

Pankakosken 0,4 kV vaihtosähköverkon ja 110 V tasasähköverkon mallintaminen, laskeminen ja dokumentointi

Joni-Matti Koskinen

Tekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Sähkövoimatekniikka
Insinööri (AMK)
KEMI 2013

ALKUSANAT

Haluan kiittää Kemijoki Oy:n Heikki Kusminia mielenkiintoisesta ja opettavaisesta opinnäytetyön aiheesta. Lisäksi haluan kiittää myös muuta Kemijoki Oy:n henkilökuntaa, kuten suunnitteluinsinöörejä Sami Soudunsaarta ja Tero Kelloniemeä saamastani avusta ja ohjauksesta. Kouluni osalta kiitän opinnäytetyöohjaajaani Antero Martimoa ja muita, joilta vaadittiin aikaa opinnäytetyöni eteen.

Haluan kiittää erityisesti myös opiskelutovereitani, ystäviäni ja sukulaisiani saamastani tuesta ja työtäni kohtaan osoitetusta mielenkiinnosta. Kaikkein eniten olen kiitollinen perheelleni saamastani tuesta ja niistä kaikista tärkeistä puitteista, joita ilman oman elämän rakentaminen ja varsinkaan opiskelu ei olisi ollut tai tulisi olemaan mahdollista.

Rovaniemellä 23.5.2013

Joni-Matti Koskinen

TIIVISTELMÄ

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU, Tekniikan koulutusala

Koulutusohjelma:	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyön tekijä:	Joni-Matti Koskinen
Opinnäytetyön nimi:	Pankakosken 0,4 kV vaihtosähköverkon ja 110 V tasasähköverkon mallintaminen, laskeminen ja dokumentointi
Sivuja (joista liitesivuja):	226 (141)
Päiväys:	23.5.2013
Opinnäytetyön ohjaaja:	Ins. Antero Martimo
<p>Opinnäytetyön aiheena oli Lieksassa sijaitsevan Pankakosken vesivoimalaitoksen 0,4 kV vaihtosähköverkon ja 110 V tasasähköverkon mallintaminen, laskeminen ja dokumentointi. Toimeksiantajana oli Kemijoki Oy. Tavoitteena oli vaihto- ja tasasähköverkkojen mallintaminen, laskelmointi ja dokumentointi käyttäen apuna FebDo -nimistä pienjänniteverkon suunnitteluohjelmaa. Ohjelmalla saatuja tuloksia verrattiin laskemalla saatuihin tuloksiin.</p> <p>Teoriassa perehdyttiin voimalaitosten vaihto- ja tasasähköjärjestelmiin, joilla ylläpidetään voimalaitoksia. Lisäksi teoriassa perehdyttiin oikosulkuvirtoihin, verkon suojauksen toteuttamiseen ja sen selektiivisyyteen. Lisäksi teoriassa käsiteltiin laskennallista teoriaa koskien muuntajan arvojen, verkossa esiintyvien oikosulkuvirtojen ja jännitteenalennemien laskemista.</p> <p>Pääasiallisina lähteinä työssä käytettiin standardeja, joista tärkeimpänä oli pienjännitesähköasennuksia koskeva standardi SFS 6000, joka pitää sisällään tietoa sähköverkon komponenteista, sähköverkon suunnittelusta ja vaadittavista tiedoista koskien sähköverkon dokumentointia. Muita tärkeitä lähteitä olivat sähköverkkosuunnittelua koskevat julkaisut.</p> <p>Molemmista verkoista saatiin laskettua vaadittavat oikosulkuvirrat ja jännitteenalennemat ja niitä vertailtiin suunnitteluohjelmalla saatuihin tuloksiin. Kaikki tulokset eivät olleet täsmälleen samansuuruisia johtuen muutamista eroavaisuuksista sähköverkkojen arvoissa. Tuloksista saatiin kuitenkin käyttökelpoiset. Myös verkon suojalaitteille saatiin määriteltyä tarvittavat arvot ja niiden selektiivisyys varmistettiin.</p>	
Asiasanat: dokumentointi, FebDok, jännitteenalennema, oikosulku, selektiivisyys, verkkolaskenta, vikavirtalaskenta.	

ABSTRACT

KEMI-TORNIO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme:	Electrical engineering
Author(s):	Joni-Matti Koskinen
Thesis title:	Modelling, calculation and documentation of Pankakoski 0,4 kV alternating current network and 110 V direct current network
Pages (of which appendixes):	226 (141)
Date:	23 May 2013
Thesis instructor(s):	Antero Martimo, Engineer
<p>The subject of this final project was to model, calculate and document 0,4 kV alternating current network and 110 V direct current network in Pankakoski hydroelectric power station which is located in Lieksa. The topic was given by Kemijoki Oy. The objective was to model, calculate and document alternating and direct current network by using FebDok -planning software.</p> <p>The main part of the theory is about alternating and direct voltage systems which are important systems in power stations. Those systems maintain important devices in power stations. The theory part also contains theory about short circuits and protection and discrimination of the systems as well as calculation theory about how to calculate values of the transformer, short circuits and voltage drops in the networks.</p> <p>The most important source that was used was SFS 6000 -standard about low voltage installations. It contains information about components in network, network planning and what kind of information is necessary in documentation. Other important sources were publications about network planning.</p> <p>The results include necessary short circuits and voltage drops in networks. Those results were compared with the results from FebDok. The Results include several differences because of several differences in values of the networks, but the results were useful. Values of protection devices were also defined and the discrimination of the networks was revised.</p>	
<p>Keywords: discrimination, documentation, FebDok, network calculation, short-circuit, voltage drop.</p>	

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Kemijoki Oy	10
1.1.1 Pankakosken vesivoimalaitos	12
2 FEBDOK	13
2.1.1 Laitteiston määrittely	14
2.1.2 Ohjelman ulkoasu.....	15
2.1.3 Ohjelman ominaisuudet	16
3 TEORIA.....	20
3.1 Varmennusjärjestelmät	20
3.1.1 Vaihtosähköjärjestelmä	20
3.1.2 Tasasähköjärjestelmä	21
3.2 Varasyöttöyhteyden suojaus.....	21
3.3 Akkuvarmennetun järjestelmän suojaaminen	21
3.4 Oikosulut	22
3.4.1 Symmetrinen ja epäsymmetrinen oikosulkuvirta.....	23
3.4.2 Sysäysoikosulkuvirta	24
3.5 Oikosulkusuojaus ja suojan valinta	24
3.5.1 Sulakkeeton suojaus (katkaisijat).....	25
3.5.2 Kompaktikatkaisijat	26
3.5.3 Johdonsuojakatkaisimet	26
3.6 Selektiivisyys.....	26
3.7 Pienjännitejakelun johdinjärjestelmät	27
3.7.1 TN-järjestelmät	28
3.7.2 IT-järjestelmä	29
3.7.3 TT-järjestelmä.....	30
4 LASKENNALLINEN TEORIA.....	31
4.1 Teholähteen laskelmat	31
4.1.1 Jännitekerroin.....	31

4.1.2	Taustaverkko	32
4.1.3	Muuntaja	33
4.2	Oikosulkuvirrat.....	35
4.3	Sysäysoikosulkuvirta.....	38
4.4	Jännitteenalenema	39
4.5	Kuorma.....	40
5	VESIVOIMALAITOKSEN VAIHTOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ	41
5.1	Verkon rakenne	41
5.1.1	Omakäyttömuuntajat	41
5.1.2	Katkaisimet	42
5.1.3	Omakäyttökeskus	43
5.2	Mallintaminen suunnitteluohjelmalla.....	43
5.2.1	Verkon määrittelemine.....	44
5.2.2	Syötön muodostamine.....	45
5.2.3	Kiskoston muodostamine.....	47
5.2.4	Pienjakelu.....	48
5.3	Kaapelit	48
5.4	Laskelmien tekemine.....	50
5.4.1	Muuntajan laskelmat	50
5.4.2	Kaapelit	53
5.4.3	Oikosulkuvirrat	53
5.4.4	Jännitteenalenemat	56
5.5	Laskentatulokset ja niiden vertailemine	57
5.5.1	Oikosulkuvirrat	57
5.5.2	Jännitealenema	62
5.6	Tulosten eroavaisuuksien tarkastelu.....	63
5.7	Selektiivisyys ja suojalaitteiden asettelu	64
5.7.1	Suojalaitteiden arvojen määrittely.....	66
6	VESIVOIMALAITOKSEN TASASÄHKÖJÄRJESTELMÄ	68
6.1	Verkon rakenne	68
6.1.1	Tasasähkökeskukset	68
6.1.2	Paristot	69
6.2	Tasasähkökeskus TAK2.....	69
6.3	Mallintamine suunnitteluohjelmalla.....	70
6.3.1	Lähdöt	71

6.3.2	Pienjakelu.....	72
6.4	Kaapelit	72
6.5	Laskelmien tekeminen.....	73
6.5.1	Paristot	73
6.5.2	Kaapelit	74
6.5.3	Oikosulkuvirrat	74
6.5.4	Jännitteenalenemat	74
6.6	Laskentatulokset ja niiden vertaileminen	74
6.6.1	Oikosulkuvirrat	75
6.6.2	Jännitteenalenemat	75
6.7	Selektiivisyys.....	76
7	KOMPONENTTIEN HUOLTAMINEN.....	77
7.1	Katkaisimet.....	77
7.1.1	Masterpact NW	78
7.1.2	Compact NSX	78
8	DOKUMENTOINTI.....	80
8.1	Dokumentoinnin vaatimukset.....	80
8.2	Suunnitteluohjelmalla luodut dokumentit	81
9	POHDINTA.....	83
	LÄHTEET.....	84
	LIITTEET	85

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

1G.MK1	ensimmäisen generaattorin moottorikeskus nro 1
2G.MK1	toisen generaattorin moottorikeskus nro 2
GWh	gigawattitunti
OKK	omakäyttökeskus
OKM	omakäyttömuuntaja
PRK	pistorasiakeskus
SFS 6000	pienjännitesähköasennukset -standardi
TAK	tasasähkökeskus
TWh	terawattitunti

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli Kemijoki Oy:n Pankakosken vesivoimalaitoksen 0,4 kV vaihtosähkö- ja 110 V tasasähköverkon mallintaminen, laskeminen ja dokumentointi. Työn tekemiseen käytettiin FebDok -nimistä suunnitteluohjelmaa, joka on sähkösuunnittelijoille ja -urakoitsijoille suunnattu pienjännitesähköverkon mitoittamiseen ja dokumentointiin tarkoitettu tietokoneohjelma. Toinen merkittävä tavoite opinnäytetyössä oli selvittää mitä tietoja dokumentoinnin on sisällettävä pienjännitesähköasennusten standardin SFS 6000:n mukaan.

Laskemisella tarkoitetaan verkossa esiintyvien oikosulkuvirtojen ja jännitteenalanimien laskentaa. Näiden avulla valittiin verkkoon sopivat kaapelit ja varmistettiin verkon komponenttien sopivuus sekä varmistettiin verkon selektiivisyys ja suojalaitteiden asetukset. Laskemalla saatuja tuloksia verrattiin suunnitteluohjelmalla saatuihin arvoihin.

Aihe on valittu mielenkiinnosta suunnittelutehtäviin ja mahdollisuudesta tutustua suunnitteluohjelmaan, jonka käyttäminen suunnittelijoiden keskuudessa on yleistymässä. Saaduille tuloksille oli käyttöä ja hyötyä toimeksiantajalle, joten se osaltaan kasvatti työn mielenkiintoisuutta ja merkityksellisyyttä.

1.1 Kemijoki Oy

Kemijoki Oy on vuonna 1954 perustettu suomalainen energiayhtiö, joka keskittyy vesivoiman tuottamiseen ja tarjoaa siihen liittyviä palveluita. Yhtiö omistaa 20 vesivoimalaitosta, joista 16 sijaitsee Kemijoen valuma-alueella, kaksi Lieksajoella ja kaksi Kymi-joella (kuva 1). Näistä ensimmäinen valmistunut voimalaitos on Petäjäsken voimalaitos, joka valmistui vuonna 1958 ja uusin voimalaitos on vuonna 2001 tuotantokäyttöön otettu Kelukosken voimalaitos. Tällä hetkellä yhtiön ainoa suunnitteilla oleva voimalaitos on Sierilän vesivoimalaitos, jonka myötä koko Kemijoen pääuoma olisi porrastettu. (Kemijoki Oy:n WWW-sivut 2013, hakupäivä 13.2.2013)



Kuva 1. Kemijoki Oy:n vesivoimalaitokset Suomessa (Kemijoki Oy:n WWW-sivut 2013, hakupäivä 13.2.2013)

Vuonna 2011 vesivoimaloiden kokonaisteho oli yli 1 100 MW. Vuoden 2011 vuosituotanto 4 365 GWh vastasi 6,2 % Suomen kokonaistuotannosta ja 35,5 % Suomen vesivoimatuotannosta. (Kemijoki Oy:n WWW-sivut 2013, hakupäivä 13.2.2013)

Kemijoen pääuomaan rakennettiin tiuhaan tahtiin kahdeksan vesivoimalaa 50- ja 60-luvulla. Vesivoimaloiden rakentamisen lisäksi ryhdyttiin 50-luvulla suunnittelemaan myös Kemijärven säännöstelyä sekä Lokan ja Porttipahdan tekojärvien rakentamista. Vuonna 1966 aloitettiin Kemijärven säännöstely ja vuotta myöhemmin vuonna 1967 tekojärvien täyttäminen, joista Loka täyttyi samana vuonna ja Porttipahdan tekojärvi myöhemmin vuonna 1970. Tekojärvet yhdistettiin toisiinsa Vuotson kanavalla vuonna 1981. Neljäs käytettävissä oleva säännöstelyjärvi on Olkkajärvi, jonka säännöstely aloitettiin vuonna 1968. (Kemijoki Oy:n WWW-sivut 2013, hakupäivä 13.2.2013)

Alkujaan yhtiön pääkonttori sijaitsi Helsingissä, mutta se siirrettiin vuonna 1992 Rovaniemelle jossa sijaitsee vuonna 1957 rakennettu ja vuonna 1980 laajennettu toimistotalo. (Kemijoki Oy:n WWW-sivut 2013, hakupäivä 13.2.2013)

Kemijoki Oy on valtionyhtiö eli valtio omistaa sen osakkeista 50,10 % eli yli puolet. Muita suuria omistajia ovat Fortum Power and Heat Oy ja Lapin sähkövoima Oyj. Osakkaat on esitetty taulukossa 1. (Kemijoki Oy:n WWW-sivut 2013, hakupäivä 13.2.2013)

Taulukko 1. Kemijoki Oy:n osakkaat. (Kemijoki Oy:n WWW-sivut 2013, hakupäivä 13.2.2013)

Osakkaat	Vesivoima- osakkeet %	Raha- osakkeet %	Koko osake- pääoma %
Suomen valtio		52,37	50,10
Fortum Power and Heat Oy	63,79	15,40	17,50
Lapin sähkövoima Oy	10,62	9,28	9,34
UPM-Kymmene Oyj	19,00	3,45	4,13
Helsingin kaupunki	3,91	0,81	0,94
Rovakairan tuotanto Oy	1,64	0,66	0,70
Rovaniemen Energia Oy	1,04	0,37	0,40
Kemijoki Oy		17,65	16,89

Yhtiöllä on myös tytäryhtiöitä, jotka ovat vesivoima-alan palveluita tarjoava Kemijoki Aquatic Technology Oy, Kemijoki Oy:n 110 kV alueverkosta vastaava ja sitä huoltava Lapin sähköverkko Oy ja kalaistutuksista huolehtiva Voimalohi Oy. (Kemijoki Oy:n WWW-sivut 2013, hakupäivä 13.2.2013)

1.1.1 Pankakosken vesivoimalaitos

Opinnäytetyön kohteena ollut Enso-Gutzeit Oy:n vuonna 1964 rakentama Pankakosken vesivoimalaitos (kuva 2) sijaitsee Lieksassa ja se on rakennettu Lieksan kartonkitehtaan viereen Lieksajokeen. Kemijoki Oy osti voimalaitoksen kesäkuussa 2000 Fortumilta, joka oli jatkanut voimalaitoksen toimintaa Stora Enso Oyj:n luopuessaan vesivoimaloistaan 27. huhtikuuta 2000. (Nygren 2013, 8)

Teholtaan voimalaitos on 15 MW ja sen putoamiskorkeus on 10,2 metriä. Vuonna 2011 voimalaitoksen tuotanto oli 55,1 GWh, joka on hieman yli prosentin yhtiön kokonais-tuotannosta ja lähes puolet Lieksanjoen vesistöalueen tuotannosta. (Nygren 2013, 8; Kemijoki Oy:n WWW-sivut 2013, hakupäivä 13.2.2013)

Voimalaitokselle tullaan suorittamaan koneistojen ja sähkö- ja automaatiojärjestelmien peruskorjaukset vuonna 2013 ja 2015. Korjaustöitä voimalaitoksella tehtiin vuoden 2012 kesällä, jolloin uusittiin voimalan patosillan betonirakenteita ja katon vanha kuparikate vaihdettiin. (Nygren 2013, 8; Kemijoki Oy:n WWW-sivut 2013, hakupäivä 13.2.2013)



Kuva 2. Pankkosken vesivoimalaitos talvella (Kemijoki Oy:n WWW-sivut 2013, hakupäivä 13.2.2013)

2 FEBDOK

FebDok on norjalaisen NELFO:n kehittämä tietokoneohjelma sähköverkon mitoittamiseen ja dokumentointiin. Se on suunnattu sähkösuunnittelijoille, sähköurakoitsijoille ja sähköverkonhaltijoille. Norjassa ohjelma on ollut käytössä jo yli 15 vuotta ja sitä käytetään nykyään myös Suomessa, Ruotsissa, Tanskassa ja Isossa-Britanniassa. Ohjelma on tarkoitettu pienjänniteverkon suunnitteluun, joten sillä ei onnistu keski- ja korkeajänniteverkkojen suunnittelu ja mitoitus. Ohjelmalla on mahdollista mitoittaa myös tasasähköverkkoja. (Sandström 2008)

Ohjelma on saatavilla suomenkielisenä ja mitoitusperustana mittauksille voidaan käyttää uusinta vuoden 2012 SFS 6000 -standardia. Ohjelman markkinoinnista, myynnistä ja tuesta vastaa Suomessa Sähköinfo. (Sandström 2008)

Ohjelma pitää sisällään usean valmistajan komponentteja, kuten johdonsuojakatkaisimia, moottorisuojia ja kytkimiä. Ohjelmasta löytyy myös laaja valikoima kaapeleita valittavaksi. Ohjelmaan on myös mahdollista lisätä itse kaapeleita tuotetietokantaan.

