) vaatimus toteutuu.

”Testauspaikan työskentelyalueen on oltava sellainen, että testaushenkilöiden liikkuminen on esteetöntä. Kansalliset säännökset on otettava huomioon”. (SFS-EN 50191).

Laitteet ja keskuskokonaisuus sijoitetaan alueelle siten, että sen rakentaminen on pääosin mahdollista olemassa olevan koestuskentän käytön aikana. Kuviossa 15 on OP1 ja työpöydän kohdalle katkoviivalla merkitty vanhan ohjauskeskuksen paikka, johon olemassa oleva koestuskenttä rajoittuu. Kaapeloinnit pyrittiin pitämään mahdollisimman lyhyinä ja vähän risteytinä. Tämä oli aiheellista jo pelkästään kaapeleiden suurten kokojen takia. Vähemmän, itse laitteelta ohjausta tarvitsevat laitteet sijoitetaan kauemmas ohjauspulpetilta. Ohjausalueella olevan laitekokonaisuuden alle suunniteltiin 250 mm korkuinen alustakehikko, helpottamaan järjestelmän kaapelointia. Alustakehikon rakennekuva on esitetty liitteessä 4.



Kuvio 15. Koestuskentän layoutsuunnitelma.

Testattavaan moottoriin liitettävät kaapelit tuodaan, joko muuntajalta T01.4 tai rasiakeskuksesta RAK1. Tähän päädyttiin turvallisuuden ja käytettävyyden takia, ettei moottorin kytkentäkaapeleita tarvitse viedä ohjausalueen puoleisella lattia-alueella.

Välijännitemuuntajalle T01.4 suunnitellaan uusi suojakaappi, josta tulee osa koestuskentän suojaseinää. Muuntajan huoltoa varten olevat, lukittavat ovet sijoitetaan koestuskentän ulkopuolelle ja koestuskentän puolelle sijoitetaan kytkentäluokku, josta voidaan kytkeä kaapelit haluttuun toisiojännitteeseen. Kaapin alaosa tehdään öljynpitäväksi ja katto siten, että se voidaan poistaa muuntajan asennusta ja poistoa varten. Kaapin johtavien osien etäisyys muuntajan navoista suunnitellaan noudattaen taulukon 7 ilmoittamia, jännitteitä vastaavia vähimmäisilmavälejä. Muuntajakaapin rakennepiirustus on esitetty liitteessä 5.

Taulukko 7. Nimellisjännitteitä vastaavat vähimmäisilmavälit (SFS EN60071-1).

Järjestelmän nimellisjännite U_n (tehollisarvo) kV	Pienin vaiheen ja maan ja vaiheiden välinen etäisyys (N) sisäasennukset mm	Pienin vaiheen ja maan ja vaiheiden välinen etäisyys (N) ulkoasennukset mm
3	60	120
6	90	120
10	120	150

Layoutkuviossa 15 esitettyjen laitteiden tunnistetta vastaavat kuvaukset ovat:

- DC1: DCS602, AC/DC-silta 690 VAC/750 VDC, 730 A/900 A
- DC2: DCS502-0250-41-21P2010, 400 VAC/430 VDC, 205 A/250 A
- G1: AC kuormituskone, 630 kW
- G2: DC kuormituskone, 80 kW
- M01: sinisuotimen tuuletinmoottori
- M02: G1:n tuuletinmoottori, 400 V, 1.5 kW
- OK11: ohjauskeskus 1, 0 ... 630 V kenttä
- OK121: 690 V, 50 Hz kenttä
- OK122: 0..690 V, 0...100 Hz kenttä
- OP1: ohjauspulpetti
- RAK1: rasiakeskus
- T01.4: välijännitemuuntaja 380 V/3,15 kV, 6,3 kV, 10,5 kV
- T02.1: ACS800-07-0750-7 0-690 V/628 A, 630 kW
- T02.2: ACS800-17-0790-7, 690 V, 659 A, 630 kW
- T02.3: ACS880-04-650A-3, 400 V, 650 A, 355 kW
- V01: sinisuodin, NSIN1380-6 1xD4+2xR8i, 690 V/885 A/810 kW.

Edellä mainituista, kuormituskoneelle G2 ja tasasähkökäytölle DC2 on tehty pelkästään tilavaraus ja ne on muilta osin rajattu pois tästä opinnäytetyöstä.

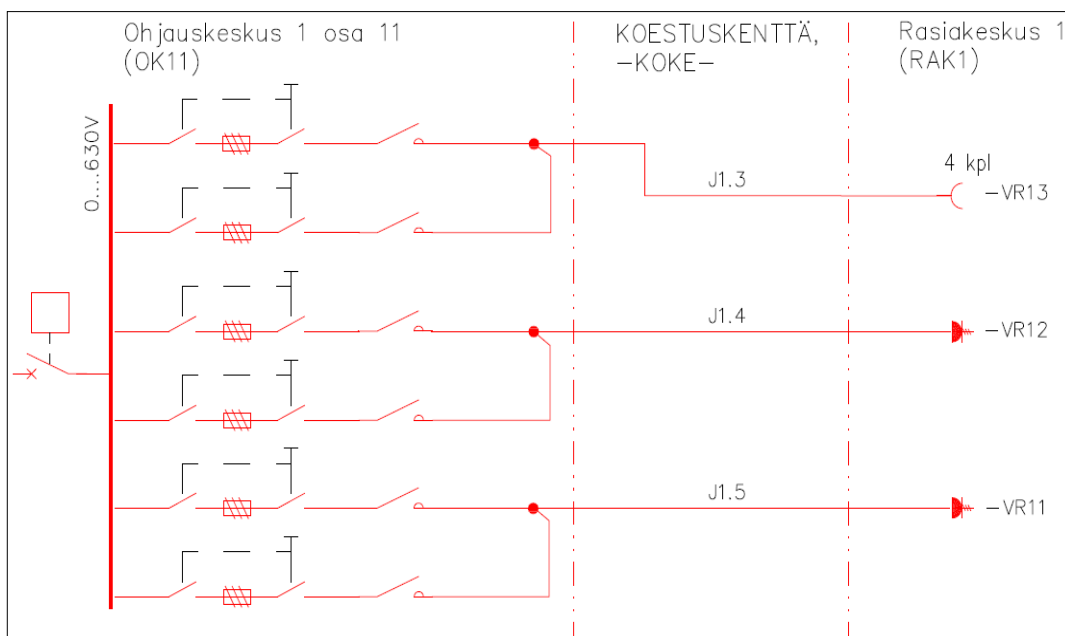
Käyttöhenkilöstön toiveiden mukaan, koestuskentälle sijoitetaan 230 V pistorasioita siirrettäviä mittalaitteita varten. Valaistukseksi katsottiin riittävän korjaamohallin yleisvalaistus. Kentän vahvavirta kaapelireitit, 230 V pistorasiat ja maadoituspisteet on esitetty tasopiirustuksessa 05-012-KOKE, liitteessä 6.

Kaapelireitteinä käytetään kaapelihyllyjä, johtokanavia ja alumiiniputkia. Ne sijoitetaan siten, etteivät ne vaikeuta liikumista ja työskentelyä kentällä. Ohjaus- ja vahvavirtakaapeleiden reitit erotetaan häiriöiden estämiseksi toisistaan.

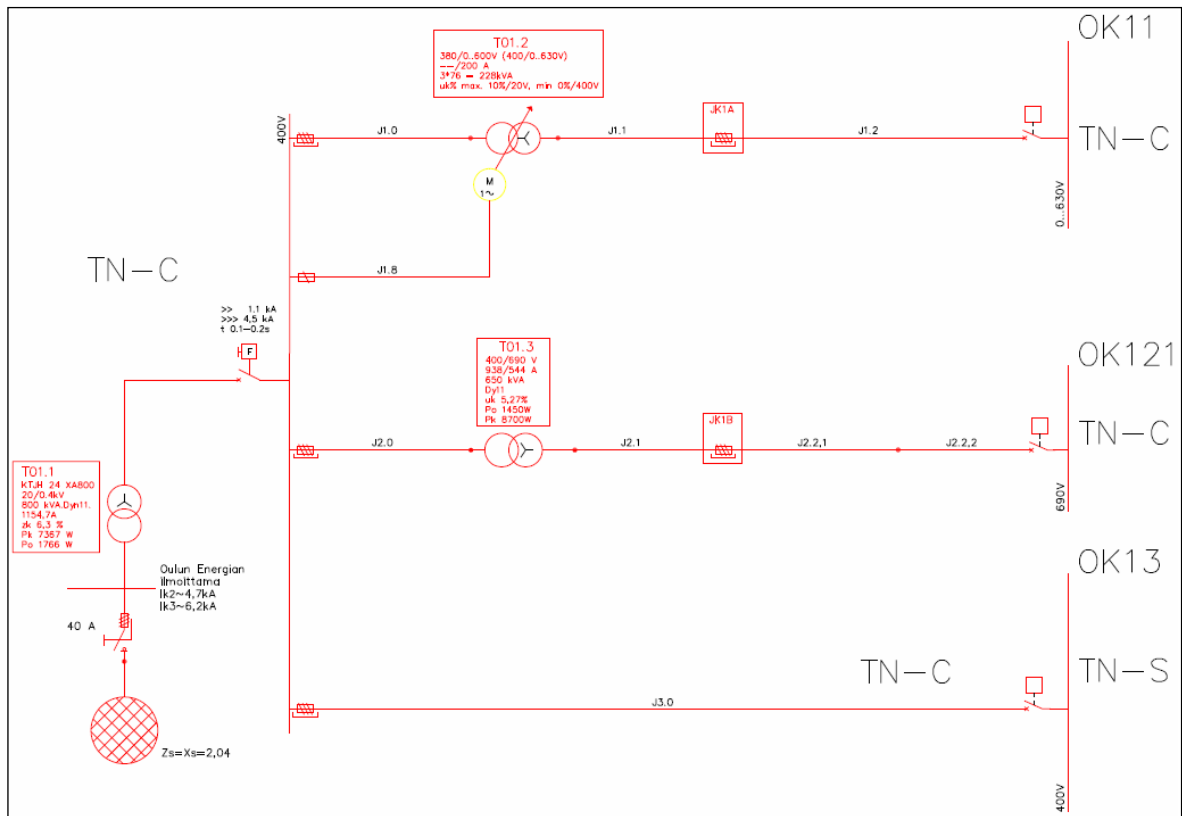
4.3.3 Koestuskentän sähköverkon rakenne

Edellä esitettyjen määrittelyjen ja selvitysten perusteella laadittiin koestuskentän alustavat periaatekaaviot. Sähköpääkaaviossa esitetään vahvavirtajärjestelmän laitteet, kojeistot, kojeet ja kaapelit. Kaapeleissa käytetään selvyuden vuoksi lyhyitä, pelkästään suunnittelun ajan käytettäviä ns. työtunnisteita.

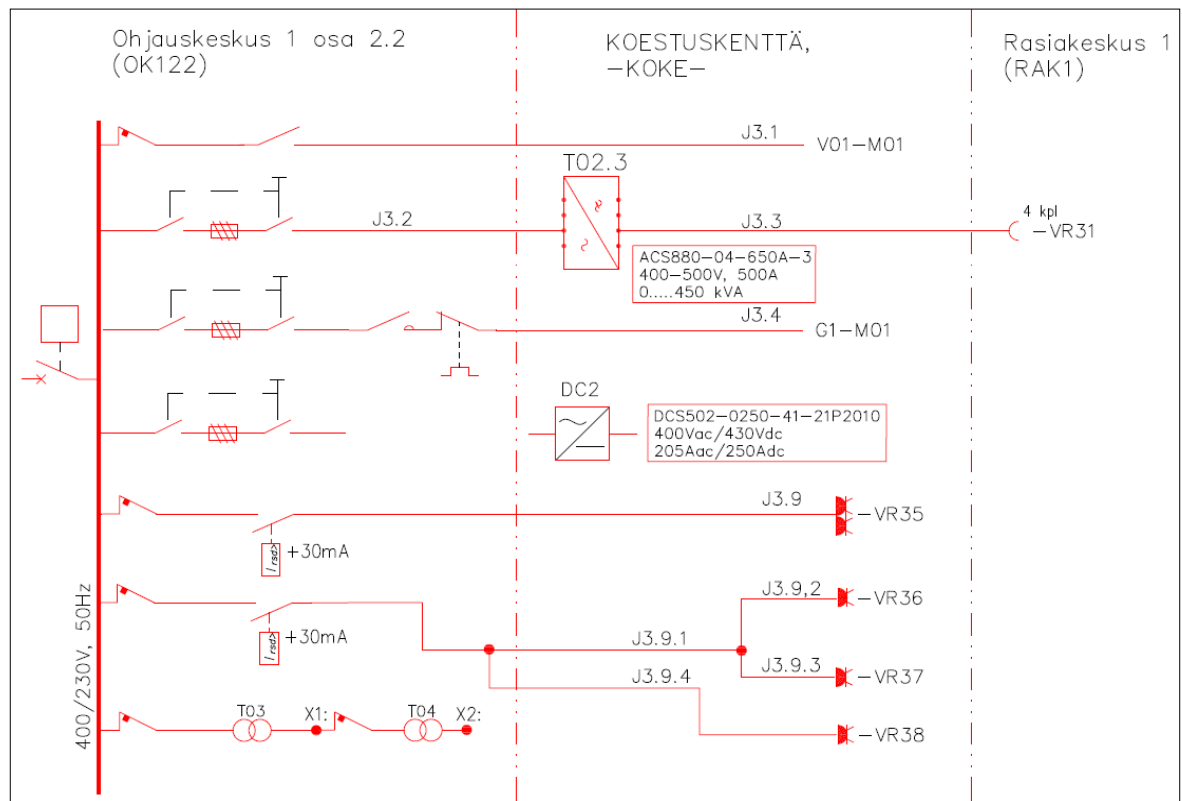
Ohjauskeskuksen OK11 periaatekaavio on esitetty kuviossa 16. Syöttävän verkon ja ohjauskeskuksen 1 välinen periaatekaavio on esitetty kuviossa 17, OK13 kuviossa 18 ja OK121/122 kuviossa 19. Pääkaavioihin on merkitty ennen varsinaista mitoitusta tiedossa olevat laite- ja kaapelitiedot.



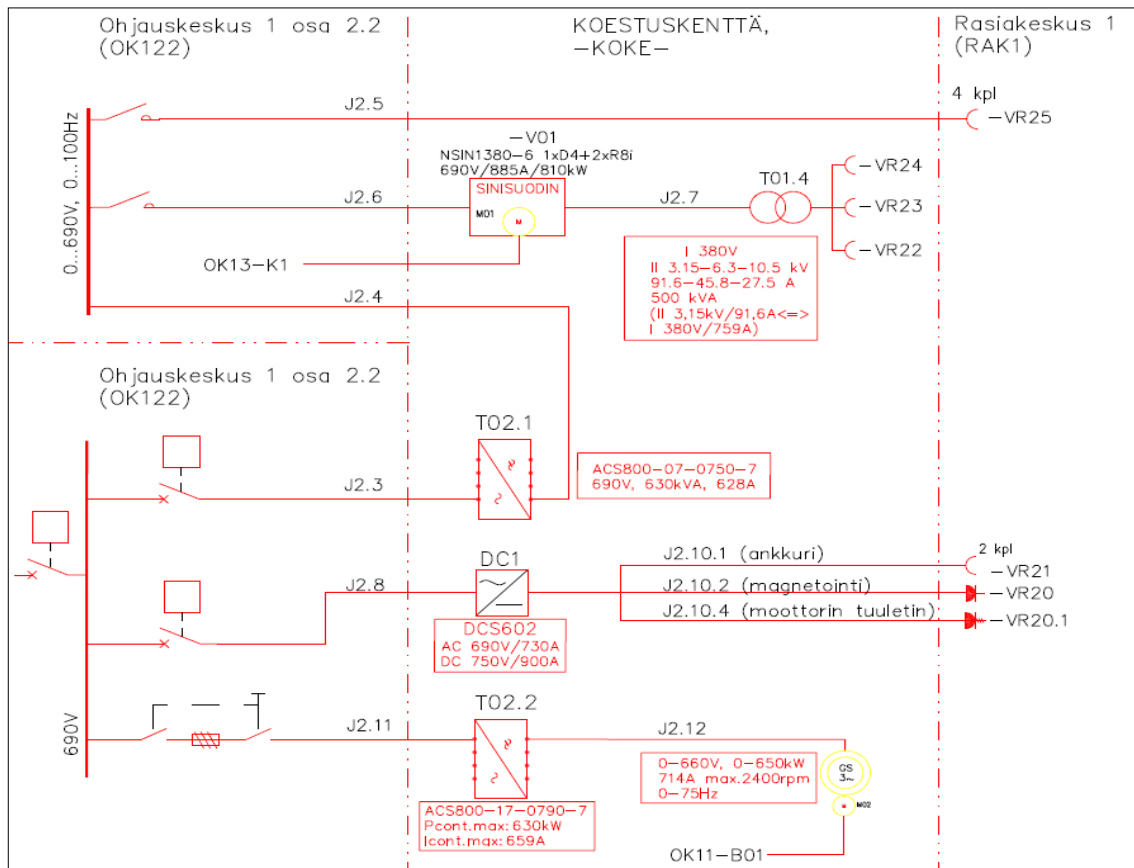
Kuvio 16. Ohjauskeskus 1 kenttä 1 (OK11), säädettävät kenttälähdöt 0 ... 630 V.



Kuvio 17. Pääkeskuksen ja koestuskentän kiskostojen väliset kaapeloinnit ja suojaukset



Kuvio 18. Ohjauskeskus 1 kenttä 3 (OK13), 400 V ja 230 V kenttälähdöt, sekä jännitteenjako.



Kuvio 19. Ohjauskeskus 1 kentän 2.1 690 V kenttälähdöt, sekä kentän 2.2 taajuusmuuttajaohjatut kenttälähdöt.