2.1.1 Laitteiston määrittely

Suunnittelua aloittaessa on ohjelmassa luotava ja määritettävä uusi laitteisto (kuva 3). Laitteiston määrittelyssä kysytään laitteistosta perustietoja, kuten sen nimeä, jakelujärjestelmää, järjestelmäjännitettä, tajuutta ja jännitteenaleneman laskemista koskevia tietoja. Tärkeitä tarvittavia tietoja ovat myös mitoitusperustana käytettävä standardi ja laitteiston osa, josta verkon mitoitus aloitetaan (pääkeskus tai muuntaja).

The screenshot shows the 'Laitteiston määrittely' window with the following details:

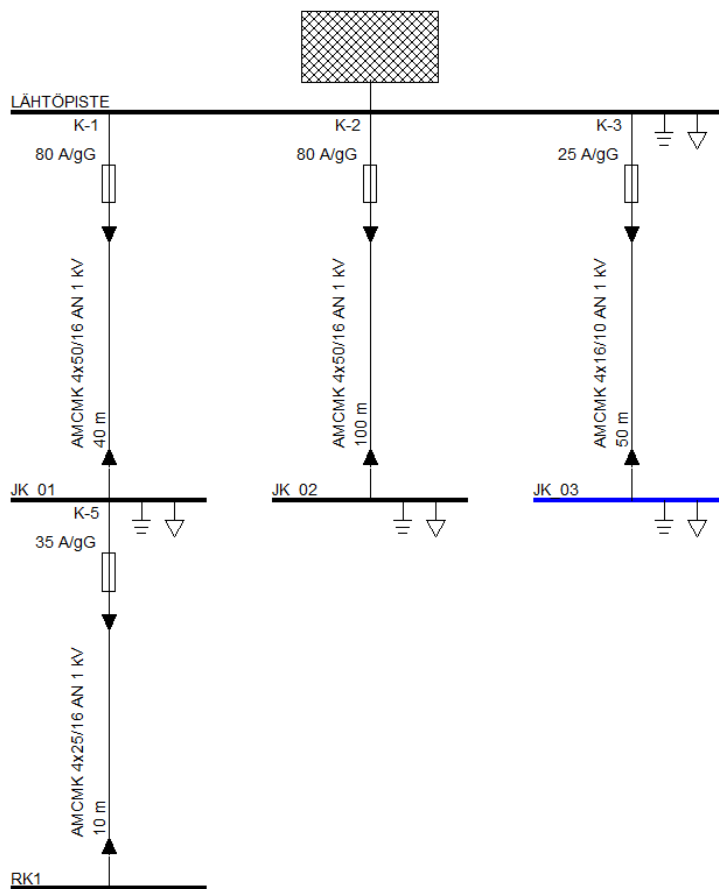
- Buttons:** Määrittely (highlighted), Ensimmäinen keskus, Edeltävä verkko, Asiakas, Laitteisto, Vast. lisenssinhaltija, OK, Keskeytä.
- Fields:**
 - Laitteiston nimi: Esimerkki
 - Laitteiston numero: [Empty]
 - Tilausnumero: [Empty]
 - Mitoitusperusta: SFS 6000:2012
 - Järjestelmäjännite: 230
 - Verkkotaajuus: 50 [Hz]
 - Varoitustaso - yhteenlaskettu jännitteenalenema: 4 [%]
 - Varoitustaso - jännitteenalenema keskukseseen: 2 [%]
 - Jakokeskuksen nimi: LÄHTÖPISTE
 - Perustamisvuosi: 30.4.2013
 - Viimeksi muutettu: 30.4.2013
- Radio Buttons:**
 - Jakelujärjestelmä: IT (selected), TN-C-S, TT, TN-S, DC
 - Laske mistä: Pääkeskus (selected), (Jakelupiste) (Liittymiskohta), Muuntaja
- Other:**
 - Ref.merk. EN 81346
 - Autom. luonti: [Unchecked]
 - Valitse projekti: Ei mikään projekti
- Warning (Vihj.):** Laitteiston nimen täytyy olla selkeä. Mikäli haluat käyttää samaa nimeä, tulee se erottaa esimerkiksi päivämäärällä tai versionumerolla. Jos laitteisto siirretään rekisteriin levykkeeltä FEBDOK varmistaa versionumerolla, ettei samannimistä laitteistoa ole rekisterissä. Versionumeroa ei voi muuttaa. Se katoaa ainoastaan jos laitteisto nimetään uudella nimellä.

Kuva 3. Laitteiston määrittely

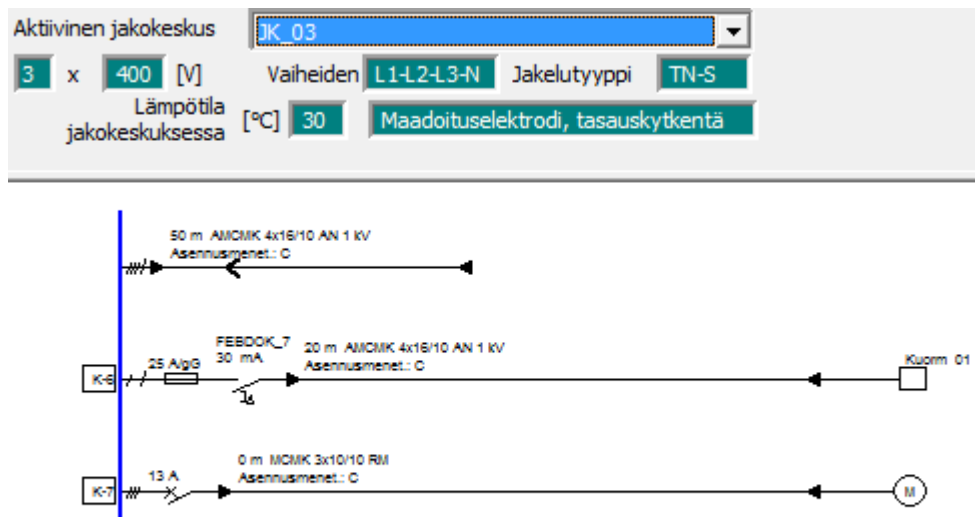
Mitoittamisen aloituspaikan valitseminen eroavat toisistaan siten, että pääkeskuksen valittaessa pitää ohjelmalle määritellä edeltävän verkon ja ensimmäisen verkon keskuksen tiedot. Jos mitoitus aloitetaan muuntajalta on ohjelmalle annettava edellä mainittujen lisäksi myös muuntajan, muuntajan käyttämän kaapelin tai virtakiskon ja muuntajan jälkeisen suojan tiedot.

2.1.2 Ohjelman ulkoasu

Suunnittelu ohjelmassa perustuu yksiviivaiseen esitystapaan, jossa taustaverkko on pääjohtokaaviossa ylimpänä ja verkkoa lähdetään rakentamaan alaspäin virtapiiri ja jakokeskus kerrallaan (kuva 4). Toinen ohjelmassa tärkeä näkymä on jakokeskuskaavio jossa näkyy aktiiviseksi valittuna oleva jakokeskuksen kaaviokuva sivuttain ja siitä lähtevät virtapiirit. Jakokeskuskaavion näkymän yhteydessä on myös tieto-osio jakokeskuksesta, josta ilmenee kyseisen jakokeskuksen jännite, vaihteiden lukumäärä, jakelutyyppi, jakokeskuksen lämpötila ja maadoitustapa (kuva 5).



Kuva 4. Pääjohtokaavion näkymä



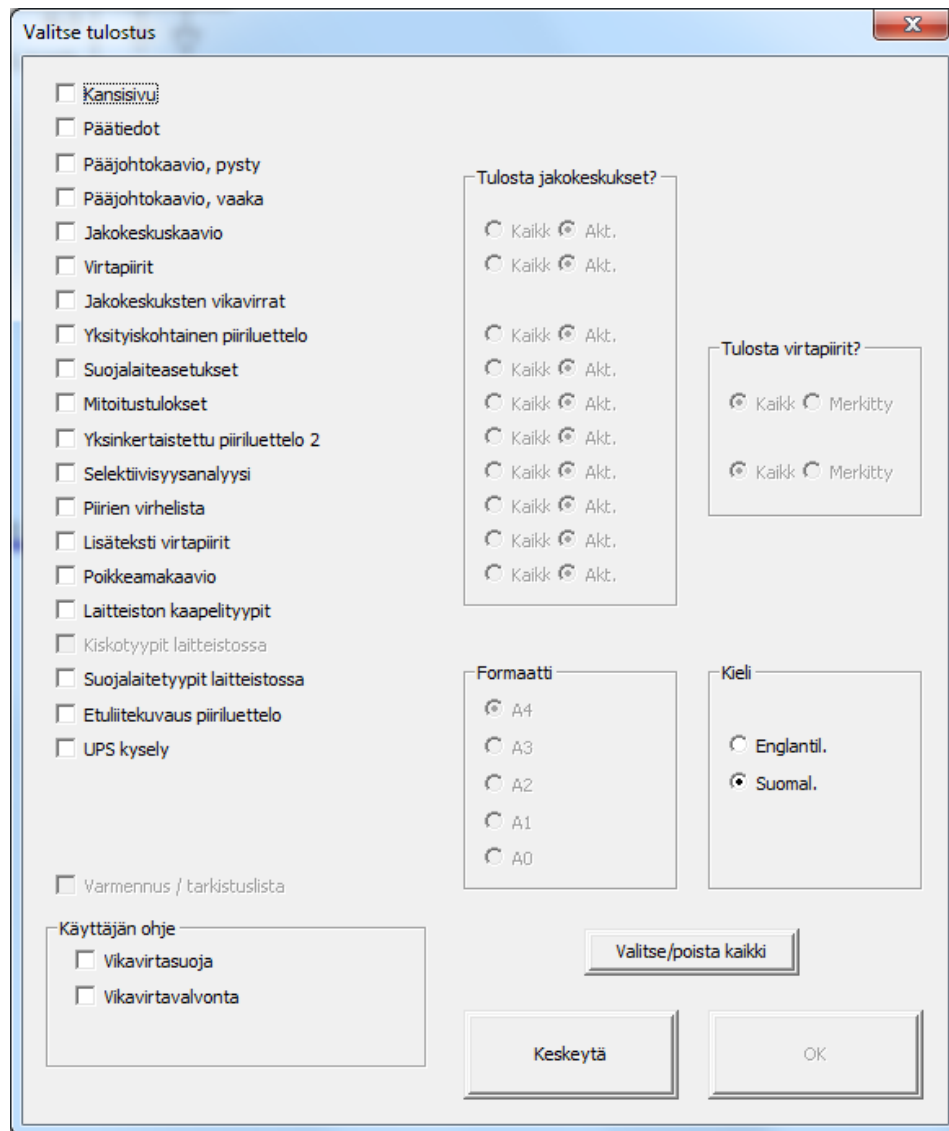
Kuva 5. Jakokeskuskaavion näkymä

2.1.3 Ohjelman ominaisuudet

Dokumentointia varten ohjelma pitää sisällään laajan valikoiman erilaisia vaihtoehtoja, joita on mahdollista tulostaa yhtenä valmiina dokumenttina tai erikseen (kuva 6). Laajasta valikoimasta huolimatta tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena saada tulostettua ohjelmasta vain SFS 6000-standardin vaatimat tiedot.

Ohjelma myös avustaa suunnittelijaa ja se esimerkiksi kertoo, jos virtapiirissä esiintyvät kaapelit eivät kestä virtapiiriin tehtyjä muutoksia tai jos suojauslaitteet eivät toimi odotetulla tavalla, kuten laukaisuajasta muodostuu liian pitkä. Mahdolliset ongelmat ilmoitetaan sinisellä värillä, joka kuvaa lähestyvää sopimattomuutta ja punaisella, joka kuvaa virtapiirissä olevaa virhettä tai sitä, että virtapiirissä oleva komponentti muuttuu virtapiiriin sopimattomaksi asetusten muuttamisen jälkeen.

Komponentteja valittaessa on mahdollista luettelonäkymässä tarkastuttaa, mitkä esillä olevista komponenteista soveltuvat käyttöön siinä kohtaa virtapiiriä, johon komponenttia ollaan valitsemassa Seuraavassa kuvassa (kuva 7) nähdään katkaisimen soveltuvuus haluttuun kohtaan ”OK?” -sarakeesta. Kaapeleiden osalta ohjelma osaa kertoa, mitkä kaapelit ovat kyseiseen virtapiiriin sopimattomat ja rajaa ne pois valinnoista.



Kuva 6. Ohjelman tulostustoiminto dokumentointia varten

Ylivirtasuojan valinta sekä ylikuormitus- että oikosulkusuojaukseen

Luettelon hakehdot

Katkaisijaluokka: KATKAISIJA Ja Tai Ei

Laukaisijaluokka: * Ja Tai Ei

Valmistaja: ABB Ja Tai Ei

Katk. yksikkö: * Ja Tai Ei

Maksimi mitoitusvirta [A]: 100 Ja Tai Ei

Katkaisukyky taso: N Ja Tai Ei

Laukaisuyksikkö: * Ja Tai Ei

Tarkennettu haku
 Näytä kaikki suojat
 Näytä vanh. suojat Näytä ilman rajoituksia
 Nollaa valinta

Mitoituskriteeri

Suojalaitteen näkemä kuorman Ib [A]: 80

Virtakapasiteetti (Iz) [A]: 115,1

Maks. vikavirta [kA]: 6,568

Min. maasulkuvirta [kA]: 1,452

Valmistaja	Katkaisuyksikkö	In [A]	Iru [A]	Katkaisukyky taso	Laukaisuyksikkö	In rcd	OK ?	Terminen säätö	Lyhytaikainen säätö	Välitön säätö
SCHNEIDER	NS 100	50	100	N	STR.22ME	0	Ei	30-50		
SCHNEIDER	NS 100	80	100	N	STR.22ME	0	Ok	48-80		
SCHNEIDER	NS 100	100	100	N	STR.22ME	0	Ei	60-100		
SCHNEIDER	NS 100	20	100	N	STR.22ME	0	Ei	12-20		
SCHNEIDER	NS 100	6,3	100	N	MA6,3	0	Ei			45,36-105...
SCHNEIDER	NSX 100	100	100	N	TM100D NSX	0	Ok	70-100		
SCHNEIDER	NSX 100	80	100	N	TM80D NSX	0	Ok	56-80		
SCHNEIDER	NSX 100	6,3	100	N	TM63D NSX	0	Ei	44,1-63		
SCHNEIDER	NSX 100	40	100	N	MICROLOGIC...	0	Ei	14,4-40	66-440	69-690
SCHNEIDER	NSX 100	100	100	N	MICROLOGIC...	0	Ok	36-100	165-1100	172,5-1725
SCHNEIDER	NSX 100	40	100	N	MICROLOGIC...	0	Ei	14,4-40	66-440	69-690
SCHNEIDER	NSX 100	100	100	N	MICROLOGIC...	0	Ok	36-100	165-1100	172,5-1725