5 KAAPELEIDEN JA SUOJAUSTEN KUORMITUKSEN MUKAINEN MITOITUS

Määrittelyvaiheessa päätettiin alustavien laskelmien perusteella, että koestuskentän pääsyötöt pääkeskukselta toteutetaan olemassa olevilla neljällä syöttökaapelilla. Tämän vuoksi mitoitus pääsyöttöjen osalta perustuu ko. kaapeleiden maksimikuormitettavuuteen, joka taas perustuu kaapelityyppiin ja ympäristöolosuhteisiin. Muut kuin jo olemassa olevat kaapelit ja suojaukset mitoitetaan kuormitusvirran mukaan.

5.1 Kaapeleiden ja suojausten mitoitus

SFS 6000 osa 5-51 käsittelee sähkölaitteiden valintaa ja asentamista. Se esittää yleiset säännöt suojausmenetelmien soveltamiselle, vaatimukset asennuksen oikealle toiminnalle aiotussa käytössä ja ulkoisista olosuhteista johtuvat vaatimukset (SFS 6000-5-51). Pienjänniteverkon kaapelit, suojaukset ja keskukset mitoitetaan niissä esiintyvien kuormitus- ja vikavirtojen perusteella. Kuormitusvirta riippuu verkon syöttämän laitteiston tehontarpeesta.

Mitoituksen perustehtävät:

- Mitoitusarvojen selvittäminen.
- Ylikuormitussuojien valinta.
- Johdon poikkipinnan määrittäminen, ympäristöolosuhteet huomioituna.
- Oikosulkusuojauksen toteutuminen. Yleensä tehdään ylikuormitussuojaus ja tarkastetaan sen jälkeen oikosulku- ja kosketusjännitesuojauksen toteutuminen.
- Kosketusjännitesuojaus \Leftrightarrow syötön nopean poiskytkennän ehdot.
- Suojalaitteiden selektiivisyyden arviointi.
- Jännitealeneman määrittäminen.
- Mitoitusarvot suurimman kuormituksen mukaan, osakuormitusten eriaikaisuus voidaan ottaa huomioon.
- Suunnittelussa huomioitava kustannukset – ylimitoitus on kallista.

Mitoituksessa pyritään löytämään joko suojalaitteen valinnan jälkeen johdinpoikkipinta tai olemassa olevalle johdolle sopiva suojalaite. Tavoite on siis johdinpoikkipinnan ja suojalaitteen yhdistelmä, jolla asennusolosuhteissa johto ei lämpene liikaa normaali käytössä. Mitoi-

tustapa riippuu siitä, mitoitetanko kuormitusvirta kaapelin mukaan vai kaapelit kuormituksen mukaan. (Harsia 2009, haettu 20.2.2014).

Suojalaitteen mitoitus johtimen mukaan:

- 1) Määritetään johdon asennustavat ja asennusolosuhteet.
 - 2) Valitaan johdinpoikkipintaa vastaava johdon suurin sallittu virta (I_m) kuormitustaulukoista.
 - 3) Valitaan olosuhteita vastaavat korjauskertoimet.
 - 4) Kerrotaan sallittu suurin virta korjauskertoimilla ($I_Z = I_t * k$).
 - 5) Lasketaan johtoa suojaava suojalaitteen mitoitusvirta (I_N).
- (Harsia 2009, haettu 20.2.2014).

Johtimen mitoitus kuormituksen mukaan:

- 1) Lasketaan virtapiiriin mitoitusvirta (I_B) tehotiedoista.
 - 2) Määritetään johtoa suojaavan suojalaitteen mitoitusvirta (I_N).
 - 3) Määritetään suojalaitteen mukaan johdolle vaadittava kuormitettavuus (I_Z).
 - 4) Selvitetään asennusolosuhteet ja asennustavat.
 - 5) Valitaan olosuhteita vastaavat korjauskertoimet (k).
 - 6) Lasketaan virta, joka mitoittaa johdinpoikkipinnan ($I_t = I_Z/k$).
 - 7) Valitaan johdinpoikkipinta kuormitustaulukoista.
- (Harsia 2009, haettu 20.2.2014).

5.2 Kaapelointi ja suojaus pääkeskuksen ja ohjauskeskuksen 1 välillä

Lähtötilanteessa oletettiin virheellisesti keskuskaavioon merkityn tiedon perusteella, että koestuskentälle menee 4 kpl MCMK3x185+95 kaapeleita. Myöhemmin ilmeni, että kaapeleista kaksi oli tyyppiä MCMK3x240+120. Runkolinjan kaapelit oli hankittu aiemmin, joten alkupään kaapelointi ja loppupään jatkos tehtiin MCMK3x185+95 kaapeleilla. Tämä on kuitenkin hyvä tiedostaa, mikäli myöhemmin ilmenee tarvetta vahvistaa kyseistä runkolinjaa.

Kaapeleiden kuormitettavuus määritetään asennustavan, ympäristöolosuhteiden ja kaapelin ominaisuuksien perusteella. Kertoimet määritetään standardin SFS6000-5-52 mukaisesti. Koestuskentän asennustapa määrittämissä, kuormitettujen kaapeleiden määrässä on arvioitu, kuinka monen täysin kuormitetun kaapelin rinnakkaisuutta tilanne käytännössä vastaa.

Seuraavassa on esitetty laskentaperiaate sähköpääkeskuksen ja ohjauskeskuksen välisen kaapelin J1.0 kuormitusvirran ja suojauksen mitoitukselle. Kaikkien koestuskentän kaapeleiden osalta mitoituslaskelmat on esitetty liitteessä 7. Yhteenveto tuloksista on esitetty liitteessä 7, sivulla 26. Järjestelmän kaapelit on esitetty myös kaapeliluettelossa, liitteessä 46.

Kaapelin J1.0 tyyppi on MCMK3x185+95, ja se on PEX eristeinen. Kuormitettavuuden kannalta selvitetään lämpenemisen kannalta epäedullisin asennustapa/ympäristöolosuhde. Kaapeli on asennettu koko matkaltaan tikashyllylle. Vierekkäin olevien kaapeleiden on arvioitu vastaavan kahta nimellisesti kuormitettua kaapelia rinnan. Ympäristön lämpötilan on arvioitu olevan maksimissaan 30°C.

Kaapelin J1.0 asennustapaa ja olosuhteita vastaavan korjauskertoimen (k) määrittämisen vaiheet:

- 1) Standardin SFS6000-5-52 liitteessä 52 A on käsitelty referenssiasennustapoja, joiden perusteella kaapelin J1.0 asennustapa vastaa referenssiasennustapaa E
- 2) Asennustapaa vastaava korjauskerroin saadaan standardin SFS6000-5-52, taulukon A52-17, kohdasta 5, sarakkeesta 3, jonka mukaan korjauskerroin k_1 on 0,87
- 3) Olosuhdekerroin saadaan standardin SFS6000-5-52, taulukosta A52-14, sarakkeesta 3, jonka mukaan 30°C lämpötilaa vastaava korjauskerroin k_2 on 0.96
- 4) Kaapelin J1.0 kokonaiskorjauskerroin k saadaan laskettua kertomalla osakerroimet keskenään.

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_n \quad (3)$$

Kaapelin J1.0 kuormitettavuuden kokonaiskorjauskerroin.

$$k = k_1 \cdot k_2$$

$$k = 0.87 \cdot 0.96$$

$$k = 0.84$$

Standardin SFS6000-5-52, kuormitustaulukon A.52-6 mukaan PEX eristeisen 185 mm² kuparijohtimen suurin sallittu, asennustapaa E vastaava kuormitusvirta (I_m), on ≤ 474 A. Olosuhteet huomioiva, suurin sallittu kuormitusvirta saadaan kaavalla 4.

$$I_Z = I_t \cdot k \quad (4)$$

missä

I_Z on suurin sallittu korjauskertoimella huomioitu kuormitusvirta

I_t on suurin kaapelille sallittu kuormitusvirta normaaleissa olosuhteissa

k on korjauskerroin

Kaapelin J1.0 suurin sallittu kuormitettavuus on

$$I_Z = 474A \cdot 0.84 = 398A$$

Kaapelia J1.0 suojaavan suojalaitteen mitoitusvirta (I_N). Ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen ominaisuuksien on täytettävä seuraavat ehdot:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (5)$$

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I_Z \quad (6)$$

missä

I_B on virtapiirin mitoitusvirta

I_Z on johtimen jatkuva kuormitettavuus

I_N on suojalaitteen mitoitusvirta

I_2 on virta joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa. Virran I_2 arvo, jolla suojalaite toimii tehokkaasti, on annettu laitestandardissa tai se saadaan valmistajalta. (SFS6000-5-52, liite 52B).

Suojaavan sulakkeen valinta voidaan tehdä SFS6000-5-52 taulukon B.52-1 mukaan, mikäli käytetään SFS-EN 60269 mukaisia gG -tyypin sulakkeita.

Kahvasulakkeiden kirjaintunnisteiden merkitykset:

- g soveltuu oikosulku- ja ylikuormitussuojaksi sulake, tällaisen sulakkeen toiminta on taattu koko ylivirta-alueella
- a ainoastaan oikosulkusuojaksi soveltuva sulake

- G ”nopea sulake”, soveltuu johtojen suojaukseen
- M ”hidas sulake”, moottoripiirin suojaukseen soveltuva, kestää moottorien käynnistysvirtasäykset
- R ”erikoisnopea sulake”, soveltuu tehopuolijohteiden suojaukseen

Standardi SFS-EN 60269 määrittelee gG -sulakkeet sopiviksi johdon ylikuormitus- ja oikosulkusuojaukseen. Esim. ABB OFAA -sulakkeiden katkaisukyky on yli 100 kA kaikilla nimellisvirroilla, kun käyttöjännite on nimellisjännitteen suuruinen ja taajuus 50 Hz.

Standardi SFS-EN 60269 määrittelee aM -sulakkeet moottoripiirin etusulakkeeksi, jolloin tarvitaan erillinen moottorin ylivirtasuojaja. Suurilla oikosulkuvirroilla aM -sulakkeet ovat toiminnaltaan nopeampia kuin gG -sulakkeet. Sen sijaan moottorin käynnistysvirta-alueilla aM -sulakkeet ovat hitaampia kuin gG -sulakkeet. (ABB Oy 1996. Tekninen esite OF 1 FI 96-02).

Kaapelia J1.0 suojaava gG -sulake, SFS6000-5-52 taulukon B.52-1 mukaan.

$$I_Z = 398A \Rightarrow I_N \leq gG315A$$

5.3 Kaapelointi ja suojaus ohjauskeskuksen 1 syöttämissä ryhmissä

Runkokoon R5 tai sitä suuremmissa taajuusmuuttajissa tai yli 30 kW:n moottoreissa on käytettävä suojattua, symmetristä moottorikaapelia. Nelijohdinjärjestelmää voidaan käyttää runkokoon R4 ja sitä pienemmissä taajuusmuuttajissa ja alle 30 kW:n moottoreissa, mutta myös niille suositellaan aina suojattua, symmetristä moottorikaapelia. Moottorikaapelin/kaapelien suojavaipan/-vaippojen molemmissa päissä on oltava 360 asteen maadoitus. Jos johtimet asennetaan yhtenäiseen metalliputkeen, suojattua kaapelia ei tarvita. Putki on maadoitettava kaapelin suojavaipan tavoin molemmista päistä.

Nelijohdinjärjestelmää voidaan käyttää verkkokaapelointiin, mutta suojatun, symmetrisen kaapelin käyttö on suositeltavaa. Nelijohdinjärjestelmään verrattuna suojatun, symmetrisen kaapelin käyttö vähentää sähkömagneettista säteilyä koko laitteistossa, moottorin eristykseen kohdistuvaa räsytystä sekä moottorin laakerivirtoja ja kulumista. (ABB Oy 2007. Laiteopas).

Toimeksiantajan päätöksellä myös koestuskentällä, moottorikaapeleina käyttää samaa 4-napaista kaapelia kuin verkkokaapelointiin. Päätöstä tukee tieto, että kaapelit ovat hyvin lyhyitä, 4-15 m ja koekäyttö on hyvin lyhytkestoinen, joten esimerkiksi mahdollisten laakerivirtojen vaikutus on hyvin lyhytaikainen. Lisäksi valitut käytöt synnyttävät vähemmän yliaaltoja kuin edellisten sukupolvien laitteet.

5.3.1 Ohjauskeskuksen 1 kentän 1 (OK11) kenttälähdöt

OK11 kenttälähtöjen sulakkeet on valittu määrittelyvaiheen, käyttäjän virtavaatimusten mukaisesti. Sulaketyyppinä käytetään aM -kahvasulaketta, joka kestää moottorin hetkellisesti korkeamman käynnistysvirran. Kuten aiemmin mainittiin, aM -sulake soveltuu pelkästään oikosulkusuojaukseen ja vaatii lisäksi erillisen moottorin ylikuormitussuojan. Koska koestuskentällä testattava moottori vaihtuu käytännössä jokaiselle mittaukselle, erillisen ylikuormitussuojan käyttö olisi jatkuvien asettelumuutosten takia kohtuuttoman vaikeaa. Koska testaus on lyhyt ja valvottu toimenpide, eikä ympäristö ole palovaarallinen, ylikuormitussuojia ei käytetä OK11 kenttälähdöissä.

Ylikuormitussuojan poisjättäminen on SFS 6000-4-43 mukaan mahdollista seuraavissa tapauksissa:

- a) johdossa, joka sijaitsee (johtimen poikkipinnan, johdinlajin, asennustavan tai muun rakenteen) muutoskohdan kuormituspuolella, jos syöttöpuolen suojalaite suojaa johdon tehokkaasti ylikuormitukselta
- b) johdossa, joka ei todennäköisesti ylikuormitu, on oikosulkusuojattu luvun 434 vaatimusten mukaisesti, eikä sitä ole haaroitettu eikä siinä ole pistorasioita
- c) televiestintään, ohjaukseen, merkinantoon ja vastaaviin liittyvissä asennuksissa
- d) jakeluverkoissa, jotka koostuvat maahan asennetuista kaapeleista tai ilmajohdoista, joiden ylikuormitus ei aiheuta vaaraa.

Seuraavassa on esitetty mitoituseriaate ohjauskeskuksen kenttää syöttäville kaapeloinneille ja suojauksille. Esimerkkiin on valittu kaapeli J1.3. Kaikkien OK11 syöttämien kaapeleiden osalta vastaavat määrittelyt on esitetty liitteessä 7 ja yhteenveto liitteessä 7, sivulla 26.

Kaapelin J1.3 virtapiirin mitoitusvirta (I_B) lasketaan tehotiedoista ja määritetään johtoa suojaavan suojalaitteen mitoitusvirta (I_N). Suurimmaksi kuormitusvirraksi määritetään kenttää syöttävän säätömuuntajan nimellistoisiovirta 200 A.

Kaapelille J1.3 voidaan testattavasta moottorista riippuen valita sulakelähtö 100 A tai 200 A. Kaapeli mitoitetaan gG200A sulakkeen mukaan, eli aM200A sulake toimii pelkästään SFS 6000 luvun 434 mukaisena oikosulkusuojana. Kaapeli on asennettu koko matkaltaan tikashyllylle. Vierekkäin olevien kaapeleiden on arvioitu vastaavan yhtä nimellisesti kuormitettua kaapelia rinnan. Ympäristön lämpötilan on arvioitu olevan maksimissaan 25°C. Kaapeleiden kuormitettavuudessa on varaa, koska kuormitusjaksot ovat lyhyitä ja jatkuvan kuormituksen mukaista loppulämpötilaa ei saavuteta koestusolosuhteissa.

Kaapelin J1.3 johdon vähimmäispoikkipinnan mitoittamisen vaiheet:

- 1) Asennustapa kerroin: SFS6000, taulukko A52-17, referenssiasennustapa E, kohta 5 sarake 1. => $k_1 = 1,00$.
- 2) Olosuhdekerroin: Taulukko A52-14, $\leq 25^\circ\text{C}$, PEX ja PVC. => $k_2 = 1,00$.
- 3) Kokonaiskorjauskerroin: $k = 1,00 \times 1,00 = 1,00$.
- 4) Sulakkeen gG200A suojaaman kaapelin kuormitettavuus vähintään. SFS6000, taulukko A52-1 => $I_z \geq 221 \text{ A}$.
- 5) Kaapelin kuormitettavuus vähintään, olosuhdekerroin huomioituna.

$$I_2 \geq \frac{I_z}{k} \geq \frac{221 \text{ A}}{1} \geq 221 \text{ A}$$

- 6) Kaapeli, jonka kuormitettavuus vähintään em. 221A. SFS6000, taulukko A52-4 tai A52-6 A52-4: PVC eristeinen, kuparijohtimet. Sarake 2, $252 \text{ A} \geq 221 \text{ A} \Rightarrow$ sarake 1 $\text{A} \geq 95 \text{ mm}^2$ tai A52-6: PEX eristeinen, kuparijohtimet. Sarake 2, $256 \text{ A} \geq 221 \text{ A} \Rightarrow$ sarake 1 $\text{A} \geq 70 \text{ mm}^2$.

5.3.2 Ohjauskeskuksen 1 kentän 2.1 ja kentän 2.2 (OK122) kenttälähdöt

Kaapeleiden J2.3-2.7 ja 2.9 mitoitusvirta lasketaan virtapiirin tehotiedoista. Maksimikuormitusvirran määrää taajuusmuuttaja T02.1, jonka nimellisvirta on 628 A. Suojauksessa ei tarvitse huomioida moottorin suurempaa käynnistysvirtaa, koska taajuusmuuttajalla käynnistys tapahtuu ns. nousurampilla, siten suorakäynnistykseen kaltaista virtapiikkiä ei synny.

Kaapelin suojausena on katkaisija, jonka virta- ja aika-asettelut tehdään siten, ettei kaapelin maksimikuormitettavuutta ylitetä. Katkaisijan nimellisvirta on vähintään em. maksimikuormitusvirta, 628 A.

Kaapelin J2.3, johdon vähimmäispoikkipinnan mitoittamisen vaiheet:

- 1) Määritetään suojalaitteen mukaan johdolle vaadittava kuormitettavuus, joka on T02.1 maksimikuormitusvirta, 628 A.
- 2) Määritetään asennusolosuhteet ja asennustavat ja valitaan korjauskertoimet. Asennusolosuhteet ja asennustapa ovat kaikille koestuskentällä olevilla kaapeilla samanlaiset. Korjauskertoimeksi määritettiin kaapelin J1.3 yhteydessä, k on 1,00.
- 3) Kaapeli, jonka kuormitettavuus vähintään 628 A. Valitaan johdinpoikkipinta kuormitustaulukoista, SFS6000, taulukko A52-4 tai A52-6. Taulukon A52-4 mukaan: PVC eristeinen, Cu-johtimet, sarake 2, $2 \times 338 \text{ A} \geq 628 \text{ A} \Rightarrow$ sarake 1, $A \geq 2 \times 150 \text{ mm}^2$ tai taulukon A52-6 mukaan: PEX eristeinen, Cu-johtimet. Sarake 2, $2 \times 370 \text{ A} \geq 628 \text{ A} \Rightarrow$ sarake 1 $A \geq 2 \times 120 \text{ mm}^2$.

Kaapeleiden J2.4, 2.5, 2.6 ja 2.7 vähimmäispoikkipinnan mitoittamisen vaiheet:

- 1) Maksimikuormitusvirran määrää taajuusmuuttaja T02.1, jonka nimellisvirta on 628 A. Sinisuotimen (V01) nimellisvirta 895 A ja välijännitemuuntajan (T01.4) nimellisvirta 759 A on suurempi, joten ne eivät muodostu rajoittavaksi tekijäksi.
- 2) Suojalaitteen mukainen, johdolle vaadittava kuormitettavuus. Taajuusmuuttaja suojaa itseään, syöttö- ja moottorikaapeleita termiseltä ylikuormitukselta kun kaapelit on mitoitettu taajuusmuuttajan nimellisvirran mukaan. Muita termisen ylikuormituksen suojalaitteita ei tarvita (ABB Oy 2007. Laiteopas 3AFE). Kuormitettavuus on oltava vähintään em. maksimikuormitusvirta, 628 A.
- 3) Asennusolosuhteet, asennustavat ja korjauskertoimet. Asennusolosuhteet ja asennustapa ovat kaikille koestuskentällä olevilla kaapeilla samanlaiset, $k=1,00$.
- 4) Kaapeli jonka kuormitettavuus vähintään 628 A. Johdinpoikkipinta kuormitustaulukoista. SFS6000, taulukko A52-4 tai A52-6. Taulukon A52-4 mukaan: PVC eristeinen, kupari-johtimet. Sarake 2, $2 \times 338 \text{ A} \geq 628 \text{ A} \Rightarrow$ sarake 1 $A \geq 2 \times 150 \text{ mm}^2$ tai taulukon A52-6 mukaan: PEX eristeinen, kuparijohtimet. Sarake 2, $2 \times 370 \text{ A} \geq 628 \text{ A} \Rightarrow$ sarake 1 $A \geq 2 \times 120 \text{ mm}^2$.

Kaapeli J2.9 vähimmäispoikkipinnan mitoittamisen vaiheet:

- 1) Maksimikuormitusvirran määräisi tasavirtakäyttö (DC1), jonka nimelliskuormitusvirta on 730 A. Kuormitusvirta päätettiin kuitenkin rajoittaa samaan kuin johtolähdössä J2.3, eli 628 A. Tämä katsotaan riittäväksi ja voidaan käyttää samantyyppistä katkaisijaa ja kaapeleita kuin T02.1 johtohaarasa.
- 2) Kaapeli, jonka kuormitettavuus on vähintään em. 628 A. Johdinpoikkipinta saadaan kuormitustaulukoista SFS6000, A52-4 tai A52-6. Taulukon A52-4 mukaan: PVC eristeinen, kuparijohtimet, sarake 2 $\Rightarrow 2 \times 338 \text{ A} \geq 628 \text{ A} \Rightarrow$ sarake 1 $\text{A} \geq 2 \times 150 \text{ mm}^2$ tai taulukon A52-6 mukaan: PEX eristeinen, kuparijohtimet, sarake 2 $\Rightarrow 2 \times 370 \text{ A} \geq 628 \text{ A} \Rightarrow$ sarake 1 $\text{A} \geq 2 \times 120 \text{ mm}^2$.

Seuraavassa on kuvattu kyseisten kaapeleiden J2.10.1, J2.10.2 ja J2.10.4 mitoitukseen vaikuttavat erityispiirteet. Mitoituslaskelmat on esitetty liitteessä 7.

J2.10.1 on ankkuripiirin syöttökaapeli, joka kautta tapahtuu varsinainen kuormitustehon siirto. Kaapelin J2.9 mitoituksessa päätettiin rajoittaa DC1 käytön ottamaa maksimikuormitusvirtaa 730 A \Rightarrow 628 A:iin (n.24%). Käytön syöttämää maksimikuormitustasavirtaa (900 A) laskeaan samassa suhteessa, jolloin mitoitusvirraksi saadaan 774 A.

J2.10.2 on magnetointipiirin syöttökaapeli, jonka kautta kulkeva maksimikuormitusvirta laitetietojen mukaan on 16 A.

J2.10.4 on testattavan moottorin tuulettimen syöttökaapeli, jonka suojauksena on 4 A moottorisuojakytkin MS325-4+HK11.

DC -käyttö suojaa itseään, syöttö- ja moottorikaapeleita termiseltä ylikuormitukselta, kun kaapelit on mitoitettu taajuusmuuttajan em. nimellisvirtojen mukaan. Muita termisen ylikuormituksen suojalaitteita ei tarvita.

Kaapelit J2.11 ja J2.12 mitoitus perustuu taajuusmuuttajan T02.2 suurimpaan jatkuvaan kuormitusvirtaan, 659 A ja generaattorina käytettävän kuormitusmoottorin G1 nimellisvirtaan, 714 A. Maksimikuormitusvirta olisi siis T02.2 mukaan 659 A. Kuormitusvirta päätettiin kuitenkin rajoittaa samaan kuin johtolähdössä J2.3, eli 628 A.

Kaapelin J2.11, keskuslähtöön asennetaan kytkinvaroke, jonka tehtävä on suojata ko. kaapelia taajuusmuuttaja päässä tapahtuvalta oikosululta, ja varmistaa kosketusjännitesuojauksen toteutuminen. Muilta osin suojaukset hoitaa taajuusmuuttaja. Mikäli kuormituskäytön aikana tapahtuu oikosulku taajuusmuuttajan ja kuormitusmoottorin välillä, ei kuormituskone saa magneettikentän synnyttämiseen tarvittavaa tehoa, jolloin sen toiminta generaattorina loppuu. Taajuusmuuttaja hoitaa suojauksen verkon suunnasta.

5.3.3 Ohjauskeskuksen 1, kentän 3 (OK13) kenttälähdöt

Seuraavassa on kuvattu kaapeleiden J3.3, J3.4 ja J3.9 mitoitukseen vaikuttavat erityispiirteet, joita ei ole edellä esitettyjen mitoitusyhteydessä tullut esille. Mitoituslaskelmat on esitetty liitteessä 7.

Kaapeli J3.3 syöttää tehoa sinisuotimen V01 tuuletinmoottorille M01. Lähtöön asennetaan ylikuormitus- ja vikavirtasuojaksi johdonsuojakatkaisija. Tuuletinmoottorin nimellisvirta on 2.3 A. Johdonsuojakatkaisijaksi valitaan 6 A C-tyypin katkaisija ja kaapeli mitoitetaan sen mukaisesti.

Kaapeli J3.4 syöttää tehoa kuormituskoneen G1 tuuletinmoottorille M02. Tilanne on lähes vastaava kuin OK11 kenttälähdöissä, mutta lähtöön asennetaan ylikuormitussuojaksi lämpörele, joka asetellaan moottorin nimellisvirran mukaisesti. Lähtöön asennettava varokekytkin suojaa vikavirroilta. Tuuletinmoottorin nimellisvirta on 2.5 A. Kaapeli mitoitetaan 10 A kuormitusvirran mukaan.

Kaapeli J3.9 syöttää kentän 1-vaiheista pistorasiaryhmää. Suojauksessa on lisäksi huomioitava SFS6000-4-41 vaatimus lisäsuojauksesta, jonka mukaan vaihtosähköjärjestelmissä on käytettävä kohdan 415.1 mukaisesti lisäsuojana mitoitusvirraltaan enintään 30 mA vikavirtasuojaa:

- suojaamaan mitoitusvirraltaan enintään 20 A tavanomaisia maallikoiden käyttämiä pistorasioita
- suojaamaan ulkona käytettävää, mitoitusvirraltaan enintään 32 A pistorasiaa tai siirrettävää laitetta.

Poikkeus lisäsuojausvaatimuksista voidaan tehdä:

- erityiselle määrätyn laitteen liittämiseen tarkoitetulle pistorasialle
- pistorasioille, joita käytetään ammattihenkilön tai opastetun henkilön valvomana teollisissa tai kaupallisissa rakennuksissa.

Vaatimuksessa mainittu poikkeus antaisi mahdollisuuden jättää vikavirtasuojan pois koestuskentän alueella, mutta suunnitelmat tehdään vikavirtasuojatuilla 1-vaihepistorasioilla. Pistorasiasyötöt mitoitetaan 16 A nimellisvirralle ja suojalaitteeksi valitaan 16 A johdonsuojakatkaisija, C-laukaisukäyrällä.

Kaapeli J3.9 vähimmäispoikkipinnan mitoittamisen vaiheet:

- 1) Selvitetään asennusolosuhteet ja asennustavat ja valitaan korjauskertoimet. Asennustapa: SFS6000-5-52, taulukko A.52-3 kohta 14, => referenssiasennustapa B (monijohdinkaapelit sähkölistassa).
- 2) Olosuhdekertoimet: SFS6000-5-52, taulukko A.52-17 kohta 1, vierekkäin olevien kaapeleiden arvioitu vastaavan yhtä nimellisvirrallaan kuormitettua kaapelia => k_1 on 1,00 Taulukko A52-14, $\leq 25^\circ\text{C}$, PVC => k_2 on 1,00.
- 3) Määritetään suojalaitteen mukaan johdolle vaadittava kuormitettavuus. Käytettäessä suojaukseen standardin EN 60898-1 mukaista kotitalouskäyttöön tarkoitettua B, C, tai D-tyypin johdonsuojakatkaisijaa, voidaan suojalaite valita suoraan johtimen kuormitettavuuden mukaan. Samoin voidaan standardin EN 60947-2 mukaista katkaisijaa käytettäessä valita suojalaitteen ylikuormitusasettelu suoraan johdon kuormitettavuuden mukaan (SFS6000-5-52).
- 4) Kaapelityypiksi valitaan PVC eristeinen, kuparijohtiminen MMJ asennuskaapeli. SFS6000, taulukko A52-2, sarake 5. => $17,5 \text{ A} \geq 16 \text{ A} \Rightarrow A \geq 1,5 \text{ mm}^2$, missä A on johtimenpoikkipinta-ala.

6 KAAPELEIDEN, SUOJAUSTEN JA KOJEISTOJEN VIKAVIRTOJEN MUKAINEN MITOITUS

Teollisuussähköverkot voivat tähtipisteestä maadoitettuja tai maasta erotettuja. Muun muassa käyttövarmuussyistä usein kuitenkin maasta erotettuja, jolloin verkon oikosulku tapaukset rajoittuvat kaksi- ja kolmivaiheisiin oikosulkuihin. Yleensä ei ole tarpeen laskea kaikkien vikatapausten oikosulkuvirtoja. Verkon ja kytkinlaitteiden mitoituksen tarkistamiseksi riittää, kun tunnetaan suurimmat verkossa esiintyvät oikosulkuvirrat. Toisaalta oikosulkusuojauksen toiminnan varmistamiseksi on tunnettava pienimmät verkon oikosulkuvirrat. (Huotari, Kari & Partanen, Jarmo 1998).

Yleensä kolmivaiheinen vikavirta on suurin, mutta kaksivaiheinen oikosulkuvirta voi lähellä tahtikonetta tapahtuvassa oikosulussa olla jopa 1,4 -kertainen kolmivaiheiseen oikosulkuvirtaan verrattuna. Käytännössä kaksivaiheinen oikosulkuvirta on aina kolmivaiheista oikosulkuvirtaa pienempi. Tämä johtuu siitä, että tavallisesti oikosulku ei kestä niin kauan, jotta pysyvän tilan arvo saavutettaisiin. (Huotari, Kari & Partanen, Jarmo 1998).

Sähköverkoissa, joissa tähtipisteet on maadoitettu, voi esiintyä myös yksivaiheisia oikosulkuja. Kun Dyn-kytkentäisillä muuntajilla on nollaimpedanssi suurin piirtein myötäimpedanssin suuruinen, muodostuvat yksivaiheiset oikosulkuvirrat yhtä suuriksi kuin kolmivaiheiset. (Huotari, Kari & Partanen, Jarmo 1998).

Koestuskentän vikavirtalaskennassa lasketaan prospektiivinen oikosulkuvirta, dynaaminen oikosulkuvirta ja terminen oikosulkuvirta. Kosketusjännitesuojauksen toteutuminen lasketaan pienimmän, järjestelmässä esiintyvän oikosulkuvirran arvolla.

6.1 Prospektiivinen oikosulkuvirta

Virta, joka kulkee piirissä, jossa sijaitseva varoke on korvattu mitättömän pienellä impedanssilla. Vaihtosähköllä prospektiivinen virta esitetään vaihtosähkökomponentin tehollisarvona. (SFS-EN 60269-1, 2.3.2).

Kolmivaiheinen oikosulku on yleisesti perustapaus tarkasteltaessa vikavirtoja, koska suurimmassa osassa tapauksia se aiheuttaa suurimmat vikavirrat. Symmetrisestä luonteesta johtuen,

se on myös yksinkertaisesti laskettavissa. Alkuoikosulkuvirta voidaan esittää seuraavasti. (IEC909 1988 via Salminen, Petri 2009).

$$I_{K3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_K^2 + X_K^2}} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_K} \quad (7)$$

missä

c on jännitekerroin, jolla kompensoidaan verkossa esiintyvien muutoksien aikaansaamia eroja nimellisjännitteen ja verkon sähkömotoristen voimien välillä (arvot taulukossa 8)

U_n on verkon nimellisjännite

R_K on verkon komponenttien yhteenlasketut oikosulkuresistanssit

X_K on verkon komponenttien yhteenlasketut oikosulkureaktanssit, jos verkossa olisi tahtikoneita, käytettäisiin niiden osalta alkureaktansseja

Z_K on vikapaikkaa edeltävän verkon oikosulkuimpedanssi.

(IEC909 1988 via Salminen, Petri 2009).

Taulukko 8. IEC60909-0 mukainen jännitekerroin (IEC60909-0).

Nimellisjännite U_n	Maksimioiko- sulkuvirta c_{max}	Minimioiko- sulkuvirta c_{min}
pienjännite 100V-1000V		
a) 230V/400V	1.00	0.95
b) muut jännitteet	1.05	1.00
keskijännite 1kV-35kV	1.10	1.00
suurjännite 35kV-230kV	1.10	1.00

6.2 Dynaaminen- eli sysäysoikosulkuvirta

Dynaamisella oikosulkuvirralla tarkoitetaan suurinta mahdollista oikosulkuvirran arvoa. Tämä arvo saavutetaan noin 10ms kuluttua oikosulun syntyhetkestä. Dynaamista oikosulkuvirtaa kutsutaan usein myös sysäysoikosulkuvirraksi. Etukojeilla, kuten sulakkeilla, on mahdollista

rajoittaa dynaamista oikosulkuvirtaa. Asennusten ja laitteiden tulee kestää siihen vaikuttavan dynaamisen oikosulkuvirran aiheuttamat voimat. Dynaaminen oikosulkuvirta saadaan lasket-
tua yhtälöllä 8. (Huotari, Kari & Partanen, Jarmo 1998, 23).

$$I_{dyn} = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_k \quad (8)$$

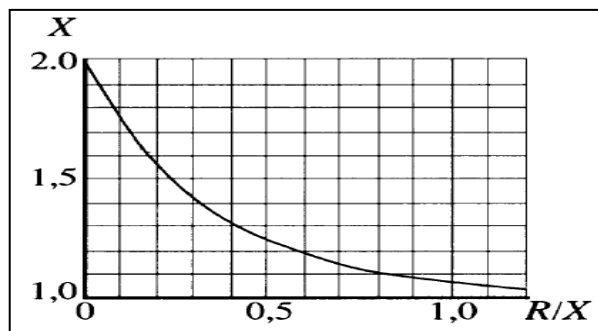
missä

I_k on oikosulkuvirran tehollisarvo, eli prospektiivinen oikosulkuvirta

χ on sysäyskerroin

Sysäyskerroin voidaan laskea yhtälöllä 9, kun oikosulkupiirin resistanssi R ja reaktanssi X tunnetaan. Kerroin χ määräytyy oikosulkupiirin resistanssin R ja reaktanssin X suhteen, kuvi-
on 20 mukaisesti. (IEC 60909-1 2002, 88).

$$\chi = 1.02 + 0.98 \cdot e^{\frac{-3 \cdot R}{X}} \quad (9)$$



Kuvio 20. Sysäyskerroimen riippuvuus oikosulkuvirtapiirin resistanssin ja reaktanssin R/X suhteesta. (IEC 60909-1 2002, 94).

Suurjännitteellä, mikäli tarkkaa arvoa ei tunneta, voidaan käyttää sysäyskerroimen arvona $\chi = 1,8$ ja pienjännitteen ollessa kyseessä saadaan sysäyskerroimelle arvot taulukosta 9.

Taulukko 9. Pienjänniteverkon sysäysoikosulkuvirran suhde oikosulkuvirran tehollis-arvoon (Huotari, Kari & Partanen, Jarmo 1998, 24).