Kokonaislkm. 55

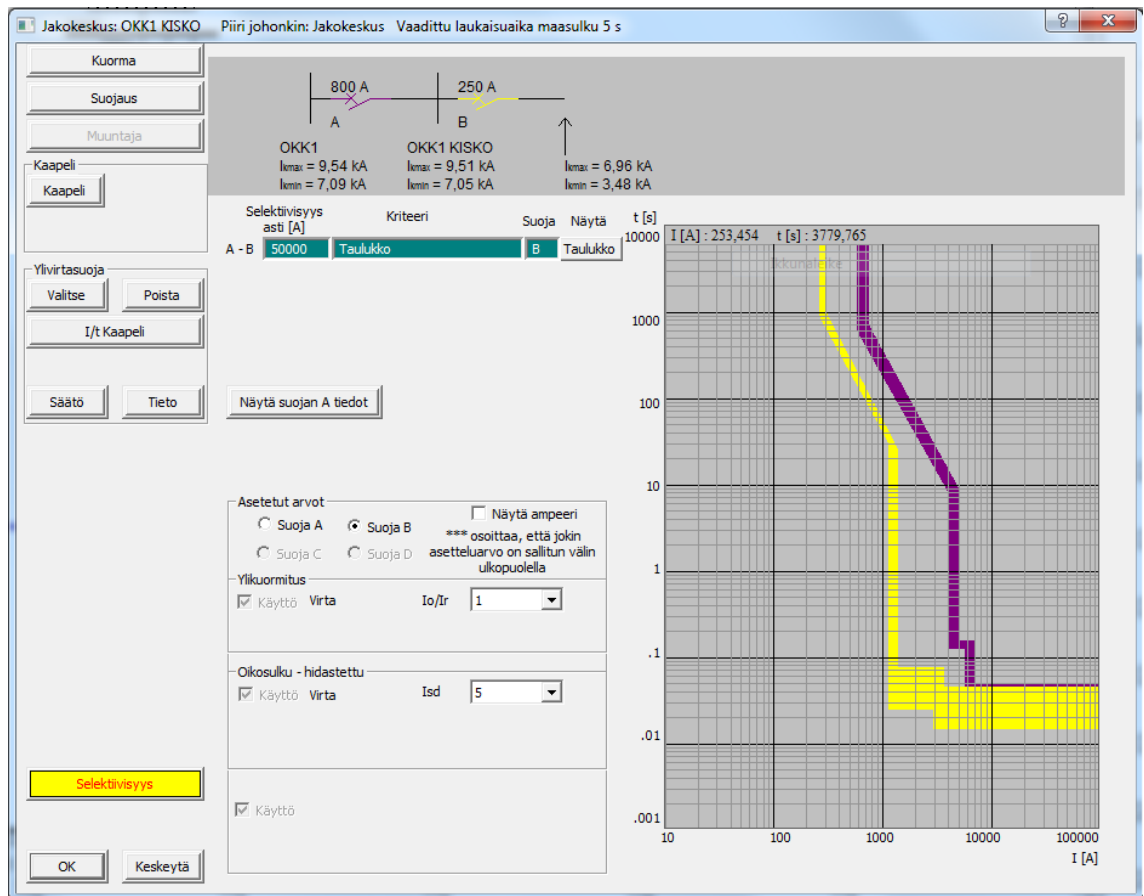
Kuva 7. Katkaisijoiden soveltuvuuden tarkastaminen valintaluettelossa

Ohjelmassa käytettävissä olevien kaapeleiden tarkat arvot voidaan tarkastaa kaapelitiedoista (kuva 8). Ohjelman antamat impedanssit poikkeavat hieman esimerkiksi Energia-teollisuuden verkostosuositus SA2:08 julkaisun antamista kaapelitiedoista. Pienestä poikkeumasta huolimatta voidaan kuitenkin tarkastaa käytettyjen kaapelitietojen ja ohjelman tarjoamien tietojen samankaltaisuus, jolloin laskettuja tietoja voidaan vertailla keskenään.

Ohjelmassa on myös mahdollista tarkastaa kahden peräkkäin verkossa olevan katkaisimen tai sulakkeen selektiivisyys ja asettaa niissä olevia suoja-asetuksia, jos suojalaite on säädeltävä (kuva 9).

Kaapelin ulkoympärysmitta	[mm]	40	Taajuus	50		
Suojus halkaisija	[mm]	0	Laske impedanssit			
Ekvivalentti johdin halkaisija	[mm]	0	R+	[mOhm/m] 0,153	Rf-f	[mOhm/m] 0,306
Johtimen eristevahvuus	[mm]	0	X+	[mOhm/m] 0,0938	Xf-f	[mOhm/m] 0,1876
Johdinten keskipisteväli	[mm]	15,55	R0PE	[mOhm/m] 0,957	Rf-PE	[mOhm/m] 0,421
Johtimen geometrinen keskietäisyys itseensä nähden	[mm]	4,944	X0PE	[mOhm/m] 0,317	Xf-PE	[mOhm/m] 0,1585
Säikeiden määrä johtimessa		0	RPE	[mOhm/m] 0,268	Re { $\partial U / \partial I$ } PE	[mOhm/m] 0,0793
Kapasitanssi	[μ F/km]	0				
Paino	[kg/m]	4,5				

Kuva 8. Ohjelman antamat tiedot MCMK 3x120/70 AN 1kV kaapelin impedansseista



Kuva 9. Selektiivisyyden tarkistaminen

3 TEORIA

Tässä luvussa perehdytään opinnäytetyöhön liittyvään teoriaan, kuten oikosulkuvirtoihin, oikosulkuvirroilta suojautumiseen, selektiivisyyteen ja pienjännitejakelun johdinjärjestelmiin. Lisäksi kappaleessa käsitellään myös voimalaitoksissa olevia tasa- ja vaihtosähköjärjestelmiä, joilla varmistetaan voimalaitoksen toiminta ja hallinta sähköisesti.

3.1 Varmennusjärjestelmät

Voimalaitokselle tärkeitä varmennusjärjestelmiä ovat vaihtosähkö- ja tasasähköjärjestelmä. Niillä varmistetaan voimalaitokselle tärkeiden sähkölaitteiden sähkönsyöttö. Nimensä mukaisesti vaihtosähköjärjestelmä syöttää vaihtosähköllä toimivia sähkölaitteita ja tasasähköjärjestelmä tasasähköllä toimivia laitteita.

Koska molemmat järjestelmät ovat voimalaitoksen toiminnan kannalta tärkeitä, on niiden suojaus oltava kunnossa ja järjestelmille on saatava sähköä myös ongelmatilanteissa.

3.1.1 Vaihtosähköjärjestelmä

Voimalaitokselle sen toiminnan kannalta on elintärkeätä vaihtosähköjärjestelmän eli omakäyttäjärjestelmän toiminta. Sen avulla syötetään kaikkia voimalaitoksessa käytettäviä 230 V tai 400 V laitteistoja. Omakäyttäjärjestelmän avulla syötetään muun muassa prosessilaitteita, pienempiä ryhmäkeskuksia, valaistusta, lämmitystä ja muiden tärkeiden sähkölaitteiden syöttöjä tai niiden ohjauksia. Nämä mahdollistavat voimalaitoksessa turvallisen työskentelyn ja kriittisten laitteistojen toiminnan. (Siivonen 2007, 8)

Omakäyttäjärjestelmälle sähkö syötetään varsinaisen omakäyttömuuntajan kautta tai toisen varamuuntajan kautta, jonka sähkönsyöttö tulee voimalaitoksesta riippumattomasta paikasta.

3.1.2 Tasasähköjärjestelmä

Tasasähköjärjestelmät ovat akkuvarmennettuja tasasuuntaajajärjestelmiä, joita on automaation tehosyötössä, viestintäverkon tehosyötössä sekä sähkölaitosten ja teollisuuden apujärjestelmien tehosyötössä. Järjestelmässä käytettävä jännite riippuu käyttökohteesta. Viestintäverkon tasasähköjärjestelmissä käytettävä jännite on 48 VDC (24 VDC), automaation järjestelmissä 24 VDC tai 60 VDC ja sähkölaitosten ja teollisuuden järjestelmissä 110 VDC tai 220 VDC. (ST-käsikirja 20, 80)

Myös tasasähköjärjestelmä on voimalaitoksen toiminnan kannalta tärkeä järjestelmä. Sen toiminta tulee olla turvattu ja sitä on valvottavat jatkuvasti, jottei järjestelmä missään tilanteessa petä. Järjestelmällä ohjataan voimalaitoksen tasasähköllä toimivia ohjaus- ja suojausjärjestelmiä. Se ohjaa myös muita tasasähköllä toimivia sähkölaitteistoja.

Järjestelmä muodostuu yleensä varaajasta, akuista, jakelujärjestelmästä ja suojausyksiköstä (ABB Oy 200, 396).

3.2 Varasyöttöyhteyden suojaus

Varmennetun jakeluverkon tai järjestelmän syötön vikavirran syöttökyky on pienempi kuin normaalissa syöttötilanteessa ja suojalaitteiden toiminta-asettelut on määriteltävä siten, että ne toimivat myös varmennetun syötön perässä. Muuten varmennetun verkon suojaamiseen pätee samat ehdot ja olosuhteet kuin normaaliin verkkoon. (ST-käsikirja 20, 151)

Verkkoa suunniteltaessa ja toteuttaessa on otettava huomioon mekaaniset ja termiset rasitukset. Niiden tulee vastata käyttöä ja verkossa esiintyvää virtaa ja sen vaihteluita. Myös eri tilanteissa ja eri osissa verkkoa ilmenevät oikosulkuvirrat on tiedettävä toimivan suojauksen ja oikeiden komponenttien valitsemiseksi. (ST-käsikirja 20, 151, 197)

3.3 Akkuvarmennetun järjestelmän suojaaminen

Oikosulkuvirtojen lähteinä tasasähköjärjestelmässä ovat akut ja varaajat. Tasasähköjärjestelmän suojaamisessa on otettava huomioon luonnollisten nollakohtien puuttuminen

oikosulkuvirrassa, joita vaihtosähköjärjestelmässä on 50 Hz:n taajuudella 100 kertaa sekunnissa. Tasa- ja vaihtovirran poikkeavuuden takia myös kytkimien, sulakkeiden ja johdonsuojakatkaisijoiden suoritusarvot poikkeavat eri järjestelmissä. Tämä on otettava huomioon valintoja ja tarkistuksia tehtäessä. (ST-käsikirja 20, 165)

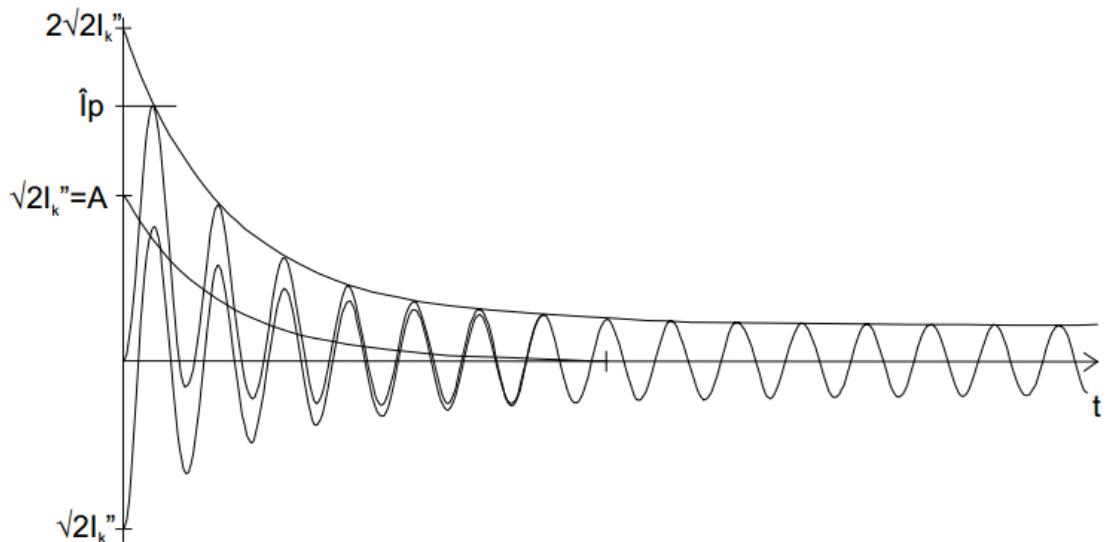
Tasasähköjärjestelmässä käytetään IT-jakelujärjestelmää jos järjestelmän jännite on 110 VDC tai 220 VDC. Tällöin oikosulkusuojien on oltava kaksinapaisia. (ST-käsikirja 20, 165)

Akusto kykenee syöttämään oikosulkuvirtaa, jonka kokoluokka on 150–200 kertaa 10 tunnin purkausvirta täydessä varaustilassa. Varaus tilan ollessa vain puolet eli 50 % tuolloin oikosulku virta putoaa 70–80 % maksimista. (ST-käsikirja 20, 165)

Tasasähköpiireissä oikosulkusuojaus toteutetaan johdonsuojakatkaisijoilla ja sulakkeilla. Ryhmien suojaus toteutetaan sulakkeilla ja lähtöjen johdonsuojakatkaisijoilla. Selektiivisyyden takia kahta johdonsuojakatkaisijaa ei ole suotavaa laittaa peräkkäin. Akus- tot, jotka ovat suurimpana suojaosana, mitoitetaan niin, että ne palavat vain tasasäh- kökeskuksen kiskosto-oikosuluissa, koska kiskostosta lähtevillä syötöillä on omat yli- virtasuojansa. (ST-käsikirja 20, 166)

3.4 Oikosulut

Sähköverkossa esiintyy kolmenlaista oikosulkuvirtaa: kolmi-, kaksi-, ja yksivaiheista. Näistä verkkoa eniten rasittaa kolmivaiheinen oikosulkuvirta ja se tulisi kytkeä pois verkosta nopeasti. On oltava varmuus siitä, että verkossa olevat komponentit kestävät oikosulun aikaiset dynaamiset ja termiset rasitukset (ABB Oy 2000, 197).



Kuva 10. Oikosulkuvirran käyrämuoto (ABB Oy 2000, 197)

Kuvassa 10 on esitetty oikosulkuvirran käyrämuotoa. Siinä on nähtävissä vaimeneva tasavirtakomponentti (A), jonka suuruus on riippuvainen oikosulun syntyhetkestä ja vaimenemisnopeus piirin R/X -suhteesta. Oikosulkuvirrassa on myös vaihtovirtakomponentti, jossa voi myös olla vaimeneva osa. Kuvassa olevalla I_k'' tarkoitetaan alkuoikosulkuvirtaa, joka on symmetrisen oikosulkuvirran tehollisarvo vian alkuhetkellä ja se vastaa generaattoreiden reaktansseja vian syntyhetkellä. Lopulta vian jatkuessa virta vaimenee jatkuvuustilan arvoon I_k , koska reaktanssien suuruus kasvaa. Käyrämuodossa näkyvä hetkellinen huippuarvo on sysäyoikosulkuvirta i_p . (ABB Oy 2000, 197)

Oikosulku kykenee tuhoamaan verkkoon asennettuja komponentteja, joiden oikosulukestoisuus ylitetään. Valmistajat antavat aina tiedot komponenttiansa oikosulukestoisuuksista. Laskemalla tai mitattuna saatuja oikosulkuvirtoja tulee käyttää komponenttien valintaan.

Oikosulkuvirtoja laskiessa on laskijalla oltava käsitys oikosulkuvirtojen kokoluokista verkon eri kohdissa ja tilanteissa. Tällä tiedolla pyritään huomioimaan laskennassa tapahtuvat virheet.

3.4.1 Symmetrinen ja epäsymmetrinen oikosulkuvirta

Oikosulkuvirrat erotellaan myös symmetrisiin ja epäsymmetrisiin oikosulkuvirtoihin.

Symmetrisellä oikosulkuvirralla tarkoitetaan oikosulkua, joka tapahtuu jännitteen huippuarvon kohdalla. Tässä tapauksessa tasavirtakomponenttia ei pääse esiintymään. (Martimo 2011, 43)

Epäsymmetrisellä oikosulkuvirralla tarkoitetaan oikosulkua, jossa symmetrisestä poiketen ei tapahdu oikosulkua huippuarvon kohdalla. Siinä esiintyy myös tasavirtakomponentti, jonka suuruus riippuu oikosulun alkuhetkestä. (Martimo 2011, 43)

3.4.2 Sysäysoikosulkuvirta

Sysäysoikosulkuvirralla tarkoitetaan oikosulkuvirran suurinta hetkellisarvoa. Sitä kuvataan tunnuksella i_p . Käytetään komponenttien mitoitukseen, koska aiheuttaa suurimman virran ja siten yleensä suurimmat voimavaikutukset kolmivaiheisen oikosulun tapahtuessa. Määrää myös suurimmat verkossa esiintyvät mekaaniset rasitukset, joten sitä käytetään myös kojeiden ja laitteiden sähködynaamiseen mitoitukseen. (Martimo 2011, 43)

3.5 Oikosulkusuojaus ja suojan valinta

Oikosulkusuojauksella tarkoitetaan suojausta, joka katkaisee piirin oikosulkuvirran, joka syntyy johtimien ja liitosten aiheuttamasta lämpötilasta ja mekaanisista vaikutuksista. Oikosulkusuojaus on oltava jokaisessa virtapiirissä. (ST-käsikirja 20, 158)

Virtapiirissä oleva oikosulkuvirta määritellään joko mittaamalla tai laskemalla ja se on määritettävä asennuksen eri pisteissä. Useimmiten määrittelemineen tehdään laskemalla, jolloin saadaan virrat maksimi- ja minimi-tilanteessa. Näitä virtoja tarvitaan johtojen ja kojeiden kestoisuuksien määrittelyyn (maksimivirta) ja suojauslaitteiden toiminnan tarkistamiseen (minimivirta). (ST-käsikirja 20, 159)

Järjestelmän oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa joko katkaisijoilla, johdonsuojakatkaisijoilla tai sulakkeilla. Yleensä oikosulkusuojaus on osa ylivirtasuojauksista, johon taas lisäksi kuuluu ylikuormitussuojaus. (ST-käsikirja 20, 159)

Oikosulkusuojan valinta on selostettu standardin SFS 6000-5-53 kappaleessa **533.3 Oikosulkusuojien valinta** seuraavalla tavalla:

”Osan 4-43 vaatimukset enintään 5 s kestäville oikosuluille on otettava huomioon sekä pienimmän ja suurimman oikosulkuvirran osalta.