I''/kA	χ	$\cos\varphi$
≤ 10	1,2	0,5
≤ 20	1,4	0,3
≤ 50	1,5	0,25
> 50	1,6	0,2

6.3 Ekvivalenttinen, terminen oikosulkuvirta

Verkon komponenttien terminen oikosulkukestoisuus mitoitetaan oikosulkuvirran aiheuttaman lämpenemän perusteella. Koska oikosulkuvirta yleensä muuttuu oikosulun kestoaikana, lasketaan oikosulkuvirran alkuarvon tehollisarvosta I_k'' se yhden sekunnin pituista oikosulkua vastaava keskimääräinen tehollinen oikosulkuvirta I_{th} (I_{Is}), joka kehittää johtimessa saman lämpömäärän kuin todellinen oikosulkuvirta. Ekvivalenttinen, terminen oikosulkuvirta lasketaan yhtälöllä. (Huotari, Kari & Partanen, Jarmo 1998, 29).

$$I_{Is} = I_k'' \sqrt{(m+n) \cdot t_k} \quad (10)$$

missä

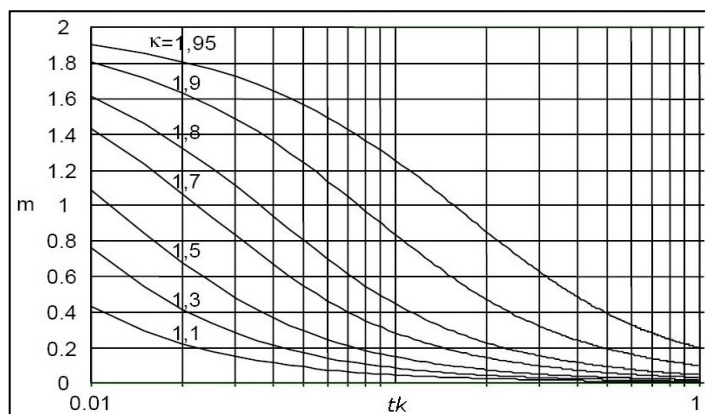
I_k'' on kolmivaiheinen alkuoikosulkuvirta

m on tasavirtatekijä

n on vaihtovirtatekijä

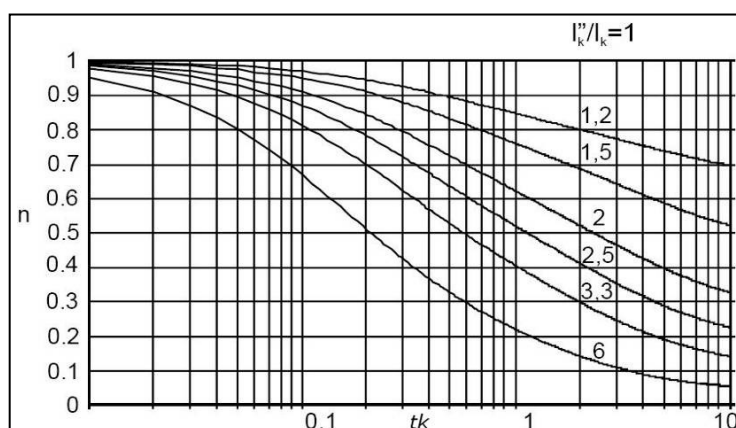
t_k on oikosulun kesto aika

Oikosulun tasakomponentin vaimeneminen huomioidaan tasavirtatekijällä m , jonka arvo riippuu sysäyskertoimesta ja oikosulun kestoajasta t_k . Kyseinen riippuvuus on esitetty kuviossa 21.



Kuvio 21. Tasavirtatekijän m riippuvuus oikosulun kestoajasta t_k ja sysäyskertoimesta. (Huotari, Kari & Partanen, Jarmo 1998).

Vaihtovirtatekijällä otetaan huomioon oikosulkuvirran vaihtokomponentin vaimeneminen. Sen arvo riippuu oikosulkuvirran alkuarvon ja pysyvän arvon suhteesta I_k''/I_k ja oikosulun kestoajasta t_k kuvion 22 mukaisesti. (Huotari, Kari & Partanen, Jarmo 1998).



Kuvio 22. Vaihtovirtatekijän n riippuvuus suhteesta I_k''/I_k ja oikosulun kestoajasta t_k . (Huotari, Kari & Partanen, Jarmo 1998).

Virtapiiriin laitteet kestävät oikosulun termisesti, mikäli on voimassa epäyhtälö

$$I_{th} \leq I_{thn}, \text{ kun } t \geq t_N \text{ tai} \quad (11)$$

$$I_{th} \leq I_{thn} \cdot \sqrt{\frac{t_N}{t}}, \text{ kun } t \geq t_N \quad (12)$$

joissa I_{thn} on laitteen nimellinen terminen oikosulkukestoisuus ja t_N on laitteen nimellistä termistä oikosulkukestoisuutta vastaava aika. Yleensä laitteiden terminen kestoisuus ilmoitetaan 1s arvona, mutta myös muita arvoja käytetään. (ABB Oy 2000. TTT-käsikirja 2000-07).

Edellä esitetyn termisen I_s nimelliskestovirran ja ajan välisen riippuvuus I^2t on vakio perusteella voidaan ratkaista aika, jonka komponentti kestää siihen vaikuttavalla virralla.

$$I_{thn} = \frac{I_{1th}}{\sqrt{t}} \rightarrow \sqrt{t} = \frac{I_{1th}}{I_{thn}} \rightarrow t = \left(\frac{I_{1th}}{I_{thn}} \right)^2 \quad (13)$$

missä

I_{sall} on vaikuttava termien virta

I_s on komponentille sallittu I_s kestävä termien kestovirta

6.4 Pienin oikosulkuvirta

Verkon pienimmät oikosulkuvirrat riippuvat vikapaikan sijainnista. Vikavirta on pienin kaksivaiheisen oikosulun tapauksessa jos vika sattuu muuntajan lähellä, mutta kauempana verkossa tapahtuvan oikosulun pienin virta on puolestaan yksivaiheisella oikosululla. Lyhyillä kaapelietäisyyksillä yksivaiheinen oikosulku voi olla kolmivaiheistakin suurempi. (Huotari, Kari & Partanen, Jarmo 1998).

6.5 Yksivaiheinen oikosulkuvirta

Yksivaiheinen oikosulku I_{k1v} , joka maadoitetussa teollisuusverkossa on vaihejohtimen yhteys nollajohtimeen tai maahan, voidaan laskea yhtälöllä. (Huotari, Kari & Partanen, Jarmo 1998).

$$I_{k1v} = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|Z_1 + Z_2 + Z_0|} = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|2 \cdot Z_1 + Z_0|} \quad (14)$$

missä

Z_0 on oikosulkupiirin nollaimpedanssi

Z_1 on oikosulkupiirin myötäimpedanssi

Z_2 on oikosulkupiirin vastaimpedanssi

Yksivaiheinen oikosulkuvirta voidaan myös esittää kolmivaiheisen oikosulkuvirran avulla.

$$I_{K1v} = \frac{3}{1 + \frac{Z_2}{Z_1} + \frac{Z_0}{Z_1}} \cdot I_{K3v} \quad (15)$$

Edelleen myötä- ja vastaimpedanssien ollessa yhtäsuuret kaava (15) sievenee muotoon

$$I_{K1v} = \frac{3}{2 + \frac{Z_0}{Z_1}} \cdot I_{K3v} \quad (16)$$

Yksivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea jakeluverkossa myös toisella tavalla, jos tunnetaan verkon komponentit eli muuntajan resistanssit ja reaktanssit ja johdon resistanssit ja reaktanssit. Yksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan silloin kaavasta: (Anjala, Risto 2008. Verkosuositus SA 2:08).

$$I_{k1v} = \frac{c \cdot 3 \cdot U_v}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3L(R_v + R_0))^2 + (2X_m + X_{m0} + L(2X_v + X_{v0} + 3X_0))^2}} \quad (17)$$

missä

U_v on verkon vaihejännite (V) ja 0,95 on IEC 60909 jännitekerroin

R_m on muuntajan oikosulkuresistanssi (Ω)

X_m on muuntajan oikosulkureaktanssi (Ω)

R_{m0} on muuntajan nolaresistanssi (Ω)

X_{m0} on muuntajan nolareaktanssi (Ω)

R_v on vaihejohtimen resistanssi (Ω/km)

X_v on vaihejohtimen myötäreaktanssi (Ω/km)

X_{v0} on vaihejohtimen nollareaktanssi (Ω/km)

R_0 on PEN-johtimen resistanssi (Ω/km)

X_0 on PEN-johtimen resistanssi (Ω/km)

L on johdon pituus (km).

7 KOESTUSKENTÄN VIKAVIRTALASKENTA

Seuraavassa on esitetty laskentaperiaate sähköpääkeskuksen ja koestuskentällä sijaitsevan taajuusmuuttajan T02.1 johtohaarassa esiintyville vikavirroille. Laskennalla selvitetään dynaamiset ja termiset vikavirrat pääkeskuksen jälkeisissä kojeistoissa, sekä kosketusjännitesuojauksen kannalta merkittävä pienin oikosulkuvirta kojeistoissa ja ryhmäjohtojen lopussa. Vikavirtalaskennat suunniteltavalle verkolle on kokonaisuudessaan esitetty liitteessä 8.

7.1 Taustaverkon impedanssi ja kolmivaiheinen oikosulkuvirta pääkeskuksella.

Kolmivaiheisen vikavirran suuruus riippuu yhtälön 7 mukaan vikapaikalla vaikuttavasta jännitteestä ja vikapaikkaa edeltävän verkon (taustaverkon) oikosulkuimpedanssista. Taustaverkon oikosulkuimpedanssi saadaan laskettua sähköverkonhaltijalta saatavasta, liittymispisteen oikosulkuvirrasta.

OEOy ilmoittamat oikosulkuvirrat kiinteistön 20kV kojeistossa:

- Kaksivaiheinen oikosulkuvirta, $I_{k2} \approx 4,7\text{kA}$
- Kolmivaiheinen oikosulkuvirta, $I_{k3} \approx 6,2\text{kA}$.

Pienjännitepuolelle OEOy antaa pelkästään arvion oikosulkuvirroista, koska heillä ei ole tiedossa tarkkoja arvoja kiinteistömuuntajasta:

- Kolmivaiheinen oikosulkuvirta, $I_{k3} \approx 21\text{ kA}$
- Yksivaiheinen oikosulkuvirta, $I_{k1} \approx 19\text{ kA}$.

Koska PJ puolen oikosulkuvirtatiedot ovat ilmoituksen mukaan epävarmoja, lasketaan ne 20 kV oikosulkuvirran ja kiinteistömuuntajan kuviossa 17 esitettyjen kilpiarvojen avulla. Ennen kiinteistömuuntajaa olevan taustaverkon oikosulkuimpedanssi, laskettuna verkonhaltijan ilmoittaman oikosulkuvirran perusteella.

$$Z_{S20} \approx X_{S20} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_{K320}} \quad (18)$$

$$Z_{S20} = \frac{1.1 \cdot 20\text{kV}}{\sqrt{3} \cdot 6.2\text{kA}} = 2.04\Omega$$

$$Z_{S20} \approx X_{S20}$$

Oikosulkuimpedanssi redusoituna SPK:n, 400 V jännitetasoon.

$$Z_{S20PK} = \left(\frac{1}{\mu}\right)^2 \cdot Z_{S20} \quad (19)$$

$$Z_{S04} = \left(\frac{0.4kV}{20kV}\right)^2 \cdot 2.04\Omega = 0.0008\Omega$$

$$Z_{S04} \approx X_{S04}$$

Seuraavassa lasketaan kilpiarvoista kiinteistömuuntajan oikosulkuimpedanssit, resistanssit ja reaktanssit. Mikäli kilpiarvoja ei ole käytettävissä, voidaan käyttää Energiategollisuus ry:n, verkostosuosituksista SA2:08, jakelumuuntajille ilmoitettuja tyypillisiä arvoja taulukossa 10.

Taulukko 10. Tyypillisiä arvoja jakelumuuntajille (Anjala, Risto 2008).

TEHO	R_m		X_m		R_{m0}	X_{m0}
	kVA	%	Ω	%	Ω	Ω
30	3,0	0,160	2,6	0,14	0,070	0,0093
50	2,6	0,083	3,0	0,097	0,087	0,0980
100	2,0	0,031	3,5	0,056	0,033	0,0570
200	1,4	0,011	3,7	0,030	0,012	0,0310
315	1,3	0,0065	4,2	0,021	0,007	0,0220
500	1,1	0,0037	4,4	0,014	0,0041	0,0140
800	0,89	0,0018	4,6	0,0092	0,0021	0,0096
1000	0,92	0,0015	4,9	0,0079	0,0018	0,0083
1250	0,84	0,0011	5,9	0,0076	0,0014	0,0081
1600	0,79	0,0008	5,9	0,0060	0,0011	0,0064
2000	0,73	0,0006	6,0	0,0048	0,0008	0,0052

Kiinteistömuuntajan oikosulkuimpedanssi

$$Z_m = \frac{zk\%}{100} \cdot \frac{U^2}{S} \quad (20)$$

$$Z_{mT01.1} = \frac{6.3\%}{100} \cdot \frac{(400V)^2}{800000VA} = 0.0126\Omega$$

Kiinteistömuuntajan oikosulkuresistanssi

$$R_m = \frac{P_K \cdot U_N^2}{S_N^2} \quad (21)$$

$$R_{mT01.1} = \frac{7367W \cdot 0.4kV^2}{800kVA^2} = 0.0018\Omega$$

Kiinteistömuuntajan oikosulkureaktanssi

$$X_m = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} \quad (22)$$

$$X_{mT01.1} = \sqrt{0.0126\Omega^2 - 0.0018\Omega^2} = 0.0124\Omega$$

Kiinteistömuuntajan nollaimpedanssi

$$Z_{m0T0.1} \approx Z_{mT01.1} = 0.0126\Omega$$

Kiinteistömuuntajan nolaresistanssi

$$R_{m0} = \frac{P_0 \cdot U_N^2}{S_N^2} \quad (23)$$

$$R_{m0T01.1} = \frac{1766W \cdot 0.4kV^2}{800kVA^2} = 0.0004\Omega$$

Kiinteistömuuntajan nollareaktanssi

$$X_{m0} = \sqrt{Z_{m0}^2 - R_{m0}^2} \quad (24)$$

$$X_{m0T01.1} = \sqrt{0.0124\Omega^2 - 0.0004\Omega^2} = 0.0124\Omega$$

Oikosulkuimpedanssi SPK:lla

$$Z_{K3PK} = |Z_{S04} + Z_{mT01.1/2}| = 0.0008\Omega + 0.0126\Omega = 0.0134\Omega$$

Kolmivaiheinen oikosulkuvirta SPK:lla

$$I_{K3PK} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3PK}} = \frac{1.0 \cdot 400V}{\sqrt{3} \cdot 0.0134\Omega} = 17.2kA$$

7.2 Impedanssit ja vikavirrat kaapelin J2.0 lopussa, muuntajalla T01.3

Kaapelina on 2xMCMK3x185+95 ja sen tekniset tiedot saadaan taulukosta 11, kaapelin pituus on 20 m.

Taulukko 11. MCMK kaapeleiden resistanssit ja reaktanssit (Anjala, Risto 2008).

JOHTO	R_v (+40 °C) Ω/km	R_0 (+ 40 °C) Ω/km	X_v Ω/km	X_{v0} Ω/km	X_0 Ω/km
MCMK					
3x2,5+2,5	7,992	7,992	0,115	0,115	-
3x6+6	3,322	3,322	0,115	0,115	-
3x10+10	1,974	1,974	0,110	0,110	-
3x16+16	1,240	1,240	0,088	0,088	-
3x25+16	0,786	1,240	0,082	0,082	-
3x35+16	0,566	1,240	0,077	0,077	-
3x50+25	0,419	0,786	0,076	0,076	-
3x70+35	0,291	0,566	0,075	0,075	-
3x95+50	0,211	0,419	0,074	0,074	-
3x120+70	0,168	0,291	0,074	0,074	-
3x150+70	0,138	0,291	0,073	0,073	-
3x185+95	0,112	0,211	0,072	0,072	-
3x240+120	0,087	0,168	0,072	0,072	-

$$Z_{J2.0} = \sqrt{(r_v \cdot l)^2 + (x_v \cdot l)^2} \quad (25)$$

$$Z_{J2.0} = \sqrt{(0.056\Omega/km \cdot 0.020km)^2 + (0.036\Omega/km \cdot 0.020km)^2}$$

$$Z_{J2.0} = 0.0013\Omega$$

Taustaverkon oikosulkuimpedanssi muuntajan T01.2 400V liittimillä.

$$Z_{K3T01.3/1} = |Z_{K3PK} + Z_{J2.0}|$$

$$Z_{K3T01.3/1} = 0.0134\Omega + 0.0013\Omega = 0.0147\Omega$$

Kolmivaiheinen oikosulkuvirta muuntajan T01.2 400V liittimillä.

$$I_{K3T01.3/1} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3T01.3/1}}$$

$$I_{K3T01.3/1} = \frac{1.0 \cdot 400V}{\sqrt{3} \cdot 0.0147\Omega} = 15.7kA$$

Aiemmin esitetyn mukaan voidaan sysäysoikosulkuvirta laskea kaavalla 8, johon sysäyskerroimen arvo otetaan taulukosta 9.

$$I_{dyn} \approx 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot I_k \approx 2.0 * 15.7kA \approx 31.4kA$$

Muuntajan rakenteen tulee siis olla $I_{dyn} \geq 31.4 \text{ kA}$

Liitteen 7 kuormituslaskelmissa on kaapelia J2.0 suojaavaksi sulakkeeksi määritetty gG400A. Liitteen 10, kuvion 6 virranrajoituskuvaajan mukaan gG400A sulake rajoittaa oikosulkuvirran huippuarvon n. 40 kA:iin. Dynaaminen kestävyys muuntajalla T01.3 tarkistetaan suurimman kojeistossa esiintyvän vikavirran, eli tässä tapauksessa 31.4 kA mukaan.

Terminen oikosulkuvirta saadaan laskettua sivulla 71 esitettyllä yhtälöllä 10. Suojaksi valitun gG400A sulakkeen toiminta-aika 15.7 kA virralla on $t_K < 0.01 \text{ s}$. Tasavirtatekijä m saadaan kuviosta 28 ja vaihtovirtatekijä n kuviosta 29. Sysäyskerroin on 2, joten m on 1. Pysyvän tilan oikosulkuarvo ei ole tiedossa, mutta 0.01 s toiminta-ajalla $n \approx 1$ komponenttien termisen kestävyuden tulee olla $I_{Is} \geq 2.2 \text{ kA}$

$$I_{Is} = 15.7kA \sqrt{(1+1) \cdot 0.01s} = 2.2kA$$

7.3 Yksivaiheinen oikosulkuvirta ohjauskeskuksen 1, 400 V kojeistossa, (OK13)

Seuraavassa on esitetty laskentaperiaate yksivaiheiselle oikosulkuvirralla ja kosketusjännitesuojauksen toteutumiselle, ohjauskeskuksen 1 (OK13) 400 V kojeistossa. Oikosulkuvirta lasketaan yhtälöllä 23. Yhtälön tekijät ovat muuntajan osalta laskettu aiemmin. Kaapelin J3.0 (MCMK3x185+95 PVC) tiedot saadaan taulukosta 11 tai valmistajien tuotetiedoista.

Kaapelin pituus on 70 m. Verkon vaihejännite, U_v on 230 V. Yksivaiheinen oikosulkuvirta OK13 kojeistossa lasketaan seuraavasti.

$$I_{k1v} = \frac{0.95 \cdot 3 \cdot 230V}{\sqrt{(2 \cdot 0.0018\Omega + 0.0004\Omega + 3 \cdot 0.07km \cdot (0.112\Omega/km + 0.211\Omega/km))^2 + (2 \cdot 0.0124\Omega + 0.0124\Omega + 0.07km \cdot (2 \cdot 0.072\Omega/km + 0.072\Omega/km + 3 \cdot 0))^2}}$$

$$I_{k1v} = 7377 A$$

$$I_{k1v} \approx 7.3 kA$$

Kaapelin ylivirta- ja oikosulkusuojaksi on liitteen 7 laskelmissa valittu gG250A sulakkeet. gG-sulakkeiden ja johdosuojakatkaisijoiden vastaavat pienimmät oikosulkuvirrat, joilla suoja toimii luotettavasti on esitetty esim. sähköinfon julkaisussa D1-2009 käsikirja rakennusten sähköasennuksista, taulukot 41.4 ja 41.5. (STUL ry 2009. D1-2009).

Suurimmat sallitut poiskytkentäajat on esitetty SFS6000 taulukossa 41.1. Taulukon 41.5 mukaan sulaketta gG250A vastaava pienin oikosulkuvirta on 1650 A, jolla suoja toimii 5.0 s aikana. Koska 7.3 kA > 1650 A katsotaan kosketusjännitesuojausehdon täyttyvän.

8 JÄNNITEHÄVIÖ

Normaaleissa käyttöolosuhteissa, pois lukien keskeytysjaksot, jännitetason vaihtelut eivät saisi ylittää $\pm 10\%$ nimellisjännitteestä U_n . Tapauksissa, joissa jakeluverkkoa ei ole liitetty yleiseen siirtoverkkoon tai erityisillä syrjäseutujen verkon käyttäjillä jännitevaihtelun ei tulisi ylittää $+10\% / -15\%$ nimellisjännitteestä, U_n . Verkon käyttäjiä tulisi informoida näistä vaihteluista. (SFS-EN 50160, 2010).

Jännitteenalenema liittymispisteen ja minkään kuormituspisteen välillä ei pitäisi olla suurempi kuin taulukon 12 arvot, verrattuna asennuksen nimellisjännitteeseen. (SFS6000-5-52).

Taulukko 12. Jännitteenalenema (SFS6000-5-52, G.52.1).

Asennuksen tyyppi	Valaistus %	Muu käyttö %
A – Pienjänniteasennus, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta	3	5
B – Pienjänniteasennus, joka on syötetty yksityisestä teholähteestä	6	8

a Suositellaan, että niin pitkälle kuin mahdollista ryhmäjohtojen jännitteenalenema ei ylitä asennustyyppille A annettuja arvoja.

Kun asennuksen pääjohdot ovat pitempiä kuin 100 m, näitä jännitteenalenemia voidaan kasvattaa 0,005 % johdon 100 m ylittävän pituuden metriä kohti. Ilman tätä lisäystä se ei saa olla suurempi kuin 0,5 %.

Jännitteenalenema määritellään sähkölaitteen tehontarpeen mukaan käyttäen soveltuvien osien tasoituskertoimia, tai käyttäen piirien suunniteltuja virtoja.

Jännitteenalenema voidaan laskea yhtälöllä: (SFS600-5-52)

$$u_h = b \cdot \left(\rho_1 \frac{l}{A} \cdot \cos \varphi + \lambda \cdot l \cdot \sin \varphi \right) \cdot I_B \quad (26)$$

missä

u_h on jännitteenalenema voltteina

b on kerroin, joka on 1 kolmivaiheisille ja 2 yksivaihepiireille piireille

Kolmivaihepiirejä, joissa nollajohtimen virta ei kumoudu (kuormitettu yksivaiheisesti) käsitellään yksivaihepiireinä.

ρ_1 on johdinmateriaalin resistiivisyys normaalikäytössä (normaalissa käyttölämpötilassa) so. 1,25 kertaa resistiivisyys 20°C lämpötilassa, tai 0,0225 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ kuparille ja 0,036 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ alumiinille

l on johtojärjestelmän pituus metreinä

A on johtimien poikkipinta-ala mm^2 :nä

$\cos\varphi$ on tehokerroin. Jos ei ole tiedossa tarkkoja tehokertoimen arvoja, sen oletetaan olevan 0,8 ($\sin\varphi = 0,6$)

λ on johtimen reaktanssi johtimen pituusyksikköä kohden. Jos ei ole tiedossa tarkkoja arvoja, reaktanssin oletetaan olevan 0,08 $\text{m}\Omega/\text{m}$

I_B on suunniteltu virta ampeereina.

Jännitteenalenema prosentteina on:

$$\Delta u = 100 \cdot \frac{u_h}{U_0} \quad (27)$$

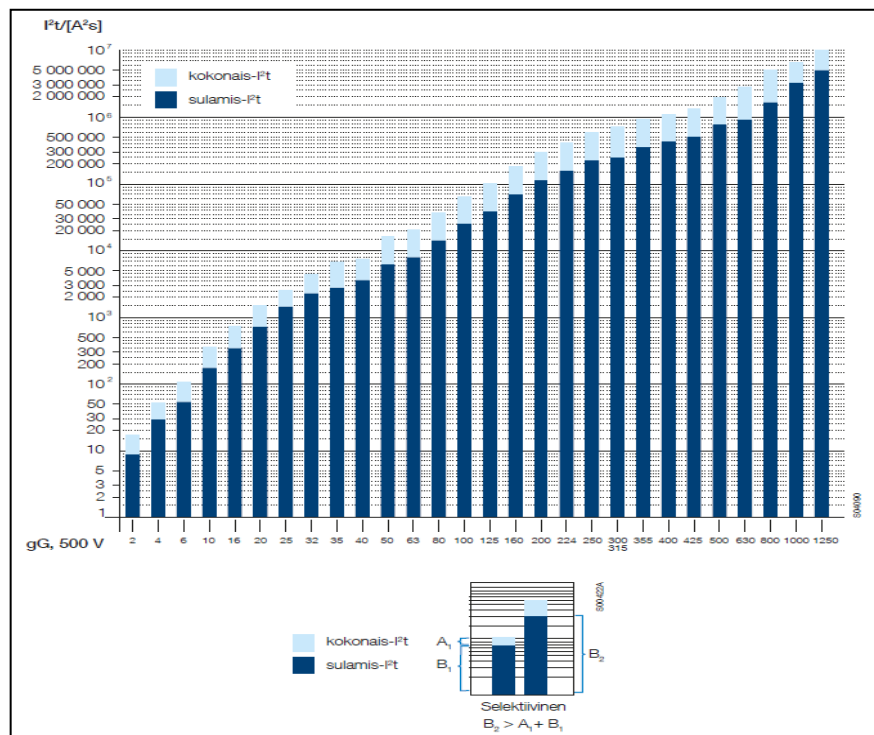
Koestuskentän jännitehäviölaskelmat on esitetty liitteessä 8.

9 SELEKTIIVISYYS

Vikatilanteissa on verkosta pystyttävä erottamaan vain tarpeellinen osa. Selektiivisyydellä tarkoitetaan vian rajoittamista pienelle alueelle, jolloin muu osa verkosta toimii normaalisti. Suojauksen on kuitenkin toimittava siten, että se sallii normaalit käytössä esiintyvät ylivirrat. Sulakkeilla selektiivisyys on helppo saavuttaa. Useimmissa tapauksissa sulakkeet ovat selektiivisiä, kun sulakkeiden nimellisvirtojen suhde on 1:1,6. esimerkiksi ABB:n saman sarjan sulakkeissa selektiivisyys toteutuu yleensä jo suhteella 1:1,25. (ABB Oy 2009. pienjännitekojeet).

Suojalaitteiden selektiivisyyttä oikosulkutilanteissa tarkastellaan suojalaitteiden I2t-arvojen, eli suojalaitteen läpimenevän energian, avulla. Syötön puoleisen suojalaitteen sulamisaikaa vastaava I2t -arvon tulee olla suurempi kuin kuorman puoleisen suojalaitteen kokonais-toiminta-aikaa vastaavan I2t -arvon. Tarkastelu voidaan tehdä valmiiden I2t -taulukoiden tai selektiivisyydestaulukoiden avulla. (Ensto Oy 1999).

Kuviossa 23 on esimerkki sulakkeiden I2t taulukosta ja kuinka selektiivisyys todetaan.



Kuvio 23. I²t -arvot, 500 V, gG -sulakkeet OFAF_H_, koot 000...4/4a. (ABB Oy 2009, pienjännitekojeet)

Koestuskentän sähkönsyötössä luotettavaa selektiivisyyttä ei voi saavuttaa, johtuen jo olemassa olevien kaapelien ja kuormitettavuusvaatimusten ja mm. pääkeskuslähdön OK121 sulakepohjan rajoituksen vuoksi. Puutteellinen selektiivisyyden ei katsota muodostuvan ongelmaksi, koska mahdollinen vika rajoittuu pelkästään koestuskenttää syöttävään sähköverkkoon. Laitteiston käyttöönottoon jätettävillä katkaisija-asetuksilla voidaan rajata vian vaikutus ohjauskeskus 1:lle.

10 PÄÄVIRTAPIIRIT

Kokonaisuuden havainnollistamiseksi laadittiin kaapeli- ja kojemääritysten perusteella yksinkertaistettu sähköpääkaavio. Sähköpääkaaviossa on esitetty kaapelityypit ja mitat, ja suojalaitteet tyyppitietoineen sekä kojeet ja kojeistot. Pääkaavio tulostetaan näkyville koestuskentälle ennen käyttöönottoa. Pääkaavio on esitetty liitteessä 10.

Pääpiirikaaviot ovat pääkaaviota yksityiskohtaisempi kuvaus päävirtapiireistä. Koestuskentän kojeistojen sisäiset päävirtapiirien kytkennät, laite- ja kaapelimerkinnot on laadittu SFS-käsikirja 16 esitystapojen ja tunnisteen mukaisesti. Pääpiirikaavioiden dokumenttitunnisteet ovat tyyppiä 05-xxx-xxx ja ne on esitetty liitteissä 11-18. Koestuskentän kaapeloinnin tasopiirustus on esitetty liitteessä 38.

10.1 Päävirtapiirien kojeet

Samoin kuin johdonsuojakatkaisijan valinnassa, on kontaktoria valittaessakin tiedettävä, mikälaista kuormitusta kontaktorilla aiotaan ohjata. Tämä seikka on tärkeä esim. moottorilähdön kontaktoria valittaessa, sillä induktiivisen kuorman kytkentä aiheuttaa itseinduktion, mistä seuraa kipinäintiä kontaktorin koskettimissa.

10.2 Käyttöluokat ja koordinaatiotyypit

Erilaisten kytkentäolosuhteiden perusteella kontaktoreille on määritelty useita eri käyttöluokkia, joista teollisuuskäytössä tärkeimmät on esitetty taulukossa 13. (Mäkinen, Markku & Kallio, Raimo 2004, 121–123).

Taulukko 13. Kontaktorien käyttöluokat AC1-AC4. (SFS-EN 60947-4-1 2010, 28).

Käyttöluokka	Kuormitus
AC1	Ei induktiiviset tai lievästi induktiiviset kuormitukset, vastusuunit
AC2	Liukurengasmootorit: käynnistys, poiskytkentä
AC3	Oikosulkumootorit: käynnistys, pyörivän moottorin poiskytkentä
AC4	Oikosulkumootorit: käynnistys, vastavirtajarrutus, nykäyskäyttö

Moottorien käynnistimiä koskevan standardin IEC 60947-4-1 mukaan suojaukselle on määritelty koordinaatioluokat 1 ja 2:

- Koordinaatiotyyppi 1 edellyttää, että kontaktori tai käynnistin ei saa oikosulkutilanteessa aiheuttaa vaaraa henkilöille tai asennukselle eikä se ole sen jälkeen käyttökelpoinen ilman korjausta tai osien vaihtoa.
- Koordinaatiotyyppi 2 edellyttää, että kontaktori tai käynnistin ei saa oikosulkutilanteessa aiheuttaa vaaraa henkilöille tai asennukselle ja sen tulee olla sen jälkeen käyttökelpoinen. Kontaktorin koskettimien hitsaantumisen riski sallitaan.
(ABB Oy, 2011. Teollisuuskäyttöjen kojevalinnat).

10.3 Katkaisijat

Ohjauskeskukselle päätettiin asentaa kompaktikatkaisijat, pääkytkimien tai kytkinvarokkeiden sijasta, kolmeen pääsyöttöön ja kahteen suurivirtaiseen OK121 kenttälähtöön. Katkaisijoiden käyttö helpottaa ohjausta ja niiden avulla voidaan helposti toteuttaa hätä-seis toiminnot. Lisäksi katkaisijoilta saadaan mittaustietoja. Kontaktorit, kytkinvarokkeet valitaan ABB kojevalintataulukon avulla (ABB Oy, 2011. Teollisuuskäyttöjen kojevalinnat), joka täyttää koordinaatiotyyppin 2. Kojevalinnoissa kojeiston OK11 osalta valinnat on tehtävä säätömuuntajan maksimijännitteen mukaan.

Katkaisijoita käytetään myös usein piirin pääkytkimenä. Tällöin katkaisijaa kutsutaan pääkatkaisijaksi. Pääkatkaisijan on pystyttävä katkaisemaan piirin vikatilanne ja pysymään eristettynä vian katkaisun jälkeen. Katkaisijoiden yleisimmät rakennetyypit ovat kompakti- ja ilmakatkaisija. Kompaktikatkaisija on katkaisija, jonka kotelo on valettu ja eristeaineinen, muodostaen kiinteän osan katkaisijan rakennetta. Ilmakatkaisijassa pääkoskettimet ovat vapaassa normaalin ilmanpaineen tilassa. Yleisesti ottaen ilmakatkaisijat ovat metallirunkoisia ja au-ki/kiinni toiminnot suoritetaan jousivoimalla. (ST-kortti 53.45 2004)

Koestuskentälle valitaan kompaktikatkaisijat kuormituslaskelmien, kuormitusvirtatietojen perusteella. Katkaisijoilta halutaan lisäksi mittaustietoja ja niitä on pystyttävä ohjaamaan päälle ja pois ohjauspulpetilta. Hätä-seis toiminnon on laukaistava katkaisijat pois päältä. Katkaisijat valitaan ABB Tmax tuoteperheestä (kuva 7) ja edellä mainittujen vaatimusten perusteella alla esitetyllä kokoonpanolla.



Kuva 7. ABB Tmax katkaisijatuoteperhe. XT1, XT2, XT3 ja XT4 250 A:iin asti; T4, T5 ja T6 1000A:iin asti; T7 ja T8 3200 A:iin asti. (ABB Oy 2014. Kompaktikatkaisijat).

Ohjauskeskuksen 1 kenttien OK11 ja OK13 pääkatkaisijana käytetään tyyppimerkinnältään XT4N250FF3ELSIG250 katkaisijaa, jonka kokoonpano ja tiedot ovat:

- Malli: Tmax XT4, kiinteä asennus, kolmenapainen.
- Nimellisvirta: 250 A.
- Oikosulkuvirrankatkaisukyky: 36 kA.
- Elektroninen suojarile: ELSIG. Valvonta ja laukaisutoimintojen lisäksi ko. tyyppin suojarile mittaa virrat ja jännitteet. Mittaustiedot on mahdollista saada kun katkaisijan kautta ylittää $0.2 \times I_n$ ja suojarileelle on tuotu ulkopuolinen ohjausjännite. Mittaustietojen siirto tapahtuu tiedonsiirtomodulin Ekip Com kautta.
- Tiedonsiirtomoduli: Ekip Com. Moduli mahdollistaa tilatiedon saannin etänä ja katkaisijan etäohjauksen yhdessä moottoriohjaimen MOE-E kanssa. Lisäksi moduli yhdistää suojarileen Modbus väylään, jonka kautta tapahtuu mm. mittaustietojen siirto.
- Moottoriohjain: MOE-E-230V/XT2-4. Moottoriohjaimella avataan ja suljetaan katkaisin. Moottoriohjain virittää jousen katkaisijaa avattaessa. Jousen energia puretaan katkaisijan sulkemiseen.
- Alijännitekela: UVRC230V/XT1-4. Alijännitekela valvoo ohjausjännitettä, joka tuodaan sille esim. turvapiiristä. Kun ohjausjännite häviää alijännitekela avaa katkaisijan.