*Kun suojalaitetta koskevat standardit (esim. EN 60947-2) määrittelevät sekä käytönai-
kaisen oikosulun mitoituskatkaisukyvyyn että äärimmäisen oikosulun mitoituskatkaisuky-
vyn, voidaan suurimman oikosulkuvirran suojaukseen käytetty suojalaite valita äärim-
mäisen oikosulkuvirran katkaisukyvyyn perusteella. Suositellaan kuitenkin että liittymis-
pisteessä ja käyttötarkoituksen mukaan muuallakin olevat suojalaitteet valitaan käytön-
aikaisen oikosulun katkaisukyvyyn perusteella.” (SFS 6000-5-53)*

3.5.1 Sulakkeeton suojaus (katkaisijat)

Sulakkeettomalla suojaamisella tarkoitetaan suojaavaa laitetta, joka on muu kuin sulake. Tällaisia ovat edellisessä kappaleessa mainitut katkaisimet ja johdonsuojakatkaisimet. Katkaisija on *”mekaaninen kytkinlaite joka kykenee sulkemaan, johtamaan ja katkaise-
maan normaaleissa virtapiirin olosuhteissa sekä myös kytkemään, johtamaan tietyn
ajan ja katkaisemaan määrättyjen epänormaalien piirin olosuhteiden, kuten oikosulun,
aiheuttamia virtoja.” (SFS.EN 60947-1. 2008, 28)*

Standardin CLC/TR 50480:2011 kappaleen **7.1 Katkaisijat** mukaan seuraavia katkaisi-
joiden ominaisuuksia tulisi tarkastella kun suojaudutaan oikosulkuvirtojen ja maavika-
virtojen vaikutuksilta:

- *”katkaisijoiden pikalaukaisu tai lyhyen ajan laukaisu pienemmillä
oikosulkuvirroilla ja maavikavirralla;*
- *maksimioikosulkuvirralla, katkaisijan katkaisukyky ja sen rajoittaman energian
(I^2t) arvojen toteuttaman suojaus.” (CLC/TR 50480:2011. 21)*

Pikalaukaisun toiminnan varmistamiseksi on oikosulun tai maavian virran oltava suu-
rempi kuin katkaisijan lyhyen ajan laukaisuvirta tai pikalaukaisuvirta. Nämä tiedot saa-
daan yleensä katkaisijan valmistajalta. (CLC/TR 50480:2011. 22)

Suojauksessa päädytään katkaisijoihin jos sulakkeet eivät kykene tarjoamaan riittävää
katkaisukäyrän ominaisuuksin piirin suojaamisen tarpeisiin. Katkaisimien käyttäminen

sulakkeiden sijaan tuo myös mukanaan useita hyötyjä. Tällaisia ovat esimerkiksi katkaisimien säädeltävyys, jolloin säätöjä voidaan tehdä verkkojen muutosten mukaan, eikä koko katkaisijaa tarvitse tuolloin uusia kokonaan toisin kuin sulakkeita. (Saarela 2011, 10)

Standardin EN 60947-2 mukaisille katkaisijoille on määritelty pisimmän sallitun lyhyen ajan laukaisuvirta tai pikalaukaisuvirta, joka saa olla enintään 1,2-kertainen aseteltuun arvoon verrattuna. Tämä ottaa huomioon 20 % asettelutoleranssin. (CLC/TR 50480:2011. 22)

3.5.2 Kompaktikatkaisijat

Opinnäytetyön aiheena olleessa vaihtosähköverkossa suojaus on tehty pääosin kompaktikatkaisijoilla. Niiden käyttö on yleistynyt laajemman tuotevalikoiman ja parempien ominaisuuksien myötä. Oikosulkusuojaukselta edellytetään katkaisukykyä, joka on suurempi kuin katkaisukohdalla esiintyvä maksimioikosulkuvirta. (ST-käsikirja 20, 159)

3.5.3 Johdonsuojakatkaisimet

Tasajännitejärjestelmän suojaus on toteutettu pääosin johdonsuojakatkaisimilla.

Johdonsuojakatkaisijoille, jotka ovat standardin EN 60898 mukaisia on määritelty pikalaukaisun toteuttaviksi rajoiksi seuraavat rajat:

- ”5 I_n tyyppin B katkaisijoille
- 10 I_n tyyppin C katkaisijoille
- 20 I_n tyyppin D katkaisijoille.” (CLC/TR 50480:2011. 22)

3.6 Selektiivisyys

Suojauksen selektiivisyydellä tarkoitetaan viallisen verkon irrottamista jakelusta vikapaikassa. Ainoastaan vikapaikkaa lähellä olevien suojien pitäisi lauetta tai sulakkeiden palaa. (ST-käsikirja 20, 181)

Selektiivisyys voidaan saavuttaa ST-käsikirja 20:n mukaan seuraavilla tavoilla:

- ”ylivirtasuojien virta-asettelulla
- *peräkkäisten portaiden aika-asettelulla (tai näiden yhdistelmällä)*
- *vikaporrastuksella jakelumuuntajien tai kuristimien suojauksessa tai*
- *sulakekokojen porrastuksella.”* (ST-käsikirja 20, 159)

Selektiivisyys perustuu virran suuruuteen ja suojan laukaisukäyrän mukaisiin sulamis- ja toiminta-aikoihin kun suojaus toteutetaan johdonsuojakatkaisijoilla ja sulakkeilla. Katkaisijoita käytettäessä voidaan aika- ja virta-asettelun lisäksi nykyaikaisten laitteiden lukitusmahdollisuuksilla parantaa selektiivisyyttä. (ST-käsikirja 20, 159)

Valmistajilta löytyy taulukoita, joita käytetään apuna sulakkeilla toteutetun suojauksen selektiivisyyden toteutumisessa. Taulukoiden mukaan peräkkäisten sulakkeiden koko ero tulee olla vähintään yksi porras selektiivisyyden saavuttamiseksi. Vielä varmemmaksi selektiivisyyden toteutuminen saadaan jos käytetään mahdollisuuden mukaan kahden sulakekoon porrastusta. (ST-käsikirja 20, 159)

3.7 Pienjännitejakelun johdinjärjestelmät

Johdinjärjestelmistä käytetään Suomessa yleisesti TN-järjestelmää, jossa on yksi piste suoraan maadoitettu ja sähkölaitteistossa olevat jännitteiset osat on yhdistetty tähän pisteeseen suoja- tai PEN-johtimella. (ABB Oy 2000, 36)

Suomessa käytetään myös IT-järjestelmää, mutta TT-järjestelmää Suomessa ei käytetä julkisissa sähkönjakelujärjestelmissä. (ABB Oy 2000, 38)

Voimalaitoksien omakäyttöjärjestelmät on maadoitettava lähes poikkeuksetta. Maadoitustapana voidaan käyttää joko suoraan maadoitettua, pienimpedanssista tai suurimpedanssista järjestelmää. (Virsu 2005, 13)

Järjestelmän suojaus toteutetaan kolmenapaisilla katkaisijoilla jos käyttömaadoitus tehdään kojeistossa. Tällöin muuntajalta tulee kolme vaihetta ja PEN-johdin. Muuntajalta tulee erillinen nolla- ja suojajohdin jos käyttömaadoituspaikka maadoitetaan muuntajan tähtipisteeseen. Nelinapaisia katkaisijoita on suotavaa käyttää jos kojeistossa on paljon

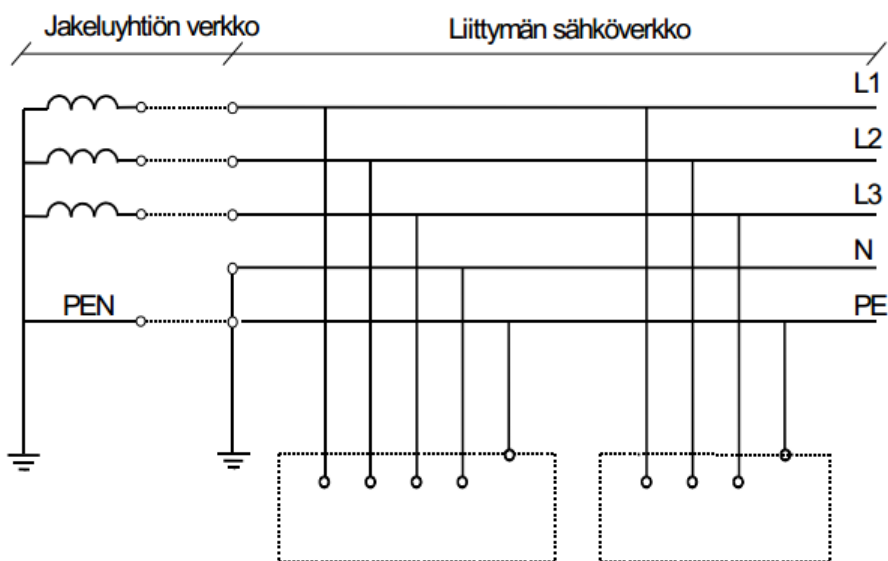
epätasaista kuormaa. Koska oikosulkuvirtaa ei kulje nollajohtimessa ei sillä ole vaikutusta oikosulkusuojaukseen. Hyötyä se antaa ylikuormitussuojaukseen, koska kojeistossa on siinä tapauksessa suuret virrat yliaaltojen ja yksivaihekuormien takia. (Virsu 2005, 13)

3.7.1 TN-järjestelmät

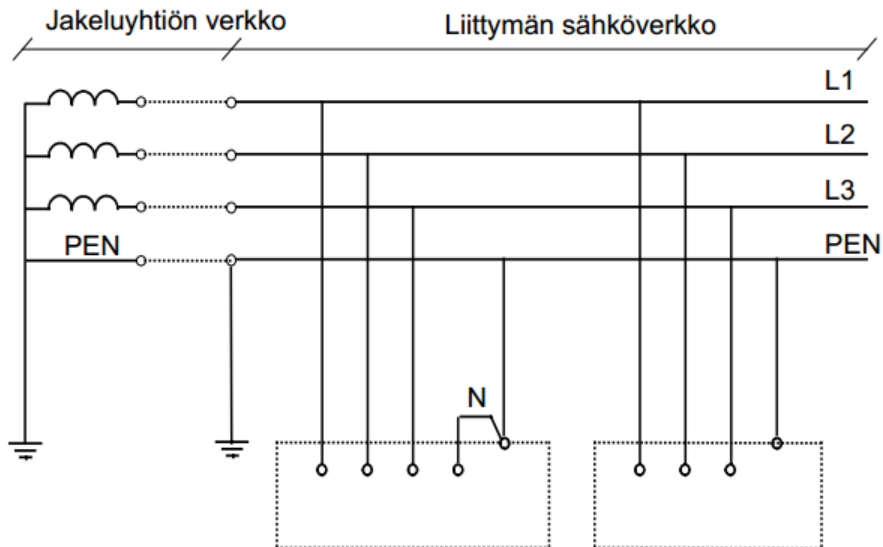
TN-järjestelmiin lukeutuvat TN-S-, TN-C-, ja TN-C-S-järjestelmä. TN-S-järjestelmässä koko järjestelmässä on erillinen nolla- ja suojajohdin (kuva 11).

TN-C-järjestelmässä on PEN-johdin, joka toimii sekä suoja- että nollajohtimena. Koko järjestelmässä kaikki nolla- ja maadoituspisteet on yhdistetty PEN-johtimeen (kuva 12).

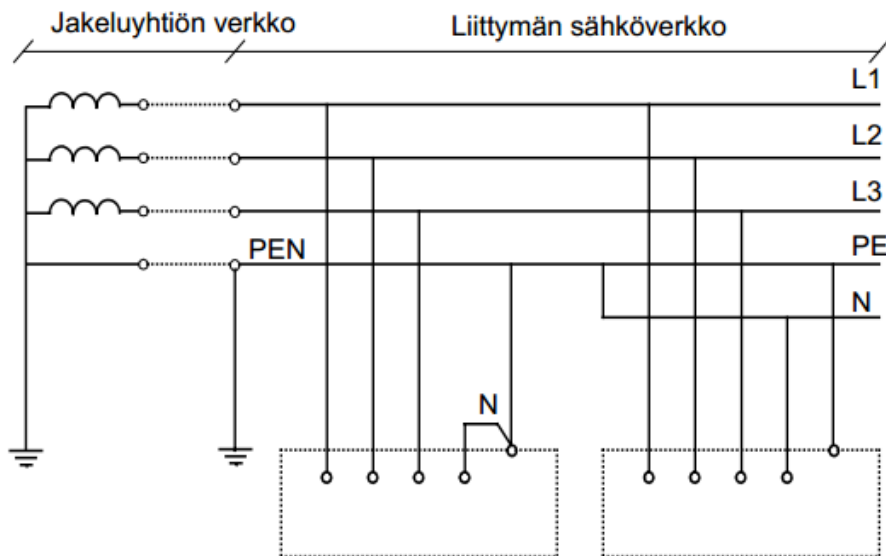
TN-C-S-järjestelmä on yhdistelmä TN-S- ja TN-C-järjestelmistä. Osassa järjestelmää nolla- ja suojapisteet on yhdistetty TN-C-järjestelmän tavoin PEN-johtimeen tai TN-S-järjestelmän tavoin erilliseen nolla- ja suojajohtimeen (kuva 13).



Kuva 11. TN-S-järjestelmä (ABB Oy 2000, 37)



Kuva 12. TN-C-järjestelmä (ABB Oy 2000, 37)

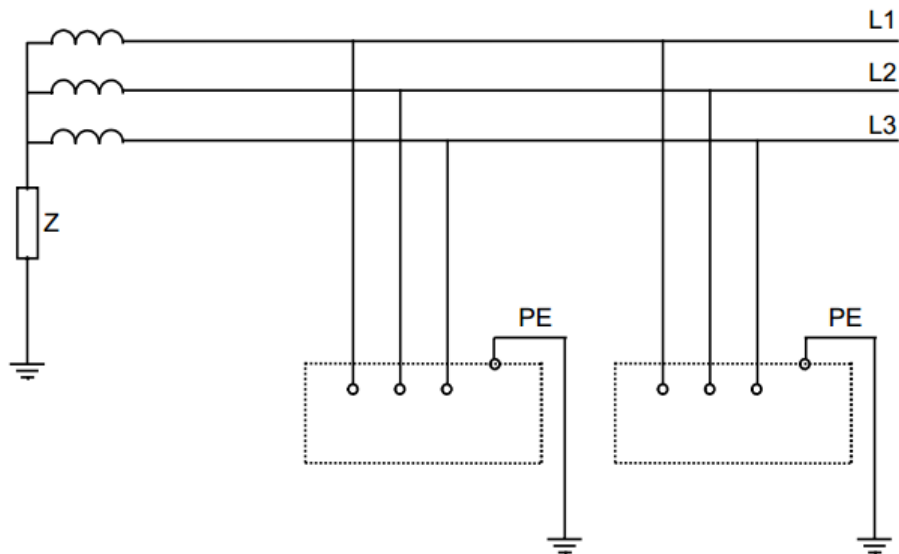


Kuva 13. TN-C-S-järjestelmä (ABB Oy 2000, 38)

3.7.2 IT-järjestelmä

Järjestelmässä mitään jännitteistä osaa ei ole yhdistetty suoraan maahan (kuva 14). Järjestelmästä yksi piste voidaan yhdistää maahan impedanssin kautta suojaus- ja mittaus-tarkoituksia varten. Yleensä tähän tarkoitukseen käytetään nollajohdinta. (ABB Oy 2000, 39)

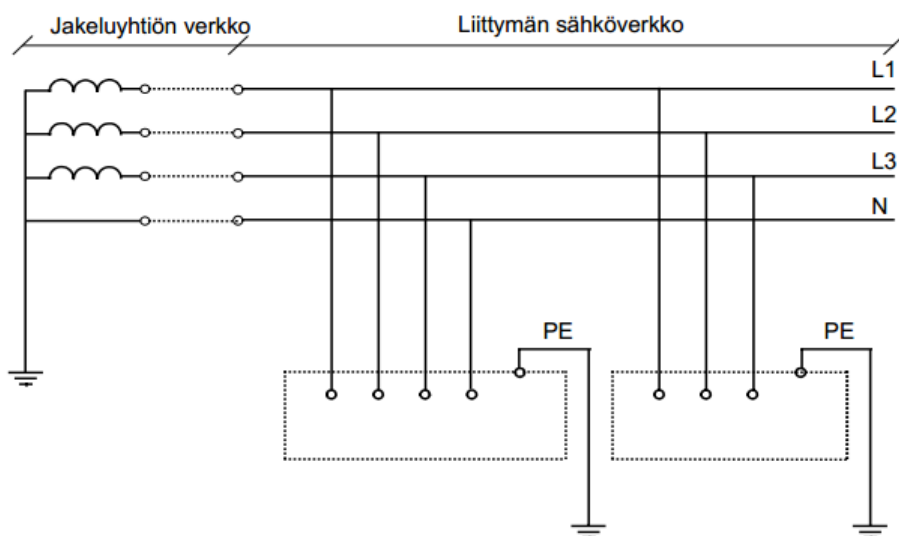
Soveltuu hyvin käyttökeskeytyksille herkän prosessiteollisuuden sähköjakelujärjestel-miin, mutta heikkoutena on vikojen paikantamisen vaikeus. (ABB Oy 2000, 40)



Kuva 14. IT-järjestelmä (ABB Oy 2000, 39)

3.7.3 TT-järjestelmä

Järjestelmässä yksi piste on maadoitettu suoraan ja sähkölaitteistoissa olevat jännitteiset osat on yhdistetty jakelujärjestelmän maadoituselektrodista sähköisesti riippumattomiin erillisiin maadoituselektrodeihin. Suoraan maadoitettuna pisteenä käytetään yleensä muuntajan tähtipistettä (kuva 15). (ABB Oy 2000, 38)



Kuva 15. TT-järjestelmä (ABB Oy 2000, 39)

4 LASKENNALLINEN TEORIA

Tämä luku pitää sisällään laskentaan liittyvää teoriaa, kuten käytettäviä kaavoja ja suu-reita. Pääosin kaavat on esitetty siinä muodossa kuin ne ovat standardissa *CLC/TR 50480:2011: Determination of crosssectional area of conductors and selection of protective devices*, joka on standardi pienjännitesähköasennusten johtimien poikkipinta-alojen määrittämiseksi ja suojalaitteiden valitsemiseksi. Kaavoja on muunneltu lyhen-teiden osalta, jotta ne olisivat selkeämpiä.

Standardi ei kuitenkaan esitä kaikkia tarvittavia kaavoja, kuten nollakomponenttien ja muuntajan virtojen laskemiseen tarvittavat kaavat, joten niitä on otettu myös muista lähteistä.

4.1 Teholähteen laskelmat

Teholähteen laskelmilla tarkoitetaan verkon syöttöön liittyviä laskelmia. Tämä pitää sisällään esimerkiksi taustaverkkoon ja muuntajaan liittyvät laskelmat.

4.1.1 Jännitekerroin

Jännitekertoimella otetaan huomioon laskennassa ”*käämikytkimistä ja muista seikoista johtuvat ajan ja paikan mukaiset jännitteen vaihtelut*”. Pienjänniteasennuksien jännite-kertoimet on esitetty taulukossa 2, jossa arvolla c_{min} on pienimmän oikosulkuvirran las-kentaan ja c_{max} suurimman oikosulkuvirran laskentaan. (CLC/TR 50480:2011, 19)

Taulukko 2. IEC 60909 -standardin mukainen jännitekerroin c pienjänniteasennuksille (ABB Oy 2000, 198)

Nimellisjännite U_n	Maksimioikosulku- virta c_{max}	Minimioikosulkuvir- ta c_{min}
Pienjännite 100 V – 1000 V		
a) 230 V / 400 V	1,00	0,95
b) muut jännitteet	1,05	1,00

4.1.2 Taustaverkko

Suurjänniteverkon impedanssia tarvitaan pienjänniteverkon puoleisissa laskelmissa. Arvo saadaan joko jakeluverkkoyhtiöltä, laskemalla tai mittaamalla. (CLC/TR 50480:2011, 19)

$$Z_{Qt} = \frac{c \cdot U_{nQ}^2}{S_{kQ}''} \cdot \left(\frac{1}{t_r^2} \right) \quad (1)$$

missä

c on taulukon 2 mukainen jännitekerroin

U_{nQ} on järjestelmän nimellisjännite syötön kytkentäpisteessä Q (suurjännitepuoli)

S_{kQ}'' on suurjänniteverkon alkuoikosulkuteho

t_r on jakelumuuntajan mitoitusmuuntosuhde väliottokytkimen keskiasennossa. (CLC/TR 50480:2011, 19)

Tai käytetään toista kaavaa, jossa suurjänniteverkon alkuoikosulkuteho korvataan syöttöjohdon liitännäpisteessä olevalla symmetrisellä alkuoikosulkuvirralla.

$$Z_{Qt} = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I_{kQ}''} \cdot \left(\frac{1}{t_r^2} \right) \quad (2)$$

missä

I_{kQ}'' on symmetrinen alkuoikosulkuvirta syöttöjohdon liitännäpisteessä Q. (CLC/TR 50480:2011, 19)

Oikosulkuvirtoja laskettaessa kun käytetään arvoa Z_{Qt} pitää siinä esiintyvät arvot S_{kQ} , I_{kQ} ja c sovellettava sen mukaan lasketaanko suurinta vai pienintä oikosulkuvirtaa. (CLC/TR 50480:2011, 19)

Jakeluverkkoyhtiön antamien tarkkojen tietojen puuttuessa voidaan IEC 60909 julkaisun mukaisesti suurjänniteverkon resistanssi R_Q ja reaktanssi X_Q arvioida seuraavalla kaavalla. (CLC/TR 50480:2011, 19)

$$R_Q = 0,100 \cdot X_Q \quad (3)$$

ja

$$X_Q = 0,995 \cdot Z_Q \quad (4)$$

4.1.3 Muuntaja

Suurjännite- ja pienjänniteverkon välisen muuntajan impedansseja tarvitaan verkon oikosulkuvirtojen ja maavikavirtojen laskennassa. Nämä arvot saadaan yleensä valmistajalta.

$$Z_M = \frac{z_k}{100} \cdot \frac{(U_{n2})^2}{S_n} \quad (5)$$

missä

U_{n2} on muuntajan toisiopuolen mitoitusjännite

S_n on muuntajan mitoitus-teho

z_k on muuntajan suhteellinen oikosulkujännite.

(CLC/TR 50480:2011, 19)

Muuntajan impedanssi on myös mahdollista laskea jos tiedetään muuntajan resistanssi ja reaktanssi.

$$Z_M = \sqrt{R_M^2 + X_M^2} = R_M + jX_M \quad (6)$$

missä

R_M on muuntajan resistanssi

X_M on muuntajan reaktanssi.

Muuntajan nollaimpedanssi lasketaan kaavalla:

$$Z_{M0} = \frac{z_0}{100} \cdot \frac{(U_{n2})^2}{S_n} \quad (7)$$

missä

z_0 on muuntajan suhteellinen nollaoikosulkujännite.

Muuntajan nolliimpedanssi on myös mahdollista laskea jos tiedetään muuntajan nolliresistanssi ja nollireaktanssi.

$$Z_{M0} = \sqrt{(R_{M0})^2 + (X_{M0})^2} = R_{M0} + jX_{M0} \quad (8)$$

missä

R_{M0} on muuntajan nolliresistanssi

X_{M0} on muuntajan nollireaktanssi.

Muuntajan resistanssi lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$R_M = \frac{r_k}{100} \cdot \frac{U_{n2}^2}{S_n} \quad (9)$$

missä

r_k on muuntajan suhteellisen oikosulkujännitteen resistiivinen osa.

(CLC/TR 50480:2011, 19)

Muuntajan resistanssi voidaan laskea myös ilman muuntajan suhteellisen oikosulkujännitteen resistiivistä osaa. Tällöin laskemisessa käytetään apuna muuntajan käämitysten kuormitushäviöitä mitoitusvirralla.

$$R_M = \frac{P_k}{S_n} \cdot \frac{U_{n2}^2}{S_n} = \frac{P_k \cdot U_{n2}^2}{S_n} \quad (10)$$

missä

P_k on muuntajan käämitysten kuormitushäviöt mitoitusvirralla.

Muuntajan nolliresistanssin lasketaan kaavalla:

$$R_{M0} = \frac{P_0}{S_n} \cdot \frac{U_{n2}^2}{S_n} = \frac{P_0 \cdot U_{n2}^2}{S_n} \quad (11)$$

missä

P_0 on muuntajan käämitysten nollikuormitushäviöt mitoitusvirralla.

Muuntajan reaktanssi lasketaan seuraavalla kaavalla. Sen kokoluokka voidaan arvioida olevan 0,95 kertainen muuntajan impedanssiin nähden. (CLC/TR 50480:2011, 20)

$$X_M = \sqrt{Z_M^2 - R_M^2} \quad (12)$$

Muuntajan nollareaktanssi lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$X_{M0} = \sqrt{Z_{M0}^2 - R_{M0}^2} \quad (13)$$

Laskuissa esiintyvälle muuntajan suhteelliselle oikosulkujännitteen resistiiviselle osalle löytyy myös laskentakaava, joka on seuraavanlainen.

$$r_k = 100 \cdot \frac{P_k}{S_n} \quad (14)$$

Muuntajan nimellisvirta voidaan laskea kaavalla:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{n2}} \quad (15)$$

Nimellisvirran avulla voidaan laskea muuntajassa esiintyvä oikosulkuvirta:

$$I_k = \left(\frac{I_n}{z_k} \right) \cdot 100 \quad (16)$$

missä

U on muuntajan syöttämä jännite.

4.2 Oikosulkuvirrat

Oikosulkuvirtojen tietoja tarvitaan verkon laitteita mitoittamisessa, oikosulkusuojauksen suunnittelussa ja turvallisen käytön suunnittelussa. Oikosulkuvirrat on tunnettava verkon eri osissa ja eri tilanteissa.

Alkuoikosulkuvirta I_k on symmetrisen oikosulkuvirran tehollisarvo vian alkuhetkellä.

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (17)$$

missä

c on taulukon 2 mukainen jännitekerroin

U_n on syöttävän verkon jännite

Z_k on impedanssi vikapaikasta katsottuna. (ABB Oy 2000, 197)

Kolmivaiheista oikosulkua laskettaessa oikosulkuimpedanssi muodostuu myötäimpedanssista.

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_1} \quad (18)$$

missä

Z_1 on myötäkomponenttiverkon impedanssi. (ABB Oy 2000, 198)

Tai tarkemmin myötäimpedanssit voidaan jakaa syöttävän verkon impedanssiin, muuntajan impedanssiin ja johdon impedanssiin.

$$I_{k3}'' = \frac{c_{\max} \cdot U_0}{Z'_S + Z_M + Z_J} \quad (19)$$

missä

U_0 on verkon vaihejännite eli $\frac{U_n}{\sqrt{3}}$

Z'_S on syöttävän verkon impedanssi redusoituna vikapaikan jänniteportaaseen

Z_J on johdon impedanssi. (Lapp 2012, 18)

Suurimmilla kaksivaiheisilla prospektiivisilla oikosulkuvirroilla ei yleensä ole käyttöä, koska ne ovat vastaavia kolmivaiheisia oikosulkuvirtoja pienempiä. (CLC/TR 50480:2011, 24)

$$I_{k2}'' = \frac{c \cdot U_n}{|\overline{Z}_1 + \overline{Z}_2|} \quad (20)$$

missä

\overline{Z}_1 on myötäkomponenttiverkon impedanssi

\overline{Z}_2 on vastakomponenttiverkon impedanssi. (Lapp 2012, 18)

Kaksivaiheisen oikosulkuvirran tapahtuessa kaukana generaattoreista. (Lapp 2012, 18)

$$I_{k2}'' = \frac{c \cdot U_n}{2 \cdot |\overline{Z}_1|} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3} \approx 0,87 \cdot I_{k3} \quad (21)$$

Kaksivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea myös myötä-, vasta- ja nollakomponenttien impedanssin avulla.

$$I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|\overline{Z}_1 + \overline{Z}_2 + \overline{Z}_0|} \quad (22)$$

missä

\overline{Z}_0 on nollakomponenttiverkon impedanssi. (Lapp 2012, 18)

Yksivaiheista oikosulkuvirtaa käytetään suojalaitteilta vaadittavan katkaisukyvyyn määrittämiseksi ja niiden toiminnan varmistamiseen (CLC/TR 50480:2011, 25). Yksivaiheisen oikosulkuvirran tapahtuessa kaukana generaattoreista käytetään seuraavaa kaavaa. (Lapp 2012, 19)

$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|2 \cdot \overline{Z}_1 + \overline{Z}_0|} \quad (23)$$

Jos tiedetään muuntajan ja kaapelin resistanssit ja reaktanssit voidaan yksivaiheinen oikosulkuvirta laskea seuraavalla kaavalla:

$$I_{k1}'' = \frac{c \cdot 3 \cdot U_0}{\sqrt{(2 \cdot R_M \cdot R_{M0} + 3L(R_V + R_0))^2 \cdot (2X_M + X_{M0} + L(2X_V + X_{V0} + 3X_0))^2}} \quad (24)$$

missä

R_M on muuntajan oikosulkuresistanssi

R_{M0} on muuntajan nolaresistanssi

R_v on vaihejohtimen resistanssi

R_0 on nolajohtimen resistanssi

X_M on muuntajan oikosulkureaktanssi

X_{M0} on muuntajan nolareaktanssi

X_v on vaihejohtimen myötäreaktanssi

X_{v0} on vaihejohtimen nolareaktanssi

X_0 on nolajohtimen reaktanssi

L on johdon pituus. (Lapp 2012, 19)

Paristojen syöttämässä tasajänniteverkossa esiintyvän oikosulkuvirran laskemiseen käytetään Ohmin lakiin perustuvaa kaavaa, jossa verkon jännite jaetaan verkossa esiintyvällä sisäisellä ja ulkoisella resistanssilla. Sisäisellä resistanssilla tarkoitetaan paristojen muodostamaa sisäistä resistanssia ja ulkoisella resistanssilla tarkoitetaan kaapeleiden ja verkon komponenttien synnyttämää resistanssia.

$$I_{sc} = \frac{U_n}{R_{kok}} \quad (25)$$

missä

U_n on verkon jännite.

R_{kok} on kokonaisresistanssi.

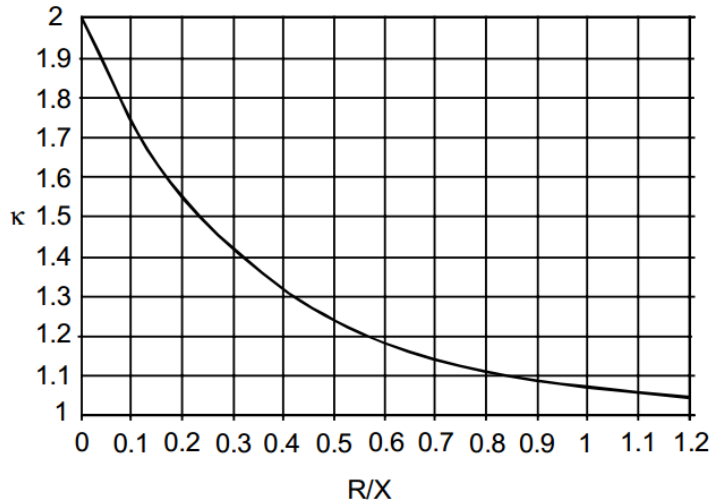
4.3 Sysäysoikosulkuvirta

Sysäysoikosulkuvirta lasketaan alkuoikosulkuvirrasta sysäyskerroimen avulla. Sysäyskerroin saadaan kuvasta 16 piirin resistanssin ja reaktanssin (R/X) suhteen funktiona. (ABB Oy 2000, 204)

$$i_p = k\sqrt{2} \cdot I_k \quad (26)$$

missä

k on sysäyskerroin. (ABB Oy 2000, 204)



Kuva 16. Sysäyskertoimen riippuvuus oikosulkuvirtapiirin R/X-suhteesta. (ABB Oy 2000, 204)

Toinen keino selvittää sysäyskertoimen suuruus on käyttää laskentakaavaa.

$$k = 1,02 + 0,98e^{-3\frac{R}{X}} \quad (27)$$

(De Metz-Noblat, Dumas & Poulain 2005, 29)

Resistanssin ja reaktanssin suhteen laskemiseen käytetään kaavaa:

$$R/X = \frac{R}{X} \quad (28)$$

missä

R on oikosulkuvirtapiirin kokonaisresistanssi

X on oikosulkuvirtapiirin kokonaisreaktanssi.

4.4 Jännitteenalenema

Kaapeleiden siirtoetäisyyden ollessa avojohdoilla alle 100 km ja kaapeleilla alle 20 km voidaan jännitteenalenema yhtä vaihetta kohti laskea kaavalla:

$$U_h = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi) = I \cos \varphi R + I \sin \varphi X \quad (29)$$

missä

I on johtimen virta

R on johtimen vaihtovirtaresistanssi

X on johtimen reaktanssi

φ on vaihejännitteen ja -virran välinen vaihesiirtokulma. (ABB Oy 2000, 501)

Suhteellinen jännitteenalenema saadaan kaavalla:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100\% \quad (30)$$

missä

Δu on suhteellinen jännitteenalenema

ΔU on jännitteenalenema volteissa

U_N on nimellisjännite. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL 2009, 226)

Tasasähköverkossa esiintyvien jännitteenalenemien laskemiseen käytetään Ohmin lakiin perustuvaa kaavaa:

$$U_{hv} = I_z \cdot R_j \quad (31)$$

missä

I_z on piirissä oleva kuormitusvirta

R_j on johdon kokonaisresistanssi.

4.5 Kuorma

Tiedettäessä virtapiirin kuormitusvirta voidaan se muuttaa tehoksi kaavalla:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (32)$$

Vastaavasti näennäisvirta saadaan laskettua tehosta kaavalla:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (33)$$

5 VESIVOIMALAITOKSEN VAIHTOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Tässä luvussa käsitellään Pankakosken vesivoimalaitoksen 0,4 kV vaihtosähköverkon eli omakäyttöjärjestelmän rakennetta ja siitä tehtyä verkkomallinnusta ja sitä koskevia laskelmia.