(ABB Kompaktikatkaisijat 2014).

Ohjauskeskuksen 1 kentän OK21 pääkatkaisijana käytetään tyyppimerkinnältään 1SDA059533R1 katkaisijaa, joka sisältää katkaisijan T5N 630 ja suojareleen PR223DS. Muut tiedot ovat:

- Malli: Tmax T5N, kiinteä asennus, kolmenapainen.
- Nimellisvirta: 630 A.
- Oikosulkuvirrankatkaisukyky: 36 kA.
- Elektroninen suojarele: PR223DS. PR223DS-releessä on mahdollisuus tärkeimpien sähköisten arvojen mittaukseen. VM210-lisälaitteen avulla käyttäjä voi mitata virran, jännitteen, tehon ja energian arvot.
- Moottoriohjain: MOE-E-230V/T4-5.
- Alijännitekela: UVRC230V/T4-5.
- Mittausmoduli: VM210.
- Apu- ja hälytyskosketin: AUX-E-C1+1/T4-5.
- Vain esikaapeloituna versiona saatavat apukoskettimet AUX-E ilmoittavat katkaisijan tilan elektroniselle suojareleelle ja välittävät ulospäin auki/kiinni-signaalin ja toisen signaalin, joka ilmoittaa elektronisen suojareleen laukeamisesta. Ne voidaan yhdistää vain PR222DS/PD- tai PR223DS-suojareleeseen ja toimivat vain, kun suojareleelle syötetään 24 Vdc apujännite tietoliikennetoimintoja varten. AUX-E-koskettimet voidaan liittää myös suoraan MOE-E-moottoriohjaimeen (AUX-E-koskettimien käyttö on pakollista, kun MOE-E-moottoriohjain on käytössä). (ABB Oy 2007. Esite, Tmax).

Kenttälähtöjen T02.1 ja DC1 katkaisijoiden tyyppimerkintä on 1SDA060272R1, joka sisältää katkaisijan T6N 800 ja suojareleen PR223DS. Muut tiedot ovat:

- Malli, Tmax T6N, kiinteä asennus. kolmenapainen.
 - Nimellisvirta, 800 A.
 - Oikosulkuvirrankatkaisukyky, 36 kA.
 - Elektroninen suojarele, PR223DS.
 - MOE-E-230V/T6, moottoriohjain.
 - AUX-E-C1+1/T4-6, apu- ja hälytyskosketin.
 - UVRC230V/T4-6, alijännitekela.
 - VM210, mittausmoduli.
- (ABB, 2007. Esite. Tmax).

11 OHJAUSJÄRJESTELMÄ

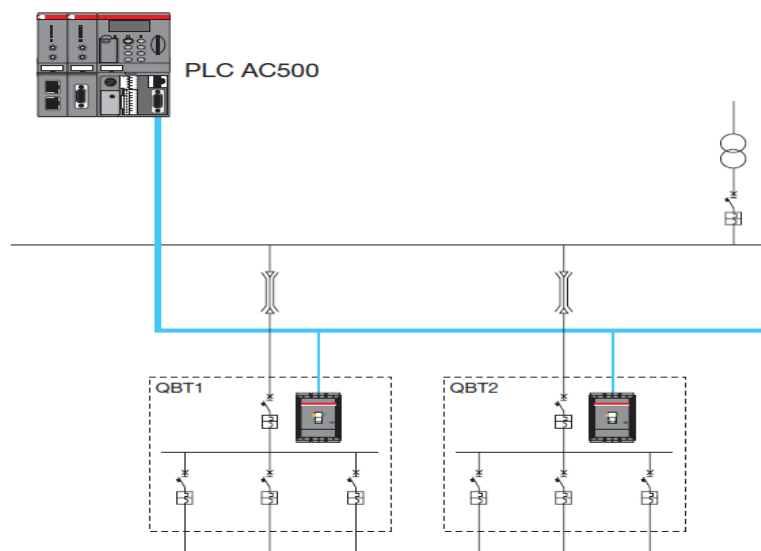
Käyttöjä voidaan ohjata yleensä ohjausjärjestelmällä ja tarvittaessa myös kojeistosta tai paikallisohjauspaikasta käsin. Ohjauspaikan valinta voi tapahtua joko ohjausjärjestelmästä tai paikallisohjauspaikasta käsin. Mikäli kyseessä on jatkuvasti miehitetty ohjaamo, on ohjauspaikan valinta ohjausjärjestelmästä käsin perusteltua. (SFS-käsikirja 16).

Ohjausjännitteinä koestuskentällä käytetään 230 V ja 24 V jännitteitä. Pääjännite muunnetaan OK13 400 V kiskostosta muuntajalla T03 230 V jännitteeksi ja muuntajalla T04 edelleen 24 V jännitteeksi. Jännitteenjaon piirikaavio on esitetty liitteessä 19.

Koestuskentän ohjauspiirien kytkennät, laite- ja kaapelimerkinnot on laadittu SFS-käsikirja 16 esitystapojen ja tunnisteiden mukaisesti. Ohjauspiirikaavioiden dokumenttitunnisteet ovat tyyppiä 06-xxx-xxx ja ne on esitetty liitteissä 20-30. Tunnistekilvet on esitetty liitteessä 44. Digitaalisen tiedon siirtoon käytetään Nomak-tyypin kaapelia ja analogia tiedonsiirtoon Jakmak-tyypin kaapelia, jolla on parempi häiriönsietokyky. Kaapelit on esitetty kaapeliluettelossa, liitteessä 46.

Käyttäjävaatimuksen mukaisesti koestuskentän järjestelmän ohjaukset suunniteltiin tehtäväksi pääasiallisesti erilliseltä ohjauspulpetilta. Käyttöjen parametroidit tehdään toistaiseksi niiden omilta paikallisohjauspaneelilta. Järjestelmän ohjaus on kuvattu ohjaustapakuvauksessa, liitteessä 26. Järjestelmän kaikki katkaisijat, vaihtovirta- ja tasavirtakäytöt liitetään myös Modbus RTU kenttäväylän kautta ohjauspulpetille sijoitettavaan ABB AC500 logiikkaan (kuvio 24), josta on ethernetiyhteys HMI:lle (kuvio 25).

Laitteiden ja HMI:n välistä tietoliikennettä voidaan myöhemmin kasvattaa muuhunkin kuin nyt suunniteltavaan mittaustietojen siirtoon. Väyläkaapelointi esimerkki on esitetty liitteessä 31. Koestuskentän katkaisijoiden ohjaukset on esitetty liitteessä 32.



Kuvio 24. Esimerkki, Tmax katkaisijat liitettynä AC500 logiikkaan kenttäväylällä (ABB Oy 2009. Technical Application Papers- Bus communication).



Kuvio 25. Esimerkki, AC500 liitettynä ohjauspaneeliin ethernet yhteydellä (ABB Oy 2012. Industrial automation).

Ohjauskeskuksen 1, kentän 1 kojeistoon ennen kiskostoa asennetaan kompaktikatkaisija ja jokaiselle kuudelle kenttälähdölle oma kontaktori, joita ohjataan ohjauspulpetilta. Lukituksilla on varmistettu, ettei esimerkiksi 10 A ja 16 A lähdöt, joilla on yhteinen moottorikaapeli voi olla yhtä aikaa päällä. Ohjauskeskuksen kiskostoa syöttävän säätömuuntajan T01.2 jännitettä säädetään ohjaamalla muuntajan yksivaiheista oikosulkumoottoria, joka siirtää käämityksellä olevia liukukoskettimia. Säädon ohjaus tapahtuu koestuskentältä ohjauspulpetilta käsin. Säättömuuntajan ohjauspiirikaavio on esitetty liitteessä 22.

Koska valitun katkaisijan ominaisuudet eivät riitä pienten virtojen mittaukseen, asennetaan johtimiin ennen katkaisijaa 0-20 mA virtaviestilähdöllä varustetut virtamuuntajat, joilta virtaviesti vietään ohjauspulpetin monimittareille. Piirikaavio on esitetty liitteessä 20 sivulla 4.

Ohjauskeskuksen 1, kenttien 11 ja 12 laitteiden ja kojeiden ohjaukset tehdään ohjauspulpetilta. OK122 kenttälähtöjen kontaktoreille on lukitukset siten etteivät voi olla päällä yhtäaikaan. Taajuusmuuttajalle T02.1 ohjelmoidaan ehto, ettei OK122, muuntajan T01.4 haaran kontaktori sulkeudu jos taajuusmuuttajan lähtöjännite on yli 400 V. Tällä estetään muuntajan ja testattavan moottorin ylijännite.

Taajuusmuuttajan T02.1 ohjaus on esitetty liitteessä 23, Taajuusmuuttajan T02.2 ohjaus on esitetty liitteessä 24. Tasavirtakäytön DC1 ohjaus on esitetty liitteessä 28 ja OK122 kontaktorien ohjaus on esitetty liitteessä 21.

Ohjauskeskuksen 1 kentän 3 katkaisijan ja taajuusmuuttajan T02.3 ohjaus tapahtuu ohjauspaneelilta. Sinisuotimen V01 tuuletinmoottori ohjautuu päälle kun taajuusmuuttaja T02.1 käynnistyy ja kojeiston OK122 kontaktori Q01.1 on vetäneenä. Kuormituskoneen G1 tuuletinmoottori käynnistyy kun taajuusmuuttaja T02.2 käynnistyy ja vetää kontaktorin Q01.2:n.

12 TURVALLISUUS

Laitteistojen toteutuksessa perustana turvallisuudelle ovat sähköturvallisuuslaki 14.6.1996/410, standardi IEC60364 ja EU konedirektiivi 2006/42/EY.

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 1193/1999 koskee sähkölaitteistojen turvallisuutta ja 1194/1999 sähkötyöturvallisuutta. Päätöksissä esitettyjen olennaisten turvallisuusvaatimusten katsotaan täyttyvän, jos sovelletaan tiettyjä turvallisuusstandardeja tai vastaavia julkaisuja. Sähköturvallisuusviranomaisen eli Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (TUKES) tehtävänä on vahvistaa tällaisten standardien ja julkaisujen luettelo Sähköturvallisuuden neuvottelukunnan lausunnon perusteella. (Turvatekniikan keskus, 2010. Tukes-ohje S10-2010)

Laittevalmistajien ohjeiden lisäksi koestuskentän turvallisuutta koskevat lähinnä seuraavat standardit ja julkaisut:

- Standardisarja SFS 6000 (2012) Pienjännitesähköasennukset
- SFS 6001 (2001) + A1 (2005) + A2 (2009) Suurjännitesähköasennukset
- SFS-EN 50191 (2011) Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö
- SFS 6002 (2005) Sähkötyöturvallisuus.

12.1 Koestuskentän turvallisuus

Turvallisuustarkastelun kuvausta varten laadittiin dokumentti ”Työturvallisuus koestuskentällä”. Dokumentti on esitetty liitteessä 2. Turvajärjestelmän dokumenttitunnisteet ovat tyyppiä 04-xxx-xxx.

Vaarojen tunnistaminen ja riskien arviointi voidaan tehdä käyttäen apuna, esim. standardeja SFS-EN 414, SFS-EN ISO 12100, SFS-EN 1050, tai muita B-tyyppin standardeja sekä konekohtaisia standardeja. Riskit arvioidaan ottamalla huomioon vamman tai terveyshaitan esiintymistodennäköisyys ja ennakoitavissa oleva vamman tai terveyshaitan vakavuus. Riskeihin vaikuttavat tekniset ja inhimilliset tekijät tunnistetaan ja analysoidaan. Riskinarvioinnin perusteella suunnitellaan turvallisuustoimenpiteet. Tavoitteena on saada kone turvalliseksi ottaen koneen suunnittelussa, rakenteessa ja käyttöohjeissa huomioon koneen ennakoitu käyttö koko sen elinkaaren aikana. (Työsuojeluhallinto 2007)

Koestuskentän riskienarviointi tehtiin standardin SFS-EN 1050 mukaan laaditulla vaaratekijälomakkeella, joka on esitetty liitteessä 3. Vaaratekijälomaketta käytetään suunnittelun työkaluna ja sitä päivitetään koko sähköistysprojektin ajan.

12.2 Aidat ja kulkureitit

Testausalueen on oltava erotettu työskentelyalueista ja kulkuteistä. Aitausten on oltava rakennettu niin, että ne estävät:

- muiden kuin testaushenkilöiden pääsyn testausalueelle
- muiden kuin testaushenkilöiden ulottumisen kielletylle alueelle
- aitausten ulkopuolella olevia henkilöitä ulottumasta aitausten sisäpuolelle sijoitettujen testauslaitteiston käyttölaitteisiin.

(SFS-EN 50191).

Koska testausalueella ei aina pystytä toteuttamaan IP3X kotelointiluokkaa täytyy koestuskentän suojaus toteuttaa standardin SFS-EN 50191 mukaan siten, että automaattisen kosketukselta suojaus suojuksien on oltava vähintään 1800 mm korkeita kiinteitä seinämiä tai verkkoaitoja (aukkojen sivun pituus tai halkaisija enintään 40 mm). (SFS-EN 50191).

Koestuskenttä erotetaan muusta korjaamotilasta käyttämällä olemassa olevia, n. 2100 mm korkeita verkkoaitaelementtejä ja osittain kiinteillä kalusteilla. Aitaan ja oviin on kiinnitettävä testausalueesta ilmoittavat varoitus- ja asiattomilta pääsykieltokyltit. Malleja yleisimmin käytetyistä kielto- ja varoituskilvistä on esitetty standardissa SFS 6002, liitteessä V.

12.3 Ovien ja suojien lukitus.

Kulkureiteiksi koestuskentälle suunnitellaan tehtäväksi kolme ovea, jotka varustetaan kuvan 8 mukaisilla Telemecanique XCS-E turvalukkoilla. Turvalukkojen ohjausjännite on poiketen ohjauspulpetilla muuten käytetystä 24 V jännitteestä 230 V, koska haluttiin hyödyntää ennestään käytettyjä lukkoja.



Kuva 8. Turvalukko Telemecanique XCS-E. (Global machineparts. www-sivut, hakupäivä 15.3.2014).

Kytkenät testattaville koneille tehdään joko rasiakeskukselta RAK1 tai välijännitemuuntajan T01.4 navoista. Pienivirtaisille liittynöille asennetaan voimapistorasiat RAK1 kansiin. Suurivirtaiset liittynät tehdään RAK1 sisällä oleviin kiskoihin tai T01.4 toisionapoihin, jolloin joudutaan avaamaan kytkentäluukkuja. Kaikki kytkentäluukut varustetaan kuvan 9 mukaisilla ABB Sense7 ovikytkimillä.



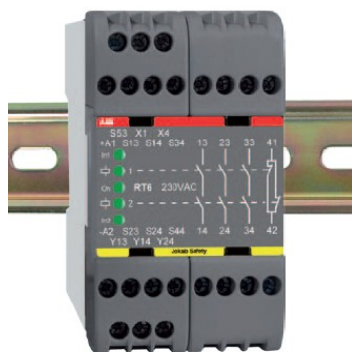
Kuva 9. Ovikytkin ABB Sense7. Lähetin/vastaanotin ja aktuaattori. (Abb Oy 2012. Sense7-series, hakupäivä 11.4.2013).

Kuormitettaessa moottoreita kuormituskoneella G1, liitetään moottorit yhteen ns. kardaaniakselilla joka on turvatarkastelun perusteella merkittävin mekaaninen vaaratekijä. Kardaaniakselille suunnitellaan lukittava suoja, jonka tilaa asennetaan valvomaan ABB Sense7 ovikytkin.

Turvajärjestelmä suunnitellaan siten, ettei se salli jännitteen kytkeytymistä RAK1:lle tai T01.4:lle jos alueen jokin ovi, kytkentäluukku ja/tai kardaanisuoja on auki. Turvalaitteiden tasopiirustus on esitetty liitteessä 33, turvalukkojen ja ovikytkimien piirikaaviot liitteessä 34.

12.4 Turvareleet

Koestuskentän turvajärjestelmässä on kaksi turvarelettä, ABB Jokab RT6 (kuva 10) ja -RT7. Erona releillä on RT7:lle asettavissa oleva toiminta-aikaviive. Järjestelmässä RT6 (K80.1) valvoo kentälle johtavien ovien turvalukkojen ja ovikytkinten tilaa. Releelle tehdään automaattikuittaus kun em. valvontalaitteet ovat turvallisessa tilassa. Turvarele RT7 (K80.2) valvoo viiden hätä-seis kytkimen tilaa. Turvareleiden kytkennät on esitetty liitteessä 34, sivulla 1.



Kuva 10. Turvarele ABB Jokab RT6. (Abb Oy 2013. The Safety handbook, hakupäivä 15.3.2014).

12.5 Häätä-Seis toiminto

Sähkölaitestandardin EN 60204-1 vaatimukset hätäpysäytykselle ovat:

- Sen on ohitettava kaikki muut toiminnot kaikissa toimintatavoissa.
- Niiltä koneen toimilaitteilta, jotka voivat aiheuttaa vaaratilanteen, on poistettava teho mahdollisimman nopeasti aiheuttamatta kuitenkaan vaaratekijöitä.
- Häätäpysäytyksen toimintakuntoon palauttaminen ei saa aiheuttaa uudelleen käynnistymistä.

Standardi jakaa sovellukset erilaisiin pysäytysluokkiin. Pysäytysluokan valinta määrittää koneen riskinarviointia tehdessä:

- Pysäytysluokka 0: Pysäyttäminen poistamalla välittömästi teho koneen toimilaitteilta.
- Pysäytysluokka 1: Valvottu pysähtyminen, jossa koneen toimilaitteilla on teho pysähtymiseen saakka. Pysäytyksen jälkeen teho poistetaan toimilaitteilta.

- Pysäytysluokka 2: Valvottu pysähtyminen, jossa koneen toimilaitteilla säilytetään teho.
(SFS EN 60204-1).