Luvussa myös perustellaan verkon mallinnuksessa tehtyjä poikkeavuuksia alkuperäisistä suunnitelmista sekä vertaillaan laskemalla saatuja verkon arvoja suunnitteluohjelman ilmoittamiin arvoihin.

5.1 Verkon rakenne

Pankakosken vesivoimalaitoksen omakäyttöjärjestelmä muodostuu kahdesta omakäyttömuuntajasta ja yhdestä omakäyttökeskuksesta. Verkon suojaaminen tapahtuu pääosin kompaktikatkaisijoilla joihin on asennettu suojareleet. Verkon pääkaavio on esitetty liitteessä 1.

5.1.1 Omakäyttömuuntajat

Omakäyttömuuntajista on pääsääntöisesti käytössä 630 kVA:n kolmivaiheinen omakäyttömuuntaja OKM1, jonka ensiöpuoli on kytketty kolmioon ja toisiopuoli tähteen. Ensiöpuolella jännite on 10,5 kV ja toisiopuolella 0,41 kV. Muuntajan IEC:n mukainen kytkentäryhmä on Dyn 11, joka on yleisesti käytössä oleva kytkentäryhmä. Se mahdollistaa muuntajan vinokuormittamisen jatkuvasti 100 %:ti (kuva 17). (ABB Oy 2000, 316)

Toista verkossa olevaa 315 kVA:n omakäyttömuuntajaa OKM2 käytetään varasyöttönä. Tämä muuntaja ei ole Kemijoki Oy:n omistuksessa vaan Lieksan paikallisen sähköyhtiön, jonka verkosta 20 kV:n syöttö muuntajalle myös tulee. Myös tämän muuntajan ensiöpuoli on kytketty kolmioon ja toisiopuoli tähteen. Ensiöpuolella jännite on 20 kV ja toisiopuolella 0,4 kV. Muuntajan kytkentäryhmä on Dyn 11.

OKM2 on ABB:n öljyeristeinen CTF315/20,5 PNS -muuntaja. Sen tiedot on esitetty liitteessä 2.

KOLMIVAIHEMUUNTAJIEN OSOITIN- JA KYTKENTÄPIIRROKSET

Kytkentäryhmä IEC:n mukaan	Osoitinpiirros		Kytkentäpiirros		Toision Nollapiste
	Ylä- jännite	Ala- jännite	Ylä- jännite	Ala- jännite	
0	Dd 0				Ei saatavissa
	Yy 0				n. 10% kuormitettavissa.
	Dz 0				100% kuormitettavissa
5	Dy 5				100% kuormitettavissa
	Yd 5				Ei saatavissa
	Yz 5				100% kuormitettavissa
6	Dd 6				Ei saatavissa
	Yy 6				n. 10% kuormitettavissa
	Dz 6				100% kuormitettavissa
11	Dy 11				100% kuormitettavissa
	Yd 11				Ei saatavissa
	Yz 11				100% kuormitettavissa

Kuva 17. Kytkentäryhmien tiedot (Trafomic Oy:n www-sivut 2013, hakupäivä 22.2.2013)

5.1.2 Katkaisimet

Muuntajilta tulevat syötöt on suojattu omakäyttökeskuksissa olevilla Schneider Electricin ulosvedettävillä Masterpact NW -sarjan katkaisijoilla, joiden nimellisvirrat ovat 1250 A ja 800 A. OKM1:sen syöttö tulee 1250 A:n Masterpact MW12H1 -katkaisijalle ja OKM2:sen syöttö tulee 800 A:n Masterpact NW08H1 -katkaisijalle.

Jokainen omakäyttökeskuksen kiskostosta lähtevä lähtö on yhtä lähtöä lukuun ottamatta suojattu Schneider Electricin Compact NSX -sarjan katkaisijoilla. Molempien sarjojen

katkaisimet näkyvät seuraavassa kuvassa 18. Molemmissa on nähtävissä valkoisen tai harmaan värinen Micrologic -suojarele, jonka asetuksia on mahdollista säätää.



Kuva 18. a) Masterpact NW -sarjan katkaisin (vasen) (Masterpact NW käyttäjän käsikirja, hakupäivä 22.2.2013)
b) Compact NSX -sarjan katkaisin (oikea) (Compact NSX100 - 630 user manual, hakupäivä 22.2.2013)

5.1.3 Omakäyttökeskus

Omakäyttökeskus on tyypiltään Mecha-Flexin kennokeskus, jonka nimellisvirta on 1250 A, terminen oikosulkukestoisuus 25 kA ja dynaaminen oikosulkukestoisuus 63 kA. Alun perin keskuksessa oli tarkoitus olla kaksi toisistaan erillistä kiskoa, mutta myöhemmin suunnitelmissa päädyttiin yhden kiskon ratkaisuun. Liitteessä 1 näkyvässä pääkaaviokuvassa kiskoja on vielä kaksi.

Lähtöjä kiskostossa on yhteensä 25 kappaletta. Yhden lähdön takana on pienjakelu, jossa on 37 pienjakelulähtöä.

5.2 Mallintaminen suunnitteluohjelmalla

Tässä luvussa perehdytään kuinka verkon mallintaminen tapahtui FebDokilla. Esimerkiksi miten verkko ja sen arvot määritettiin ohjelmalle ja kuinka verkko mallinnetaan jakokeskus ja virtapiiri kerrallaan.

Lisäksi tässä luvussa käsitellään mallintamisen yhteydessä tehtyjä valintoja koskien komponentteja ja kaapeleita ja mahdollisesti niissä tehtyjä poikkeuksia vastoin suunnitelmia

5.2.1 Verkon määrittelyminen

Verkon mallintamista lähdettiin toteuttamaan annetun pääkaavion avulla (liite 1). Heti ensimmäisenä huomioitavana asiana tuli vastaan kahden muuntajan olemassaolo. Feb-Dokilla ei ole mahdollista suunnitella ja mitoittaa verkkoa, jossa on kaksi toisistaan erillään olevaa syöttävää verkkoa tai muuntajaa. Tällaista tilannetta ei verkossa kuitenkaan tule olemaan vaan syöttävänä muuntajana toimii vain yksi muuntaja kerrallaan. Tällöin verkon mitoitus on tehtävä heikomman syötön eli varasyötön ehdoilla, koska silloin kosketusjännitesuojausehtojen mukaiset määrittelyt täyttyvät ja verkosta saadaan rakennettua kaapeloinnin ja komponenttien osalta toimiva myös varayhteyden kanssa. Verkkoa on mahdollista tarkastella myöhemmin OKM1:sen osalta syöttämällä sen tiedot syöttävän verkon asetuksiin ja vaihtamalla syötön kaapeli ja katkaisija.

Laitteistoa määriteltäessä ohjelmalle täytyi kertoa mistä verkon laskenta aloitetaan. Koska tarkat taustaverkon tiedot puuttuivat, ei aloituspisteeksi määritelty muuntajaa vaan pääkeskus. Tällöin ohjelmalle ei tarvinnut kertoa sekä taustaverkon, että muuntajan tietoja. Kun aloituspisteeksi valittiin pääkeskus, halusi ohjelma tietää edeltävän verkon tiedot, kuten suurin kolmivaiheinen, pienin kaksivaiheinen oikosulkuvirta ja suurin ja pienin yksivaiheinen maasulkuvirta. Suurimmaksi kolmivaiheiseksi oikosulkuvirraksi annettiin muuntajan kolmivaiheinen oikosulkuvirta muuntajan tiedoista (liite 2) ja arvio kaksivaiheisesta oikosulkuvirrasta, joka on luokkaa kolmivaiheinen oikosulkuvirta kerrottuna 0,87:llä.

Koska syöttävänä muuntajana on kytkentäryhmän Dyn 11 muuntaja, voitiin maasulkuvirran arvioida olevan hieman muuntajan toisioliittimissä esiintyvää oikosulkuvirtaa pienempi (ABB Oy 2000, 321). Maasulkuvirta asetettiin kuitenkin myös pienintä kaksivaiheista oikosulkuvirtaa pienemmäksi.

Ohjelmalle syötetyt arvot on esitetty kuvassa 19.

Kuva 19. Edeltävän verkon tiedot

Laitteistolle määriteltiin myös jakelujärjestelmäksi TN-C-S-järjestelmä, 400 V järjestelmäjännite, 50 Hz verkkotaajuus ja jännitteenalenemalaskelmien varoitustasoiksi 4 % yhteenlasketun jännitteenaleneman osalta ja 2 % keskuksen osalta.

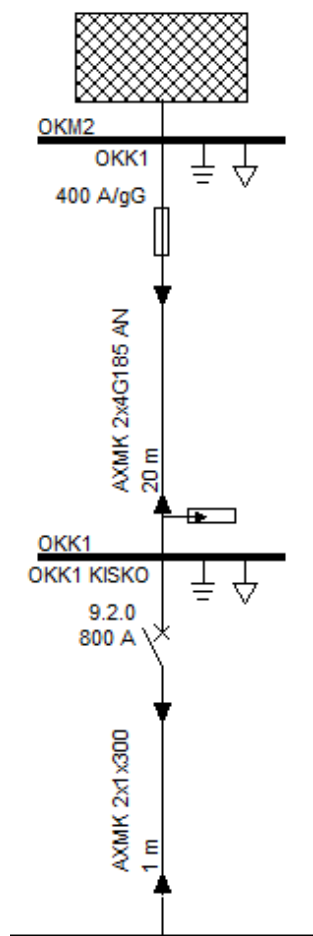
5.2.2 Syötön muodostaminen

Taustietojen syöttämisen jälkeen lähdettiin kokoamaan ensimmäistä virtapiiriä muuntajasta. Muuntajan ja katkaisimen välillä olevat kaksi AXMK 4x185 -kaapelit on suojattu 400 A gG-sulakkeilla. Ohjelmassa kaapelia lisättäessä on tärkeää ilmoittaa rinnakkaisien kaapeleiden lukumäärä, jolloin ohjelma tajuaa virtapiirissä olevien kaapeleiden lukumäärän. Tietojen syöttämisen jälkeen pääjohtokaavioon ilmestyi uusi virtapiiri ja uusi jakokeskus.

Seuraavaan jakokeskukseen lisättiin ulosvedettävä Masterpact NW08H1 -katkaisija, jonka nimellisvirta on 800 A ja katkaisukyky 65 kA. Katkaisijan jälkeiseksi kaapeliksi laitettiin kaksi metrin pituista AXMK 1x300 -kaapelia. Kaapelia ei varsinainen ole ver-

kossa vaan se kuvaa omakäyttökeskuksen sisällä olevaa johdotusta katkaisijalta kiskostoon. Isolla kaapelilla varmistetaan, ettei oikosulkuvirrassa ja jännitteenalenemassa tapahdu suurta pudotusta.

Nämä kaksi virtapiiriä muodostivat verkon syötön ja sen suojauksen (kuva 20). Omakäyttökeskuksen kiskostoa ei päätetty mallintaa ohjelman kiskosto -ominaisuudella, koska se koettiin epäkäytännölliseksi, eikä se käytännössä tuo erityisempiä etuja mitoittamiseen. Jakokeskuksen käyttämisestä kiskoston sijaan kuitenkin jättää pois kiskoston kestävyuden tarkkailun.



Kuva 20. Mallinnettu syöttö

5.2.3 Kiskoston muodostaminen

Kiskostoa lähdettiin mallintamaan yksi lähtö kerrallaan. Kaapelitiedot jätettiin suurimassa osassa lähdöistä lisäämättä, koska kaapelitietoja ei vielä ollut tai lähtö oli tarkoitettu varalle. Jokaiselle lähdölle kuitenkin asetettiin pääkoeluetellon mukaiset komponentit eli pääosin vain katkaisija. Yleisimmät lähdöissä käytetyt katkaisimet ovat Compact NSX 100, 250, 400 ja 630. Näiden lisäksi katkaisimista löytyy laukaisuyksikkö, joka on Micrologic 2.2, 2.3 tai 5.0.

Muutoin ohjelmasta löytyi kaikki tarvittavat katkaisimet, mutta pieni poikkeavuus täytyi tehdä katkaisimen katkaisukyvyyn osalta. Compact NSX -katkaisijasarjan eri katkaisutasot on esitetty taulukossa 3. Harmaalla värillä tarkoitetaan katkaisutason, jota ei löytynyt FebDokin laitetietokannasta.

Taulukko 3. Katkaisijoiden katkaisukyvyt ja niiden esiintyminen FebDokissa (harmaalla merkityjä ei ollut tietokannassa)

		Malli	Malli
		NSX100 - NSX250	NSX400 - NSX630
Taso		Katkaisukyky [kA]	Katkaisukyky [kA]
B		25	
F		36	36
N		50	50
H		70	70
S		100	100
L		150	150

Taulukosta ilmenee, ettei ohjelmasta löydy F- ja S-tason katkaisijoita. Pääkojekaavion mukaan omakäyttökeseukseen tulisi F-tason katkaisijoita, mutta niiden puuttuessa ohjelmasta valittiin niitä seuraavaksi ylemmän tason katkaisija eli N-tason katkaisijat, joiden katkaisukyky on 50 kA.

Tällaiset puutteet ovat mahdollisia suunnitteluohjelmissa, koska valmistajien komponenttien valikoimassa tapahtuu muutoksia. Tämän vuoksi on tärkeää varmistaa, että käytettävissä on suunnitteluohjelman uusin päivitys, joka mahdollisesti tuo mukanaan muutoksia komponenttilistaan.

5.2.4 Pienjakelu

Jakelukiskoston mallintamisen jälkeen oli pienjakelun mallintamisen vuoro. Pääkaaviossa vain neljälle lähdölle oli merkittynä syöttökohde, mutta muuten lähdöt olivat varalta. Kahden C16 sulakelähdön taakse tulee kompressorin työpaineen ja kompressorikellon paineen syöttö. Yhden 16 A sulakelähtöön tulee GJVS.JK1:sen kompressorin syöttö ja 10 A sulakelähdön taakse GJVS.JK1:sen ohjaussyöttö.

Pääkojeluettelussa mainittuja sulakkeita ja johdonsuojakatkaisijoita ei löytynyt, mutta laiteluettelosta valittiin lähimmät niitä vastaavat komponentit. Ainoastaan vikavirtasuojattujen johdonsuojakatkaisijoiden kohdalla tuli ongelmia, koska ohjelmasta puuttuu kyseisten katkaisijoiden osalta katkaisukyvyyn tiedot 400 V:n osalta.

5.3 Kaapelit

Verkon pääkaavio ei sisältänyt tietoja lähtöjen pituuksista, joten ne jouduttiin mittaamaan voimalaitoksen piirustuskuvista. Voimalaitoksen eri kerroksista löytyi 1:50 mittasuhteessa olevat piirustukset, mutta niitä ei saatu tulostettua oikeassa mittakaavassa. Siksi kaapelipituuksien mittaamisessa käytettiin apuna voimalaitoksen konesalin pohjapiirustusta, jossa ilmeni laitoksen sisätilojen mitat. Tämä piirustus saatiin tulostettua oikein 1:50 mittasuhteessa, joten kaapeleiden pituudet saatiin laskettua kyseisestä kuvasta mittasuhdeviivaimella.

Kaapeleiden tyypeistä ei myöskään ollut pääkaaviossa mainintoja. Kaapeleiden valinnassa pidettiin nyrkkisääntönä, että lähdöt vedettäisiin pääosin kaapeleissa, jossa on alumiinijohtimet. Muutama pitkä lähtöön valittiin kuparijohtimella varustetut kaapelit, joiden asennuksissa voidaan hyödyntää vanhoja kaapeleita.

Kaapeleiden valinnassa päädyttiin pääosin AMCMK -alumiinikaapeliin ja kahteen pitempään lähtöön valittiin MCMK -kuparikaapeli. Valitut kaapelit, sekä niiden pituudet on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Kaapeleiden pituudet sekä niitä suojaavan katkaisijoiden virtakestoisuus ja piirissä oleva kuormitusvirta.

Lähtö	Kuvaus	Pituus [m]	Kaapeli	In ja Iz [A]	
LÄH-1	Varamagnetointi	EI LASKETA		630	630
LÄH-2	1G.MK1	22	2x AMCMK 4x120/41 AN	400	160,4*
LÄH-3	Säännöstelypato	85	2x MCMK 4x120/70	400	300
LÄH-4	Luukkusalii	29	AMCMK 4x185/57 AN	250	250
LÄH-5	Vara	Vara	Vara	250	
LÄH-6	Konesalin nosturim. 5	50	AMCMK 4x185/57 AN	250	250
LÄH-7	Konttorin ryhmäkeskus	35	AMCMK 4x50/16 AN	100	100
LÄH-8	Sähkökattila R1 ja R2	22	AMCMK 4x35/16 AN	100	70
LÄH-9	Vara	Vara	Vara	100	
LÄH-10	Vara	Vara	Vara	100	
LÄH-11	PRK 9, 10 luukkusalii/yläv. silta	40	AMCMK 4x35/16 AN	100	80
LÄH-12	PRK 6, 7 ja 8 turb./lastaus/konesali	43	AMCMK 4x50/16 AN	100	100
LÄH-13	Korjaamon keskus	19	AMCMK 3x50/16 AN	100	100
LÄH-14	2G.MK1	53	2x AMCMK 4x120/41 AN	400	160,4*
LÄH-15	M2. Turbiinitason keskus	45	2x AMCMK 4x150/41 AN	400	400
LÄH-16	Ohjaamon (valvomon) jakokeskus	41	AMCMK 4x185/57 AN	250	250
LÄH-17	Vara	Vara	Vara	250	
LÄH-18	Pohjavesikaivon pumppu	45	AMCMK 4x25/16 AN	63	53,4*
LÄH-19	Kytkinlaitos	335	MCMK 4x120/70	100	50
LÄH-20	Vara	Vara	Vara	100	
LÄH-21	PRK 1, 2, 3 TU/konesali alavirta	50	AMCMK 4x50/16 AN	100	100
LÄH-22	PRK 4 ja 5 konesali yläv.	45	AMCMK 4x35/16 AN	100	80
LÄH-23	110 kV kytkinkenttä, 10 kV kojeisto	340	MCMK 4x120/70	100	50
LÄH-24	Vara	Vara	Vara	100	
LÄH-25	Pienjakelu	Keskuksessa	Keskuksessa	250	

* FebDokin ilmoittama arvo (Iz), eroaa laskennassa käytetystä

Taulukossa 4 on myös ilmoitettu jokaisen lähdön katkaisijan virtakestoisuus (In) ja piirissä kulkeva virta (Iz). Osa piireissä kulkevista virroista on arvioita. Apuna arvioimiseen on käytetty muun muassa voimalaitoksen vanhempaa pääkaaviota, jossa näkyy ryhmä- ja jakokeskuksen tietoja, verkkoon tulevien pistorasiakeskusten piirikaavioita ja Lieksakosken vesivoimalaitoksessa olevien 1G.MK1:sen ja 2G.MK1:sen piirikaavioita. Joidenkin lähtöjen kohdalla arvioiden tekemiseen ei ollut käytettävissä lähdetietoja. Näiden lähtöjen kohdalla virtapiirin virran suuruudeksi on arvioitu katkaisijan kestävä virta, jolloin saaduilla laskenta tuloksilla varmistetaan, että piirin mitoitus maksimitilanteessa on oikea.

5.4 Laskelmien tekeminen

Tarvittavien verkon komponenttien ja kaapeleiden tietojen keräämisen jälkeen oli vuorossa muuntajan arvojen, verkkoa esiintyvien oikosulkuvirtojen ja kaapeleissa olevien jännitteenalennemien laskeminen. Laskuista jätettiin pois kaikki varalähdöt, varamagneetoinnin lähtö, joka päätettiin jättää pois ja pienjakelun lähdöt, joille tarkempia tietoja ei ollut.

Pienjakelun kiskoon vaikuttava oikosulkuvirta ja jännitteenalenneman arvioitiin olevan samaa kokoluokkaa mitä se on omakäyttökeskuksen pääkiskossa, joten sen osalta laskelmia ei tehty.

Ensimmäisenä olisi ollut vuorossa taustaverkon tietojen laskeminen käyttämällä kaavoja 1–4, mutta tarkempien tietojen puuttuessa jätettiin taustaverkon laskennat pois. Tällöin taustaverkon oletetaan olevan jäykkä.

Muuntajat arvot laskettiin myös omakäyttömuuntajalle OKM1:lle ja oikosulkuvirrat omakäyttökeskuksen pääkiskostossa kun omakäyttömuuntaja OKM1 syöttää verkkoa (liite 7). Osa OKM1:sen arvoista on arvioitua kun taas jännitteet, teho ja muuntajan suhteellinen oikosulkujännite z_k oli tiedossa.

5.4.1 Muuntajan laskelmat

Muuntajan arvojen laskemiseen käytettiin kappaleessa **3.1.3 Muuntaja** esitettyjä kaavoja. Osa laskemisessa tarvittavista tiedoista saatiin Lieksan paikalliselta sähköyhtiöltä, mutta joitakin tietoja, kuten muuntajan käämitysten kuormitushäviöt mitoitusvirralla (P_k) ja sen nollapuolen arvo (P_0) piti etsiä ABB:n öljyeristeisten muuntajien esitteestä.

Ensimmäisenä laskettiin muuntajan impedanssi käyttämällä laskemisessa kaavaa 5, jota käytetään jos muuntajan resistanssia ja reaktanssia ei tiedetä. Impedanssia tarvitaan muuntajan reaktanssia laskettaessa.

$$Z_M = \frac{z_k}{100} \cdot \frac{(U_{n2})^2}{S_n} = \frac{4,3\%}{100} \cdot \frac{(410V)^2}{315kVA} = 0,02295\Omega$$

Ennen resistanssin laskemista laskettiin muuntajan suhteellinen oikosulkujännitteen resistiivinen osa, jota tarvitaan kaavassa 9. Laskettaessa resistanssia kaavalla 10 kyseistä arvoa ei tarvita.

$$r_k = 100 \cdot \frac{P_k}{S_n} = 100 \cdot \frac{3150W}{315kVA} = 1$$

$$R_M = \frac{r_k}{100} \cdot \frac{(U_{n2})^2}{S_n} = \frac{1}{100} \cdot \frac{(410V)^2}{315kVA} = 0,00534\Omega$$

$$R_M = \frac{P_k}{S_n} \cdot \frac{(U_{n2})^2}{S_n} = \frac{3150W}{315kVA} \cdot \frac{(410V)^2}{315kVA} = 0,00534\Omega$$

Muuntajan reaktanssin laskemiseen käytettiin kaavaa 12, jossa tarvittiin aiemmin laskettua impedanssia ja resistanssia.

$$X_M = \sqrt{Z_M^2 - R_M^2} = \sqrt{0,02295\Omega^2 - 0,00534\Omega^2} = 0,02232\Omega$$

Lopuksi muuntajan impedanssi voitiin tarkistaa laskemalla se kaavalla 6.

$$Z_M = \sqrt{R_M^2 + X_M^2} = \sqrt{0,00534\Omega^2 + 0,02232\Omega^2} = 0,02295\Omega$$

Tuloksissa on nähtävissä teorian mukaisesti, että muuntajan impedanssi ja reaktanssi ovat lähes yhtä suuret, kuten kuuluukin olla.

Vastaavilla kaavoilla laskettiin myös muuntajan nollapuolen arvot, joita tarvitaan myöhemmin yksivaiheisen oikosulkuvirran laskemisessa. Ensimmäisenä laskettiin muuntajan nollaimpedanssi kaavalla 7.

$$Z_{M0} = \frac{z_0}{100} \cdot \frac{(U_{n2})^2}{S_n} = \frac{6,87\%}{100} \cdot \frac{(410V)^2}{315kVA} = 0,03666\Omega$$

Muuntajan nollaresistanssi kaavalla 11.

$$R_{M0} = \frac{P_0}{S_n} \cdot \frac{(U_{n2})^2}{S_n} = \frac{520W}{315kVA} \cdot \frac{(410V)^2}{315kVA} = 0,00088\Omega$$

Muuntajan nollareaktanssi kaavalla 13.

$$X_{M0} = \sqrt{Z_{M0}^2 - R_{M0}^2} = \sqrt{0,03666\Omega^2 - 0,00088\Omega^2} = 0,03665\Omega$$

Lopuksi muuntajan nollaimpedanssin tarkistus kaavalla 8.

$$Z_{M0} = \sqrt{R_{M0}^2 + X_{M0}^2} = \sqrt{0,00088\Omega^2 + 0,03665\Omega^2} = 0,03666\Omega$$

Myös nollapuolen arvoissa on nähtävissä teorian mukainen seikka, että nollaimpedanssi ja nollareaktanssi ovat lähes yhtä suuria.

Muuntajan virraksi saatiin laskettua kaavalla 15 täysin sama arvo, joka on annettu myös muuntajan tiedoissa (liite 2) eli 443,6 A.

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{315kVA}{\sqrt{3} \cdot 410V} = 443,6A$$

Muuntajan oikosulkuvirran laskemiseen käytettiin kaavaa 17, jossa käytetään apuna muuntajassa esiintyvää myötäimpedanssia.

$$I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_M} = 10064A$$

Oikosulkuvirraksi saatu 10 064 A on pienempi kuin muuntajan tiedoissa (liite 2) mainittu oikosulkuvirta 10 313 A. Ero ei ole erityisen suuri, mutta se korostuu jos kyseistä oikosulkuvirtaa käytetään muuntajan impedanssin laskemiseen.

Laskemalla oikosulkuvirta kaavalla 16 eli käyttämällä laskemisessa apuna muuntajan suhteellista oikosulkujännitettä ja muuntajan nimellisvirtaa saatiin tulokseksi lähes sama kuin muuntajan tiedoissa ilmoitettu oikosulkuvirta.

$$I_k = \left(\frac{I_n}{z_k} \right) \cdot 100 = 10316A$$

Muuntajaa koskevat laskut on esitetty myös liitteessä 3. Kyseiset laskut tehtiin myös samalla tavalla toisen omakäyttömuuntajan eli OMK1:sen osalta. Niistä saadut tulokset on esitetty liitteessä 7.

5.4.2 Kaapelit

Jokaisesta käytettävästä kaapelityypistä haettiin kaapelin resistanssit ja reaktanssit käyttäen lähteenä Energiategollisuuden verkostosuositusta SA2:08. Tämän jälkeen jokaiselle lähdölle laskettiin kaapeleiden lukumäärän ja kaapelin pituuden mukaan omakohtaiset kaapeleiden resistanssit ja reaktanssit. Näitä arvoja käytettiin myöhemmin oikosulkuvirtojen laskemiseen.

Kaapeleita koskevat laskelmat on esitetty liitteessä 4.

5.4.3 Oikosulkuvirrat

Oikosulkuvirroista laskettiin suurimmat ja pienimmät kolmi-, kaksi- ja yksivaiheiset oikosulkuvirrat ja sysäyoikosulkuvirrat. Kaksivaiheiset oikosulkuvirrat päätettiin laskea vaikkei niiden suuruudella ole merkitystä TN-järjestelmissä. Esimerkkilaskuina on esitetty seitsemännen lähdön takana olevan konttorin ryhmäkeskuksen oikosulkuvirrat.

Kolmivaiheista oikosulkuvirtaa laskiessa käytettiin kaavaa 19. Vikapaikkaan vaikuttava impedanssi laskettiin muuntajan impedanssista ja vikapaikkaan vaikuttavien kaapeleiden impedansseista. Kaavan 5 tai 6 mukaan lasketun muuntajan impedanssin sijaan käytettiin muuntajan impedanssia, joka laskettiin kaavalla:

$$Z_m = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_k} \tag{34}$$

Käyttäen oikosulkuvirtana muuntajan tiedoissa (liite 2) annettua kolmivaiheista oikosulkuvirtaa tällä kaavalla muuntajan impedanssin arvoksi saatiin:

$$Z_s = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{400V}{\sqrt{3} \cdot 10313A} = 0,0224\Omega$$

Tämä poikkeus edellisessä kappaleessa mainitusta syystä, jossa kerrottiin kuinka muuntajan oikosulkuvirta on ilmoitettua pienempi jos laskemisessa käytetään muuntajan impedanssia, jonka laskemiseen on käytetty laskemalla selvitettyjä muuntajan resistanssia ja reaktanssia.

$$I_{k3\max} = \frac{c_{\max} \cdot U_0}{Z_m + Z_j + Z_{j_{-17}}} = \frac{1 \cdot 230,94V}{0,0224\Omega + 0,00199\Omega + 0,02444\Omega} = 4730A$$

$$I_{k3\min} = \frac{c_{\min} \cdot U_0}{Z_m + Z_j + Z_{j_{-17}}} = \frac{0,95 \cdot 230,94V}{0,0224\Omega + 0,00199\Omega + 0,02444\Omega} = 4494A$$

Kaksivaiheista oikosulkuvirtaa laskiessa käytettiin kaavaa 21, jossa myötäkomponentti-verkon impedanssi kerrotaan kahdella.

$$I_{k2\max} = \frac{c_{\max} \cdot U_n}{2 \cdot (Z_m + Z_j + Z_{j_{-17}})} = \frac{1 \cdot 400V}{2 \cdot (0,0224\Omega + 0,00199\Omega + 0,02444\Omega)} = 4096A$$

$$I_{k2\min} = \frac{c_{\min} \cdot U_n}{2 \cdot (Z_m + Z_j + Z_{j_{-17}})} = \frac{0,95 \cdot 400V}{2 \cdot (0,0224\Omega + 0,00199\Omega + 0,02444\Omega)} = 3892A$$

Yksivaiheista oikosulkuvirtaa laskiessa käytettiin kaavaa 24, jossa huomioidaan muuntajan ja kaapeleiden kaikki resistanssit ja reaktanssit.

$$I_{k1\max} = \frac{c_{\max} \cdot 3 \cdot U_0}{\sqrt{(k_M \cdot R_M \cdot R_{M0} + R_{j_{-kok}})^2 \cdot (k_M \cdot X_M + X_{M0} + X_{j_{-kok}})^2}} = \frac{1 \cdot 3 \cdot 230,94V}{\sqrt{(2 \cdot 5,34m\Omega \cdot 0,88m\Omega + 214m\Omega)^2 \cdot (2 \cdot 22,32m\Omega + 36,65m\Omega + 13m\Omega)^2}} = 2834A$$

$$I_{k1\min} = \frac{c_{\min} \cdot 3 \cdot U_0}{\sqrt{(k_M \cdot R_M \cdot R_{M0} + R_{j_{-kok}})^2 \cdot (k_M \cdot X_M + X_{M0} + X_{j_{-kok}})^2}} = \frac{0,95 \cdot 3 \cdot 230,94V}{\sqrt{(2 \cdot 5,34m\Omega \cdot 0,88m\Omega + 214m\Omega)^2 \cdot (2 \cdot 22,32m\Omega + 36,65m\Omega + 13m\Omega)^2}} = 2694A$$

Sysäysoikosulkuvirran laskemiseksi täytyi ensimmäisenä laskea kaavalla 17 vikakohdassa oleva oikosulkuvirta. Laskemisessa on käytetty impedanssin laskemiseksi kaavoilla 9, 10 ja 12 saatuja muuntajan resistanssia ja reaktanssia.

$$I_k'' = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{1 \cdot 400V}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_M + R_{v_syöttö} + R_{v_17})^2 + (X_M + X_{v_syöttö} + X_{v_17})^2}} = 5673A$$

Jos muuntajan resistanssin ja reaktanssin sijasta laskelmaan lisättäisiin suoraan kaavalla 34 laskettu muuntajan impedanssi, saataisiin tulokseksi sama kuin suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta.

$$I_k'' = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot \left(Z_m + \sqrt{(R_{v_syöttö} + R_{v_17})^2 + (X_{v_syöttö} + X_{v_17})^2} \right)} = \frac{1 \cdot 400V}{\sqrt{3} \cdot \left(0,0224\Omega + \sqrt{(0,0018\Omega + 0,0243\Omega)^2 + (0,0008\Omega + 0,0027\Omega)^2} \right)} = 4739A$$

Vikapaikkojen oikosulkuvirrat sysäysoikovirtojen laskemista varten päätettiin laskea käyttämättä apuna kaavalla 34 saatua muuntajan impedanssia. Täten saadaan laskettua mahdollisimman suuret sysäysoikosulkuvirrat mikä ei ole haitaksi verkon komponenttien kestävyyttä tarkastellessa.

Saadun oikosulkuvirran lisäksi täytyi selvittää myös oikosulkuvirtapiirin resistanssin ja reaktanssin suhde. Se saatiin selville laskemalla se kaavalla 28.

$$R/X = \frac{R}{X} = \frac{R_M + R_{v_syöttö} + R_{v_17}}{X_M + X_{v_syöttö} + X_{v_17}} = \frac{0,88m\Omega + 1,8m\Omega + 24,3m\Omega}{22,32m\Omega + 0,8m\Omega + 2,7m\Omega} = 1,215$$

Saadulla resistanssin ja reaktanssin suhteella pystyttiin laskemaan kaavalla 27 sysäykertoimen suuruus sen sijaan, että sen yrittäisi tulkita kuvasta 16.

$$k = 1,02 + 0,98e^{-3\frac{R}{X}} = 1,02 + 0,98e^{(-3)1,215} = 1,046$$

Saadulla sysäyskertoimen avulla saatiin laskettua kaavalla 26 vikakohdassa oleva sy-
säsoikosulkuvirta.

$$i_p = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,046 \cdot \sqrt{2} \cdot 5673A = 8388A$$

Vastaavat laskut tehtiin jokaisesta lähdöstä ja ne on esitetty liitteessä 5. Liitteessä 7 on esitetty myös laskelmat oikosulkuvirroista omakäyttökeskuksen pääkiskossa kun oma-
käyttömuuntaja OKM1 syöttää verkkoa.

5.4.4 Jännitteenalenemat

Jännitteenalenemat laskettiin jokaiselle kaapelille paitsi pienjakelun lähdöille. Myös varalähdöt ja varamagnetoinnin lähtö jätettiin pois laskuista. Jännitteenalenemaa laskies-
sa oli tiedettävä kaapelin kuormitusvirta tai kaapelin perässä olevan kuorman suuruus. Jännitteenaleneman laskemiseen käytettiin kaavaa 29, jossa oli tiedettävä kaapelin virta. Jos tiedettiin vain kaapelin perässä oleva kuorma, se muutettiin kaavalla 33 virraksi.