Koestuskentälle sovelletaan pysäytysluokkaa 0. Suoja-aidan sisäpuolelle on sijoitettu 3 kpl ja ulkopuolelle 2 kpl hätä-seis painikkeita. Painikkeiden tilaa valvoo turvarele RT7 (K80.2). Hätä-seis painike katkaisee ohjausjännitteen kentän kaikkien katkaisijoiden alijännitereleeltä, jolloin katkaisijat avautuvat. Samalla avautuvat ovien turvalukot ja hälytyssummeri (P50.2) antaa hälytyksen. Hätä-seis turvarele on kuitattava erikseen, ennen kuin uudelleenkytkentä on mahdollista. (SFS EN 60204-1).

12.6 Merkkivalot

Koestuskentän merkkivalot suunniteltiin alla olevan luettelon mukaisesti, vastaamaan sivulla 95 mainittujen standardien vaatimuksia.

- Ohjauskeskus 1: Jokaisessa kentälähdössä on keskuksen kannessa kentän katkaisijoille ja kontaktoreille niiden toimintaa vastaava merkkivalo, joka ilmoittaa onko kyseinen koje päällä.
- Rasiakeskus ja välijännitemuuntaja: Jokaisessa liityntäpisteen vieressä on merkkivalo, joka ilmoittaa onko jännite kyseiseen pisteeseen kytketty. Merkkivalot on esitetty liitteessä 27.
- Ohjauspulpetti: Ohjauspulpetilla OP1 on merkkivalojen testauspainike, jolla testataan ”jännite päällä” merkkivalot RAK1:llä ja T01.4:llä, sekä ”kenttä valmis” ja ”kenttä käynnissä” merkkivalot. Ohjauspulpetin merkkivalot on esitetty OP1 layout kuvassa liitteessä 42 sivulla 3.
- Kenttä: Koestuskentälle sijoitetaan kaksi valotornia, joissa on ”kenttä valmis” ja kenttä käy” valot. Hätä-seis toiminnosta ilmoittava summeri on sijoitettu toiseen valotorneista. Jatkuva vihreä ”kenttä valmis” valo syttyy kun ohjausjännitteet on kytketty, eikä hätä-seis ole toimineena. Vilkkuva punainen ”kenttä käy” valo palaa kun edellisten lisäksi myös ovet ovat kiinni ja lukittu ja ovikytkimien valvomat luukut ovat kiinni.

13 MAADOITUS

Maadoitusta voidaan käyttää täyttämään sähköasennusten käyttötarkoituksen mukaan joko erikseen tai yhteisesti turvallisuutta ja toimintaa koskevat vaatimukset. Maadoitusjärjestelmän tarkoituksena on saada aikaan johtava yhteys maahan, joka:

- on luotettava ja sopii asennuksen suojausvaatimukseen
- voi johtaa maasulkuvirrat ja suojajohtimien virrat maahan aiheuttamatta termisiä, lämpömekaanisia tai sähkömekaanisia rasituksia ja aiheuttamatta näistä virroista johtuvia sähköiskuja
- on vankkarakenteinen tai mekaanisesti suojattu ja arvioituihin ulkoisiin olosuhteisiin verrattuna kestää riittävästi korroosiota
- tarvittaessa soveltuu myös toiminnallisiin tarkoituksiin.

(SFS6000-5-54).

13.1 Päämaadoituskisko

Jokaisessa asennuksessa, jossa käytetään suojaavaa potentiaalintasausta, on oltava päämaadoituskisko tai -liitin, johon liitetään seuraavat johtimet:

- suojaavat potentiaalintausjohtimet
- maadoitusjohtimet
- suojajohtimet
- mahdolliset toiminnalliset maadoitusjohtimet.

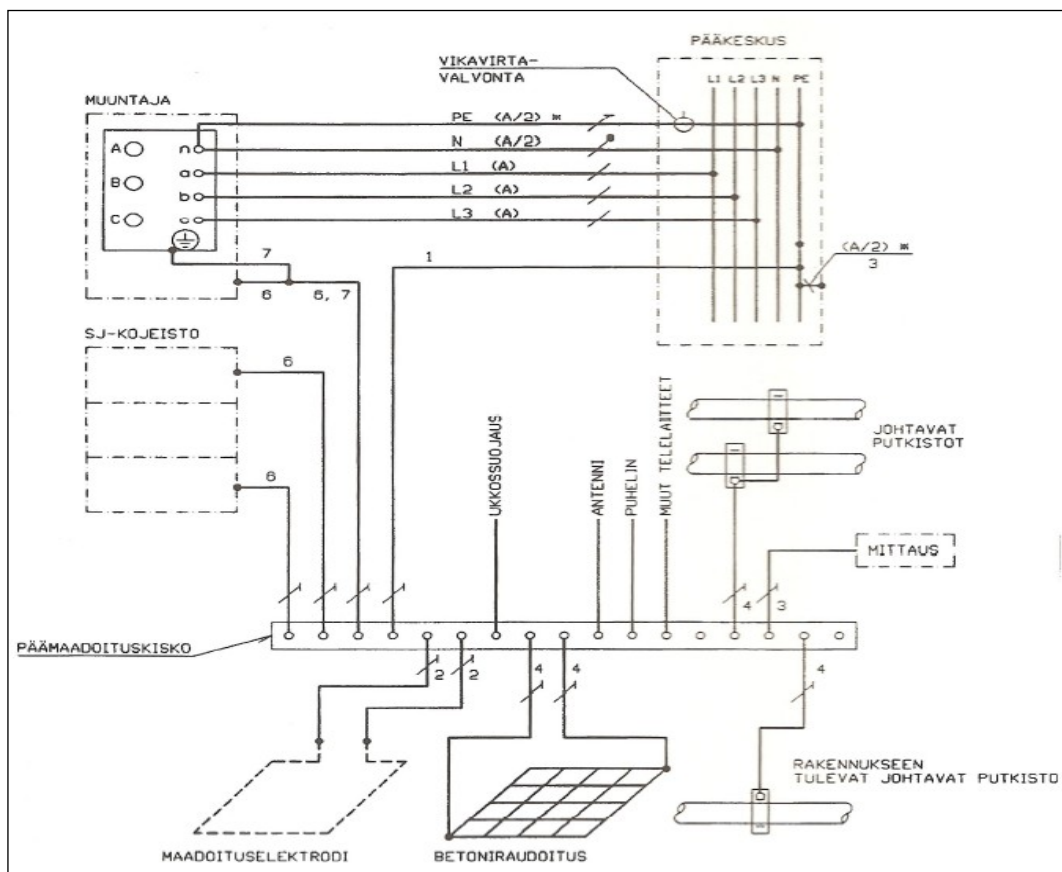
(SFS6000-5-54).

Jokaista yksittäistä suojajohdinta ei ole tarkoitus liittää suoraan päämaadoituskiskoon, jos ne on liitetty tähän kiskoon muiden suojajohtimien välityksellä. Rakennuksen päämaadoituskiskoa voidaan yleensä käyttää toiminnalliseen maadoitukseen. Informaatiotekniikan järjestelmissä sitä pidetään liittämisenä maadoituselektrodiverkkoon. (SFS6000-5-54).

Jokainen päämaadoituskiskoon liitetty johdin on voitava irrottaa yksitellen. Liitoksen on oltava mekaanisesti ja sähköisesti luotettava, ja se saa olla avattavissa vain työkalun avulla. Irrottaminen voidaan tehdä päämaadoituskiskossa, jolloin maadoitusjärjestelmän maadoitusresistanssi voidaan tarvittaessa mitata. (SFS6000-5-54).

13.2 Suojajohtimet

Kunkin suojajohtimen poikkipinnan on täytettävä SFS6000 osan 4-41 mukaiset syötön automaattisen poiskytkennän ehdot. Johtimen on kestävä prospektiivinen vikavirta. Suojajohtimen poikkipinta on joko laskettava tai valittava taulukon 14 mukaan. (SFS6000-5-54). Kuviossa 26 on esimerkki maadoituksen rakenteesta.



Kuvio 26. Esimerkki asennuksesta, johon liittyy muuntamo TN-S-järjestelmässä. (Esa, Tiainen 2007, 52).

Taulukko 14. Suojajohtimien minimipoikkipinnat (SFS6000-5-54).

Äärijohtimen poikkipinta S mm^2	Vastaavan suojajohtimen minimipoikkipinta mm^2	
	Suojajohdin on samaa materiaalia kuin äärijohtin	Suojajohdin on eri materiaalia kuin äärijohtin
$S \leq 16$	S	$\frac{k_1}{k_2} \times S$
$16 < S \leq 35$	16^a	$\frac{k_1}{k_2} \times 16$
$S > 35$	$\frac{S}{2}^a$	$\frac{k_1}{k_2} \times \frac{S}{2}$
jossa		
k_1 on äärijohtimen materiaalista ja eristyksestä riippuva kertoimen k arvo, joka on esitetty taulukossa A.54.1 tai osan 4-43 taulukoissa		
k_2 on kertoimen k arvo, joka on esitetty taulukoissa A.54.2...A.54.6		
^a PEN-johtimen poikkipinnan pienentäminen on sallittu vain noudattamalla osan 5-52 nolajohtimen mitoituksen sääntöjä		

13.3 PEN johtimet

PEN-, PEL- tai PEM-johdinta saa käyttää vain kiinteissä sähköasennuksissa ja mekaanisen kestävyuden takia johtimen poikkipinnan on oltava vähintään 10 mm² kuparia tai 16 mm² alumiinia. EMC-syiden takia PEN-johdinta ei saa käyttää asennuksen liittymiskohdan jälkeen (ks. SFS 6000-4-44 kohta 444.4.3.2). (SFS 6000-5-54).

Aikaisemmin asennettuja PEN-johtimia (nollajohtimia) saa käyttää pääjohdoissa (keskuksia syöttävissä johdoissa), vaikka niiden poikkipinta ja tunnusväri eivät vastaa nykyisiä vaatimuksia. Liitettäessä pääjohto, jonka PEN-johtimen väri ei vastaa SFS- 6000-5-51 kohdan 514.3 vaatimuksia, johtimen päät varustetaan sinisellä ja keltavihreällä lisämerkinnällä tai tekstillä PEN. Olemassa oleviin pääjohtoihin, jotka jäävät entiseen käyttöönsä PEN-johtimen merkintöjä ei vaadita. (SFS 6000-8-802).

13.4 Suojaavat potentiaalintasausjohtimet

Pääpotentiaalintasaukseen SFS 6000-4-41 kohdan 411.3.1.2 mukaisesti käytettävien suojaavien potentiaalintasausjohtimien, jotka liitetään päämaadoituskiskoon kohdan 542.4 mukaisesti, on oltava poikkipinnaltaan vähintään puolet asennuksen suurimmasta suojamaadoitusjohtimesta ja vähintään:

- 6 mm² kuparia
- 16 mm² alumiinia
- 50 mm² terästä.

Pääpotentiaalintasausjohtimien poikkipinnan ei tarvitse olla suurempi kuin 25 mm² kuparia tai vastaava poikkipinta muuta materiaalia. (SFS 6000-5-54).

13.5 Koestuskentän maadoitus

Koestuskentän maadoitukset on suunniteltu standardin SFS 6000 vaatimusten mukaisesti. Maadoituskaavio ja lisättävät maadoituskiskot on esitetty liitteessä 35.

Ohjauskeskuksissa OK11 ja OK121 käytetään TN-C järjestelmää, jossa vanhan asennuksen MCMK3x185+95 syöttökaapelin konsentrinen johdin toimii pelkästään suojajohtimena (PE-johdin), koska kyseisessä järjestelmässä ei tarvita varsinaista toiminnallista nollajohdinta.

Suojajohdin on lisäksi varmistettu kahdella erillisellä MKEM120 kevi johtimella pääkeskuk-
sen PE-kiskon ja OK121 PE-kiskon välillä.

Ohjauskeskuksessa OK13 on käytössä TN-C-S järjestelmä, jossa syöttö tapahtuu vanhan
asennuksen MCMK3x185+95 syöttökaapelin konsentrisen johdin toimii PEN-johtimena, tä-
mä on mahdollista SFS 6000-8-802 mukaan, kun johtimen päät varustetaan sinisellä ja kelta-
vihreällä lisämerkinnällä tai tekstillä PEN. Muuntajahuoneeseen ja koestuskentälle asennetaan
potentiaalintasauskiskot joihin liitetään tilojen johtavat osat.

14 TARKASTUKSET

Sähköturvallisuuslain mukaan sähkölaitteisto saadaan ottaa käyttöön vasta kun käyttöönotto-tarkastuksessa on selvitetty, että siitä ei aiheudu 5 §:ssä tarkoitettua vaaraa tai häiriötä. Ministeriö voi sähköturvallisuuden varmistamiseksi määrätä, että sähkölaitteistolle on lisäksi suori-tettava varmennustarkastus ennen laitteiston ottamista varsinaiseen käyttötarkoitukseensa tai ministeriön määrittämässä tapauksissa tämän ajankohdan jälkeen. Varmennustarkastus voidaan ministeriön määrittämässä tapauksissa korvata sähkölaitteiston rakentaneen tai rakentamisesta vastanneen sähköurakoitsijan varmennuksella. Oikeudesta suorittaa tällaisia varmennuksia säädetään 22 §:ssä. (KTMp 1996/410 5:17§).

14.1 Sähkölaitteistoluokat

Sähkölaitteistot on jaettu taulukossa 15 esitettyihin kolmeen luokkaan, joiden perusteella määräytyy mm. niiden varmennus- ja määräaikaistarkastusten ajankohdat ja tarkastuksiin oi-keutettu taho. (KTMp 1996/517 1:2§). Kyseisen luokituksen perusteella koestuskentän katso-taan kuuluvan luokkaan 1b.

Taulukko 15. Sähkölaitteistoluokat (KTMp 1996/517 1:2§).

Luokan 1 sähkölaitteisto	<ul style="list-style-type: none"> a) sähkölaitteistoa asuinrakennuksessa, jossa on enemmän kuin kaksi asuinhuoneistoa; b) muuta kuin asuinrakennuksen sähkölaitteistoa, jonka suojalaitteena toimivan ylivir-tasuojan nimellisvirta on yli 35 ampeeria ja joka ei kuulu luokkiin 2 tai 3; c) sähkölaitteistoa räjähdysvaarallisessa tilassa, jossa vaarallisen kemikaalin valmistus, käsittely tai varastointi vaatii ilmoitusta;
Luokan 2 sähkölaitteisto	<ul style="list-style-type: none"> b) lääkintätilojen sähkölaitteistoa sellaisessa sairaalassa, terveyskeskuksessa tai yksityi-sellä lääkäriasemalla, jossa ei tehdä yleisanestesiaa tai laajapuudutusta edellyttäviä ki-rurgisia toimenpiteitä; c) sähkölaitteistoa, johon kuuluu yli 1 000 voltin nimellisjännitteisiä osia, lukuun otta-matta sellaista sähkölaitteistoa, johon kuuluu vain enintään 1 000 voltin nimellisjän-nitteellä syötettyjä yli 1 000 voltin sähkölaitteita tai niihin verrattavia laitteistoja; d) sähkölaitteistoa, jonka liittymisteho, jolla tarkoitetaan sähkölaitteiston haltijan kiin-teistölle tai yhtenäiselle kiinteistö-ryhmälle rakennettujen liittymien liittymistehojen summaa, on yli 1 600 kilovoltiampeeria;
Luokan 3 sähkölaitteisto	<ul style="list-style-type: none"> a) sähkölaitteistoa räjähdysvaarallisessa tilassa, jossa vaarallisen kemikaalin valmistus, käsittely tai varastointi taikka räjähteen valmistus vaatii lupaa; b) lääkintätilojen sähkölaitteistoa sellaisessa sairaalassa tai terveyskeskuksessa taikka sellaisella yksityisellä lääkäriasemalla, jossa tehdään yleisanestesiaa tai laajapuudutus-ta edellyttäviä kirurgisia toimenpiteitä; c) verkonhaltijan jakelu-, siirto- ja muuta vastaavaa sähköverkkoa.

14.2 Käyttöönottotarkastus

Käyttöönottotarkastuksesta tulee laatia sähkölaitteiston haltijan käyttöön tarkastuspöytäkirja, jollei 2 momentissa muuta määrätä. Tarkastuspöytäkirjasta tulee käydä ilmi kohteen yksilöintitiedot, selvitys sähkölaitteiston säännösten ja määräysten mukaisuudesta, yleiskuvaus käytetyistä tarkastusmenetelmistä sekä tarkastusten ja testausten tulokset. Tarkastuksen tekijän on allekirjoitettava tarkastuspöytäkirja. Käyttöönottotarkastuspöytäkirjaa ei edellytetä sellaisista sähköalan töistä, joista voi aiheutua vain vähäistä vaaraa tai häiriötä, nimellisjännitteeltään enintään 50 voltin vaihtojännitteisten tai 120 voltin tasajännitteisten sähkölaitteistojen asennuksista, yksittäisten komponenttien vaihdoista tai lisäyksistä taikka näihin verrattavista toimenpiteistä, yksittäisten kojeiden syöttöön liittyvistä muutostöistä enintään 1 000 voltin nimellisjännitteellä, nimellisjännitteeltään enintään 1 000 voltin kytkinlaitoksiin kohdistuvista muutostöistä, joissa kytkinlaitoksen nimellisarvoja ei muuteta, eikä sellaisen tilapäislaitteiston asennuksesta, joka on koottu standardien mukaisista työmaakeskuksista. Edellä 2 momentissa mainituista tapauksista on sähkölaitteiston testausten tulokset kuitenkin tarvittaessa annettava laitteiston haltijalle. (KTMp 1996/517 2:4§).

14.3 Varmennustarkastus

Sähköturvallisuuden varmistamiseksi sähkölaitteistolle on käyttöönottotarkastuksen lisäksi tehtävä varmennustarkastus, kun kyseessä on luokan 1–3 sähkölaitteisto. Varmennustarkastus on tehtävä myös tällaisten laitteistojen muutostöille, jollei ole kyse 4 §:n 2 momentissa tarkoitetuista sähköalan töistä. (KTMp 1996/517 2:5§).

Varmennustarkastuksen voi tehdä valtuutettu laitos. Muille kuin 2 §:n 3 a kohdan tarkoittamille sähkölaitteistoille varmennustarkastuksen voi tehdä myös valtuutettu tarkastaja. Varmennustarkastus voidaan luokan 3 alakohdassa a tarkoitettuja sähkölaitteistoja lukuun ottamatta korvata sähkölaitteiston rakentaneen tai rakentamisesta vastanneen sellaisen sähköuraakoitsijan varmennuksella, jolla on tähän oikeus. (KTMp 1996/517 2:8§).

Varmennustarkastuksesta ja sitä korvaavasta sähköuraakoitsijan varmennuksesta on laadittava laitteiston haltijan käyttöön tarkastustodistus. Todistuksesta tulee käydä ilmi kohteen yksilöintitiedot, tarkastusmenetelmä ja selvitys sähkölaitteiston säännösten ja määräysten mukaisuudesta. Tarkastuksen tekijän on allekirjoitettava todistus. (KTMp 1996/517 2:9§).

14.4 Huolto, kunnossapito ja määräaikaistarkastus

Sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että laitteiston kuntoa ja turvallisuutta tarkkaillaan ja että havaitut puutteet ja viat poistetaan riittävän nopeasti. (KTMp 1996/517 3:10§).

Määräaikaistarkastus on tehtävä luokan 1 sähkölaitteistolle asuinrakennuksia lukuun ottamatta viidentoista vuoden välein. (KTMp 1996/517 3:12§).

Määräaikaistarkastuksissa tulee riittävässä laajuudessa pistokokein tai muulla soveltuvalla tavalla varmistua siitä, että sähkölaitteiston käyttö on turvallista ja laitteistolle on tehty huolto- ja kunnossapito-ohjelman mukaiset toimenpiteet, sähkölaitteiston käyttöön ja hoitoon tarvittavat välineet, piirustukset, kaaviot ja ohjeet ovat käytettävissä ja sähkölaitteiston laajenus- ja muutostöistä on asianmukaiset tarkastuspöytäkirjat. (KTMp 1996/517 3:13§).

Määräaikaistarkastuksen voi tehdä valtuutettu laitos. Muille kuin luokan 3 alakohdassa a tarkoitetuille sähkölaitteistoille määräaikaistarkastuksen voi tehdä myös valtuutettu tarkastaja. (KTMp 1996/517 3:14§).

Määräaikaistarkastuksesta on laadittava haltijan käyttöön tarkastuspöytäkirja, jossa on yksilöitävä tarkastusta koskevat tiedot ja havaitut sähköturvallisuuteen liittyvät puutteet. Tarkastuksen tekijän on allekirjoitettava tarkastuspöytäkirja. (KTMp 1996/517 3:15§).

15 POHDINTA

Opinnäytetyölle oli asetettu tavoitteeksi laatia toteutuksen vaatima sähkötekniinen ja tilasuunnitteludokumentaatio uudelle koekäyttöjärjestelmälle. Suunnittelun kaikki dokumentit on koottu piirustusluetteloon, joka on esitetty liitteessä 47.

Työn onnistumisen kannalta määritysvaiheen merkitys suunnittelutyön onnistumiseen osoittautui oleellisen tärkeäksi ja puutteet määrittelyssä kostautuivat suunnitteluvaiheen aikana mm. useina dokumenttien päivityskierroksina. Kokonaisuudesta teki haasteellisen järjestelmän useat, yksityiskohtaista suunnittelua vaativat toiminnot. Lisäksi koestuskentän normaalista teollisuudesta poikkeava käyttötapa aiheutti omat haasteensa. Teknisesti suurimmat haasteet olivat järjestelmän sisältämä laaja laitekanta. Nykyaikaiset laitteet ovat niin monimutkaisia, että jo yhden laitteen itseopiskelu vie huomattavan paljon aikaa.

Suurimmat ongelmat tulivat sähköisten arvojen mittauksista, koska ilmeni, että osittain kyseiseen käyttöön asennettujen katkaisijoiden dynamiikka ei riitä pienten virtojen mittaukseen. Myös moottorikäyttöiltä saatavat mittaustulosten tarkkuus jäi epäselväksi. Alun perin oletettiin, että tarkat ja kattavat mittaustiedot on saatavissa käyttöiltä vaihekohtaisesti. Tältä osin järjestelmään jäi tutkittavaa ja kehitettävää. Samoin käyttöjen parametroidintia olisi syytä selvittää ja kehittää käyttäjien työn helpottamiseksi. Kiinteistön keskuskaaviossa olleen virheellisen kaapelitiedon takia, on 690 V kentän tehon syöttöä mahdollista tarvittaessa kasvattaa, esimerkiksi asentamalla pääkeskuslähtöön 630 A katkaisija, nykyisen 400 A kytkinvarokkeen tilalle.

Työssä suurena etuna oli, että tarvittavat laitteet löytyivät ABB Oy omasta tuotevalikoimasta. Samoin suuri etu oli, että koestuskenttää rakennettiin opinnäytetyönä, osittain samanaikaisesti suunnittelun kanssa. Tämä mahdollisti, että suunniteltuja toimintoja voitiin testata käytännössä ja tehdä tarvittaessa muutoksia. Ottaen huomioon suunniteltavan järjestelmän ja laitekannan laajuuden, suunnittelussa tavoitettiin lähes kokonaan sille alun perin asetetut tavoitteet.

Työ oli haasteellinen, sisältäen monipuolisesti teollisuuden sähköverkon komponentteja ja toimintoja. Työ antoi erinomaisen pohjan mahdollisiin tuleviin suunnittelutehtäviin.

16 LÄHTEET

- ABB Oy 2013. ABB industrial drives ACS880 drive modules Catalog
3AUA0000115038 REV D EN.
- ABB Oy 2006. ACS800-07 Laiteopas 45...560 kW, 3AFE64787322 Rev C FI. Haettu
3.2.2013. <
- ABB Oy 2009. ACS800 single drive -taajuusmuuttajat, 3AFE68481261 REV K FI.
- ABB Oy 2008. ACS800 User's Manual Sine Filters 3AFE68389178 REV G EN.
- ABB Oy 2007. Esite.Tmax FI 0808 1SDC210015D0202, Vaasa.
- ABB Oy 2012. Industrial automation 1SBC 125 003 C0205 , Main gatalog, Germany.
- ABB Oy 2014 Kompaktikatkaisijat. Hakupäivä 24.2.2014
<<http://www.abb.fi/product/fi/9AAC100091.aspx>>
- ABB Oy, laatuohje, Asynkronikoneet: Epätahtikoneen perushuolto korjaamalla.
- ABB Oy 2007. Laiteopas 3AFE64622293 rev F FI.
- ABB Oy 2014. new.abb.com/fi. Hakupäivä 28.4.2014
- ABB Oy 2012. Sense7-series. Hakupäivä 11.4.2013.
- ABB Oy 1999. System Description DCS 600 converter module 3ADW 000 072 R0301
REV C
- ABB Oy 2009. Technical Application Papers-Bus communication with ABB circuit-
breakers 1SDC007108G0201, Italy.
- ABB Oy 2001. Tekninen opas nro 1 – Suoramomenttisäätö 3BFE 61367772 R0105.
rev. B FI.
- ABB Oy 2000. Tekninen opas nro 3 - PDS-käyttöjen asennus ja kokoonpano EMC-
vaatimusten mukaan, BFE 64408887 R0205, FI.
- ABB Oy 2001. Tekninen opas nro 6 - Vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas
3BFE64440225 R0105, FI 27.02.2001
- ABB Oy 2001. Tekninen opas nro 8 - Sähköinen jarrutus 3BFE 64455567 R0105.FI.
- ABB Oy 1996. Tekninen esite OF 1 FI 96-02. Vaasa.
- ABB Oy 2010. Teknisiä tietoja ja taulukoita: Luku 7- Oikosulkusuojaus.
- ABB Oy 2011. Teollisuuskäyttöjen kojevalinnat, Esite A 30 FI 03_111SCC01100-
4C1802 Waasa Graphics, Vaasa.
- ABB Oy 2013. The Safety handbook. Hakupäivä 15.3.2014
<[http://search.abb.com/library/Dowload.aspx?DocumentID=2TLC172001C0202&
LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch](http://search.abb.com/library/Dowload.aspx?DocumentID=2TLC172001C0202&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch)>
- ABB Oy 2000. TTT-käsikirja 2000-07 Oikosulkusuojaus.
- Anjala, Risto 2008. Verkostosuositus SA 2:08: Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan
sähköinen mitoittaminen. Energiateollisuus ry. Helsinki.
- Energiateollisuus ry. Verkostosuoritus RM 3:02. Kaapeliliitännäinen verkonhaltijan
muuntamo. Sähkö-energialiitto ry
- Ensto Oy 1999. Suojien selektiivisyys, Ensto Pro koulutuskonsepti. Hakupäivä 25.3.2014
<[http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/120-
4792797383/1210594480264/1210594509783/1210594830404.html](http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/120-4792797383/1210594480264/1210594509783/1210594830404.html)>
- Esa, Tiainen 2007. Maadoituskirja. Sähköinfo Oy. Espoo.
- Etto, Jaakko 1998. Prosessisähköistyksen kunnossapito, osa 1. Kunnossapitokoulu 47 6-
98, 9.
- Global machineparts www-sivut, Hakupäivä 15.3.2014) <[https://www.globalmachine-
parts.com/store/default.aspx?tabname=Categories&appname=Store&PartNumber=XCS-
E-5313%7C01](https://www.globalmachineparts.com/store/default.aspx?tabname=Categories&appname=Store&PartNumber=XCS-E-5313%7C01)>
- Grunwald, Annette. REO Inductive Components AG. Re: DRTMO. Sähköpostiviesti
jarmo.seppanen@edu.tokem.fi, 27.2.2017.

- Hanigovszki, Norbert 2005. EMC Output Filters for Adjustable Speed Drives. Väitöskirja. Aalborg University. Institute of Energy Technology. Aalborg, Tanska.
- Harsia, Pirkko 2009. Johdon mitoitusaiho. Virtuaali AMK. Hakupäivä 20.2.2014
<<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030503/1132057231100/1132058013949/1132130139578/1132130161118.html>>
- Heimonen, Tuomas 2008. Moottoreiden ylijännitesuojaus taajuusmuuttaja käytössä. Insinööriyö. Helsingin AMK Stadia, Helsinki.
- Huotari, Kari & Partanen, Jarmo 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Opetusmoniste. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, sähkötekniikan osasto. Lappeenranta.
- IEC 60909-0 2002. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems, second edition. Geneve. IEC
- IEC909 1988. Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems. First edition. Geneve 1988, International Electrotechnical Commission (IEC)
- Kim, J & Choi, J & Hong, H 2000. Output LC Filter Design of Voltage Source Inverter Considering the Performance of Controller. Power System Technology, 2000. Proceedings. PowerCon 2000. International Conference on 4-7 Dec. 2000. Vol. 3, s. 1659 – 1664.
- Konttinen, Juha 2008. Vaihtosähkökoneen huolto ja koestus. Lopputyö. Tampereen AMK, Tampere.
- Koponen, Antti 2007. Taajuusmuuttajien käytön ongelmakohdat kiinteistöautomaatiossa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Espoo.
- Korpinen, Leena 2012. Sähkötekniikkaopus osa 10 sähkökoneet osa 1, Tampere.
- Koskenjoki, Kari 2012. Verkkovaihtosuuntaajan suuntaajasillan optimointi, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.
- KTMp 1996/410 1996. Sähköturvallisuuslaki. Kauppa- ja teollisuusministeriö.
- KTMp 1996/517 1996. Päätös sähkölaitteiden käytöstä ja käyttöönotosta. Kauppa- ja teollisuusministeriö.
- Kylli, Mikko 2013. Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy, Re: ABB konetien 27. Vuosittainen sähkönkulutustieto v.2012, Sähköpostiviesti kalle.rantala@fi.abb.-com, 17.1.2017.
- Köykkä, Samuli. 2008. Sähkökeskusten standardin mukainen valmistus, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.
- Mäkinen, Markku & Kallio, Raimo 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
- Peltoniemi, P. 2006. Vektorimodulointimenetelmien ja verkkosuotimien vertailu jännitevälipiiriverkko vaihtosuuntaajassa. Diplomityö. Sähkötekniikan osasto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- PSK standardisointi, 2002. PSK 2001 Teollisuusmuntajatila, 2. painos, PSK Standardisointiyhdistys ry.
- Saarela, Joonas 2011. Pienjännitekatkaisijoiden säätö. Opinnäytetyö. Tampereen AMK. Alkuperäinen lähde, IEC 60947-2, 2006. Low-voltage switchgear and controlgear–Part 2: Circuit-breakers
- Salminen, Petri. 2009, Teollisuussähköverkon mallintaminen ja vikavirtatarkastelu, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2009. / alkuperäinen lähde.
- SFS EN 60204-1 2006. Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS 6000 2012. Pienjännitesähköasennukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS 6001 + A1 + A2, 2009. Suurjännitesähköasennukset, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN 60439-1+A1. 2005. Jakokeskukset Osa 1: Tyyppitestatuttujen ja osittain tyyppitestatuttujen keskusten vaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS EN 60071-1, 2006. Insulation co-ordination. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

- SFS-EN 60269-1, 2008. Pienjännitevarokkeet. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN 50191, 2011. Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN 50160, 2010. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. SESKO ry, 4. painos.
- SFS-EN 60947-4-1, 2010, Pienjännitekytkinlaitteet osa 4-1: Kontaktorit ja moottorikäynnistimet. SESKO ry, 2. painos.
- ST-kortti 53.45, 2004. Sulakkeeton suojaus. Sähköinfo. Espoo
- STUL ry, 2012. D1-2012-Käsikirja rakennusten sähköasennuksista, 19. painos, Sähköinfo Oy, Espoo.
- Suomen Automaatioseura 2007. Automaationsuunnittelun prosessimalli, Helsinki.
- Turvatekniikan keskus, 2010. Tukes-ohje S10-2010. haettu 15.3.2014
- Työsuojeluhallinto 2007. Koneturvallisuus. Säädökset ja soveltaminen. Multiprint Oy, Tampere. <http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2007/08/TSJ_57.pdf.>
- Welling, Juho. 2010. Elintarviketehtaan sähköverkon selvitys ja kehittämissuunnitelma, Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

LIITELUETTELO

Kaikki luettelon liitteet ovat luottamuksellisia.

- | | |
|-----------|---|
| Liite 1. | Tunnisteet |
| Liite 2. | Työturvallisuus koestuskentällä |
| Liite 3. | Vaaratekijä luettelo |
| Liite 4. | Laitteiston alustakehikko |
| Liite 5. | Välijännitemuuntajan suojakaappi |
| Liite 6. | Koestuskentän tasopiirustus |
| Liite 7. | Sähkötekniset kuormituslaskelmat |
| Liite 8. | Sähkötekniset vikavirta- ja jännitehäviölaskelmat |
| Liite 9. | Vikavirtakaaviot |
| Liite 10. | Sähköpääkaavio |
| Liite 11. | Ohjauskeskuksen 1, kentän 1 pääpiirikaavio |
| Liite 12. | Ohjauskeskuksen 1, kentän 2.1 pääpiirikaavio |
| Liite 13. | Ohjauskeskuksen 1, kentän 2.2 pääpiirikaavio |
| Liite 14. | Ohjauskeskuksen 1, kentän 3 pääpiirikaavio |
| Liite 15. | Jakokaapin, JK1 pääpiirikaavio |
| Liite 16. | Rasiakeskuksen, RAK1 pääpiirikaavio |
| Liite 17. | Sinisuotimen, V01 pääpiirikaavio |
| Liite 18. | DC-käytön, DC1 pääpiirikaavio |
| Liite 19. | Jännitteenjako |
| Liite 20. | Ohjauskeskuksen 1, kentän 1 ohjauspiirikaaviot |
| Liite 21. | Ohjauskeskuksen 1, kentän 2.2 ohjauspiirikaavio |
| Liite 22. | Muuntajan T01.2 ohjauspiirikaavio |
| Liite 23. | AC-käytön T02.1 ohjauspiirikaavio |
| Liite 24. | AC-käytön T02.2 ohjauspiirikaavio |
| Liite 25. | AC-käytön T02.3 ohjauspiirikaavio |
| Liite 26. | Ohjauspulpetin OP1 riviliittimet ja kojeet |
| Liite 27. | Rasiakeskuksen RAK1 ohjauspiirikaavio |
| Liite 28. | DC-käytön, DC1 ohjauspiirikaaviot |
| Liite 29. | Ohjauskeskuksen 1, kentän 3 ohjauspiirikaaviot |
| Liite 30. | Ohjauskeskuksen 1, kentän 2.1 ohjauspiirikaavio |
| Liite 31. | Väyläkaapelointi |

- Liite 32. Katkaisijoiden ohjauspiirikaaviot
- Liite 33. Turvalaite layout
- Liite 34. Turvapiirikaaviot
- Liite 35. Maadoituskaavio ja -kiskokuvat
- Liite 36. Koestuskentän layout
- Liite 37. Muuntajahuoneen layout ja kaapelointi
- Liite 38. Kaapelireitit tasokuva
- Liite 39. Ohjauskeskuksen 1 kenttien 1, 2.1 ja 3 tekniset tiedot ja kojeistokuvat
- Liite 40. Ohjauskeskuksen 1 2.2 tekniset tiedot ja kojeistokuva
- Liite 41. Jakokaapin, JK1 tekniset tiedot ja kojeistokuva
- Liite 42. Ohjauspulpetin, OP1 kojeistokuvat
- Liite 43. Rasiakeskuksen RAK1 tekniset tiedot ja kojeistokuvat
- Liite 44. Kojeistojen kilvet
- Liite 45. Kentän ohjaustapakuvaus
- Liite 46. Kaapeliluettelo
- Liite 47. Piirustusluettelo