Esimerkkilaskuina seitsemännen lähdön eli konttorin ryhmäkeskukseen menevän kaape-
lin jännitteenalenema kun kuormitusvirraksi valittiin 100 A.

$$U_{hv} = I \cdot \cos \varphi \cdot R + I \cdot \sin \varphi \cdot X =$$

$$100A \cdot 0,9 \cdot 0,0243\Omega + 100 \cdot \sin 25,84^\circ \cdot 0,0027\Omega = 2,31V$$

Suhteellinen jännitteenalanema laskettiin kaavalla 30 ja siihen lisättiin omakäyttömuun-
tajan ja omakäyttökeskusten välisen syöttökaapeleiden suhteellinen jännitteenalenema
0,35 %. Sen laskeminen on esitetty liitteen 6 ensimmäisellä sivulla.

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100\% = \frac{2,31V}{230,94V} \cdot 100\% = 1,00\%$$

$$\Delta u_{tot} = \Delta u + \Delta u_{_syöttö} = 1,00\% + 0,35\% = 1,35\% \approx 1,4\%$$

Muiden kaapeleiden jännitteenalenemia koskevat laskut on esitetty liitteessä 6.

5.5 Laskentatulokset ja niiden vertaileminen

Laskelmien tekemisen jälkeen oli vuorossa tulosten vertaileminen, jossa laskemalla saatuja tuloksia verrattiin FebDokin antamiin tuloksiin.

5.5.1 Oikosulkuvirrat

Laskemalla saadut oikosulkuvirrat ja FebDokin antamat oikosulkuvirrat taulukoitiin kolmeen erilliseen taulukkoon. Ensimmäinen taulukko 5 pitää sisällään suurimmat kolmivaiheiset oikosulkuvirrat, taulukko 6 suurimmat yksivaiheiset oikosulkuvirrat ja taulukko 7 pienimmät yksivaiheiset oikosulkuvirrat. Taulukossa ilmoitettu prosentuaalinen ero koskee lasketun tuloksen ja FebDokin antaman tuloksen välistä eroa.

Niitä oikosulkuvirtoja omakäyttökeskuksen pääkiskostossa kun omakäyttömuuntaja OKM1 syöttää verkkoa ei ole taulukoitu. Näitä arvoja tarvittiin vain OKM1:sen takana olevan Masterpact NW12H1 -katkaisimen suojalaitteen säätöjen asetteluun, eikä niitä vertailtu FebDokissa saatuihin arvoihin.

Taulukko 5. Suurimmat kolmivaiheiset oikosulkuvirrat OKM2:sen syöttäessä verkkoa

	Ik3max [kA ja %]			
	Laskettu	FebDok	Ero	Excel
OKM2 -> OKK1	9,472	9,511	-0,4	9,408
<i>Läh-1: Varamagnetointi</i>	–	–	–	
Läh-2: 1G.MK1	8,392	8,528	-1,6	8,703
Läh-3: Säätöastepato	7,176	7,014	2,3	7,674
Läh-4: Luukkusalai	7,691	7,843	-1,9	8,166
<i>Läh-5: Vara</i>	–	–	–	–
Läh-6: Konesalin nosturimoott. 5	6,768	6,957	-2,7	7,225
Läh-7: Konttorin ryhmäkeskus	5,620	5,178	8,5	5,620
Läh-8: Sähkökattila R1 ja R2	5,119	5,522	-7,3	6,052
<i>Läh-9: Vara</i>	–	–	–	–
<i>Läh-10: Vara</i>	–	–	–	–
Läh-11: PRK9 ja 10	3,720	4,061	-8,4	4,345
Läh-12: PRK6, 7 ja 8	4,244	4,675	-9,2	4,971
Läh-13: Korjaamon keskus	6,134	6,576	-6,7	7,082
Läh-14: 2G.MK1	7,231	7,436	-2,8	7,904
Läh-15: Turbiinitason keskus	7,771	7,952	-2,3	8,166
Läh-16: Ohjaamon JK	7,135	7,311	-2,4	7,674
<i>Läh-17: Vara</i>	–	–	–	–
Läh-18: Pohjavesikaivon pumppu	2,786	3,145	-11,4	3,248
Läh-19: Kytkinlaitos	2,689	2,805	-4,1	2,887
<i>Läh-20: Vara</i>	–	–	–	–
Läh-21: PRK1, 2 ja 3	3,895	4,306	-9,5	4,564
Läh-22: PRK4 ja 5	3,457	3,781	-8,6	4,078
Läh-23: 110kV kytkinkenttä, 10 kV kojeisto	2,661	2,805	-5,1	2,858
<i>Läh-24: Vara</i>	–	–	–	–
Läh-25: Pienjakelu	~9,472	9,466	–	–

Taulukko 6. Suurimmat yksivaiheiset oikosulkuvirrat OKM2:sen syöttäessä verkkoa

	Ik1max [kA ja %]		
	Laskettu	FebDok	Ero
OKM2 -> OKK1	7,778	7,578	2,6
<i>Läh-1: Varamagnetointi</i>	–	–	–
Läh-2: 1G.MK1	6,899	6,423	7,4
Läh-3: Säännöstelypato	5,530	4,876	13,4
Läh-4: Luukkusali	6,030	5,704	5,7
<i>Läh-5: Vara</i>	–	–	–
Läh-6: Konesalin nosturimoott. 5	4,939	4,832	2,2
Läh-7: Konttorin ryhmäkeskus	2,834	3,229	-12,2
Läh-8: Sähkökattila R1 ja R2	3,650	3,495	4,4
<i>Läh-9: Vara</i>	–	–	–
<i>Läh-10: Vara</i>	–	–	–
Läh-11: PRK9 ja 10	2,312	2,392	-3,3
Läh-12: PRK6, 7 ja 8	2,402	2,843	-15,5
Läh-13: Korjaamon keskus	4,312	4,413	-2,3
Läh-14: 2G.MK1	5,613	5,270	6,5
Läh-15: Turbiinitason keskus	6,034	5,806	3,9
Läh-16: Ohjaamon JK	5,373	5,171	3,9
<i>Läh-17: Vara</i>	–	–	–
Läh-18: Pohjavesikaivon pumppu	1,427	1,774	-19,6
Läh-19: Kytkinlaitos	1,359	1,611	-15,6
<i>Läh-20: Vara</i>	–	–	–
Läh-21: PRK1, 2 ja 3	2,116	2,574	-17,8
Läh-22: PRK4 ja 5	2,092	2,198	-4,8
Läh-23: 110kV kytkinkenttä, 10 kV kojeisto	1,360	1,611	-15,6
<i>Läh-24: Vara</i>	–	–	–
Läh-25: Pienjakelu	–	–	–

Taulukko 7. Pienimmät yksivaiheiset oikosulkuvirrat OKM2:sen syöttäessä verkkoa

	Ik1min [kA ja %]			
	Laskettu	FebDok	Ero	Excel
OKM2 -> OKK1	7,389	7,049	4,8	7,248
<i>Läh-1: Varamagnetointi</i>	–	–	–	–
Läh-2: 1G.MK1	6,554	5,755	13,9	6,422
Läh-3: Säännöstelypato	5,253	4,217	24,6	5,221
Läh-4: Luukkusali	5,729	5,051	13,4	5,661
<i>Läh-5: Vara</i>	–	–	–	–
Läh-6: Konesalin nosturimoott. 5	4,692	4,188	12,0	4,615
Läh-7: Konttorin ryhmäkeskus	2,693	2,601	3,5	2,683
Läh-8: Sähkökattila R1 ja R2	3,468	2,825	22,8	3,651
<i>Läh-9: Vara</i>	–	–	–	–
<i>Läh-10: Vara</i>	–	–	–	–
Läh-11: PRK9 ja 10	2,196	1,884	16,6	2,383
Läh-12: PRK6, 7 ja 8	2,282	2,269	0,6	2,825
Läh-13: Korjaamon keskus	4,096	3,671	11,6	4,615
Läh-14: 2G.MK1	5,333	4,562	16,9	5,233
Läh-15: Turbiinitason keskus	5,732	5,127	11,8	5,574
Läh-16: Ohjaamon JK	5,105	4,519	13,0	5,062
<i>Läh-17: Vara</i>	–	–	–	–
Läh-18: Pohjavesikaivon pumppu	1,355	1,376	-1,5	1,690
Läh-19: Kytkinlaitos	1,291	1,305	-1,1	1,288
<i>Läh-20: Vara</i>	–	–	–	–
Läh-21: PRK1, 2 ja 3	2,010	2,041	-1,5	2,534
Läh-22: PRK4 ja 5	1,987	1,723	15,3	2,206
Läh-23: 110kV kytkinkenttä, 10 kV kojeisto	1,292	1,305	-1,0	1,266
<i>Läh-24: Vara</i>	–	–	–	–
Läh-25: Pienjakelu	~7,389	6,929	–	–

Suurimpien kolmi- ja yksivaiheisten oikosulkuvirtojen kohdalla tuloksien erot eivät ole prosentuaalisesti erityisen huomattavia muutamaa lähtöä lukuun ottamatta. Kolmivaiheisissa oikosulkuvirroissa suurimpia eroja esiintyi niiden lähtöjen kohdalla, joissa käytettiin pienemmän halkaisijoiden kaapeleita. Kaksivaiheisten oikosulkuvirtojen erojen kohdalla tilanne on päinvastainen ja erot ovat suurimpia niiden lähtöjen kohdalla, joissa käytetään suurempia kaapeleita. Pienien yksivaiheisten oikosulkuvirtojen kohdalla eroja alkaa olla tulosten kesken prosenteissa erityisen paljon, mutta siihen ei ole havaittavissa selvää systemaattista syytä.

Suurien eroavaisuuksien takia päätettiin oikosulkuvirrat laskea vielä kolmannella tavalla. Apuna käytettiin Internetistä ladattua Excel-taulukkoa oikosulkuvirtojen laskentaan. Ohjelma käyttää laskentakaavoina standardin IEC 60909-0 kaavoja, jotka ovat samoja kuin laskentateoriassa esitetyt. Excel-taulukossa valittiin verkkoa syöttävä muuntaja ja syötettiin vikapaikkaan vaikuttavien kaapeleiden pituudet metreissä, jolloin Excel-taulukko kertoi vikapaikassa olevan kolmi- ja yksivaiheisen oikosulkuvirran. Taulukolla saadut kolmi- ja yksivaiheiset oikosulkuvirrat taulukoitiin (taulukko 5 ja 7) omiin sarakkeisiin.

Taulukolla saadut oikosulkuvirrat eroavat hieman lasketuista tuloksista. Suurissa kolmivaiheisissa oikosulkuvirroissa erot ovat suurempia kuin mitä pienissä yksivaiheisissa oikosulkuvirroissa. Kolmivaiheisissa oikosulkuvirroissa eroa syntyy jo eriävän laskentakaavan takia, koska taulukko käyttää muuntajan impedanssin laskemiseen muuntajan resistanssia ja reaktanssia kun taas laskelmissa se on muodostettu muuntajan kolmivaiheisestä oikosulkuvirrasta.

Sysäysoikosulkuvirtojen osalta vertailtavia tuloksia ei ole, koska suunnitteluohjelman ei niitä arvoja laske. Laskemalla saadut sysäysoikosulkuvirrat on esitetty taulussa 8.

Taulukko 8. Sysäysoikosulkuvirrat OKM2:sen syöttäessä verkkoa

	ip [kA]
	Laskettu
OKM2 -> OKK1	18,989
<i>Läh-1: Varamagnetointi</i>	–
Läh-2: 1G.MK1	16,243
Läh-3: Säätöstelypato	13,231
Läh-4: Luukkusal	14,460
<i>Läh-5: Vara</i>	–
Läh-6: Konesalin nosturimoott. 5	12,320
Läh-7: Konttorin ryhmäkeskus	8,388
Läh-8: Sähkökattila R1 ja R2	9,221
<i>Läh-9: Vara</i>	–
<i>Läh-10: Vara</i>	–
Läh-11: PRK9 ja 10	6,454
Läh-12: PRK6, 7 ja 8	7,429
Läh-13: Korjaamon keskus	11,275
Läh-14: 2G.MK1	13,477
Läh-15: Turbiinitason keskus	14,696
Läh-16: Ohjaamon JK	13,155
<i>Läh-17: Vara</i>	–
Läh-18: Pohjavesikaivon pumppu	4,706
Läh-19: Kytkinlaitos	4,266
<i>Läh-20: Vara</i>	–
Läh-21: PRK1, 2 ja 3	6,748
Läh-22: PRK4 ja 5	5,949
Läh-23: 110kV kytkinkenttä, 10 kV kojeisto	4,217
<i>Läh-24: Vara</i>	–
Läh-25: Pienjakelu	–

5.5.2 Jännitealenema

Laskemalla saadut ja FebDokin ilmoittamat jännitealenemat on taulukoitu taulukoon 9. Jännitealenemat ovat varsin lähellä toisiaan paria lähtöä lukuun ottamatta. Tärkein asia tuloksissa on kuitenkin se, ettei yhdessäkään lähdössä jännitealenema ylitä prosentuaalisesti kahden prosentin rajapyykkiä, joka on asetettu tavoite.

Jännitealenemia koskevat laskelmat on esitetty liitteessä 6.

Taulukko 9. Jännitealanenema OKM2:sen syöttäessä verkkoa.

	Uhv [%]	
	Laskettu	FebDok
OKM2 -> OKK1	0,4	0,4
<i>Läh-1: Varamagnetointi</i>	–	–
Läh-2: 1G.MK1	0,6	0,7
Läh-3: Säätöstelypato	1,4	1,8
Läh-4: Luukkusali	1,0	1,1
<i>Läh-5: Vara</i>	–	–
Läh-6: Konesalin nosturimoott. 5	1,4	1,6
Läh-7: Konttorin ryhmäkeskus	1,4	1,5
Läh-8: Sähkökattila R1 ja R2	0,9	1,1
<i>Läh-9: Vara</i>	–	–
<i>Läh-10: Vara</i>	–	–
Läh-11: PRK9 ja 10	1,6	1,8
Läh-12: PRK6, 7 ja 8	1,6	1,8
Läh-13: Korjaamon keskus	0,9	1,0
Läh-14: 2G.MK1	0,9	1,0
Läh-15: Turbiinitason keskus	1,3	1,4
Läh-16: Ohjaamon JK	1,2	1,4
<i>Läh-17: Vara</i>	–	–
Läh-18: Pohjavesikaivon pumppu	1,5	1,8
Läh-19: Kytkinlaitos	1,7	1,9
<i>Läh-20: Vara</i>	–	–
Läh-21: PRK1, 2 ja 3	1,8	2,0
Läh-22: PRK4 ja 5	1,7	2,0
Läh-23: 110kV kytkinkenttä, 10 kV kojeisto	1,7	1,9
<i>Läh-24: Vara</i>	–	–
Läh-25: Pienjakelu	<i>Sama kuin OKK1</i>	

5.6 Tulosten eroavaisuuksien tarkastelu

Laskemalla ja FebDokilla saatujen tulosten erojen ollessa merkittäviä oli siihen vaikuttavien seikkojen miettiminen ja selvittäminen paikallaan. Laskentatuloksissa esiintyvien erojen aiheuttajista on vaikea tehdä yksiselitteisiä päätelmiä, mutta syynä voidaan pitää muutamia syitä.

Esimerkiksi ohjelman asetukset saattavat aiheuttaa eroja, koska vaikka ohjelma osaa tarjota apua ja vaihtoehtoja suunnittelijalle on se itsepäinen tai toisin sanoen ohjelmoitu toimimaan tietyllä tavalla joidenkin asioiden suhteen. Esimerkiksi järjestelmän tietoja, kuten taustaverkon tai muuntajan tietoja muuttaessa on mahdollista ottaa käyttöön ”ke-

hittynyt näyttö” -toiminto, joka mahdollistaa ohjelman käyttämien resistanssien ja reaktanssin muuttamista. Näiden tietojen muuttaminen on hyvin rajattua, koska ohjelmalle on ennalta määritelty laskentakaavat, joita se käyttää joidenkin arvojen laskemiseen automaattisesti. Suunnittelijalla ei ole erityisemmin valtaa muuttaa arvoja haluamaansa suuntaan, koska yhden arvon muuttamisen myötä ohjelma laskee itse automaattisesti muut arvot, jolloin haluttuja arvoja ei mahdollisesti saada.

FebDokin käyttämät edellisen verkon arvot on nähtävissä FebDokista tulostetun dokumentin (liite 14) päätiedoissa eli sivuilla 2–3. Kyseiset arvot poikkeavat laskemalla saaduista arvoista ja suunnitteluohjelma käyttää vielä erikseen suurta ja pienempää arvoa, jonka muodostumista tai käyttötarkoitusta ei voitu selvittää.

5.7 Selektiivisyys ja suojalaitteiden asettelu

Jokaisen verkossa olevan katkaisimen selektiivisyys tarkistettiin FebDokissa olevan toiminnon avulla, joka mahdollistaa suojalaitteiden asettelun ja kahden peräkkäisen suojalaitteen selektiivisyyden tarkistamisen. Muuntajien perässä olevat Masterpact NW -katkaisimet ovat katkaisijoiden valmistajan Schneider Electricin mukaan selektiivisiä omakäyttökeskuksessa olevien Compact NSX -katkaisijoiden kanssa. Ainoa mikä katkaisijoiden väliseen selektiivisyyteen voi vaikuttaa on Micrologic -suojalaitteiden asetukset.

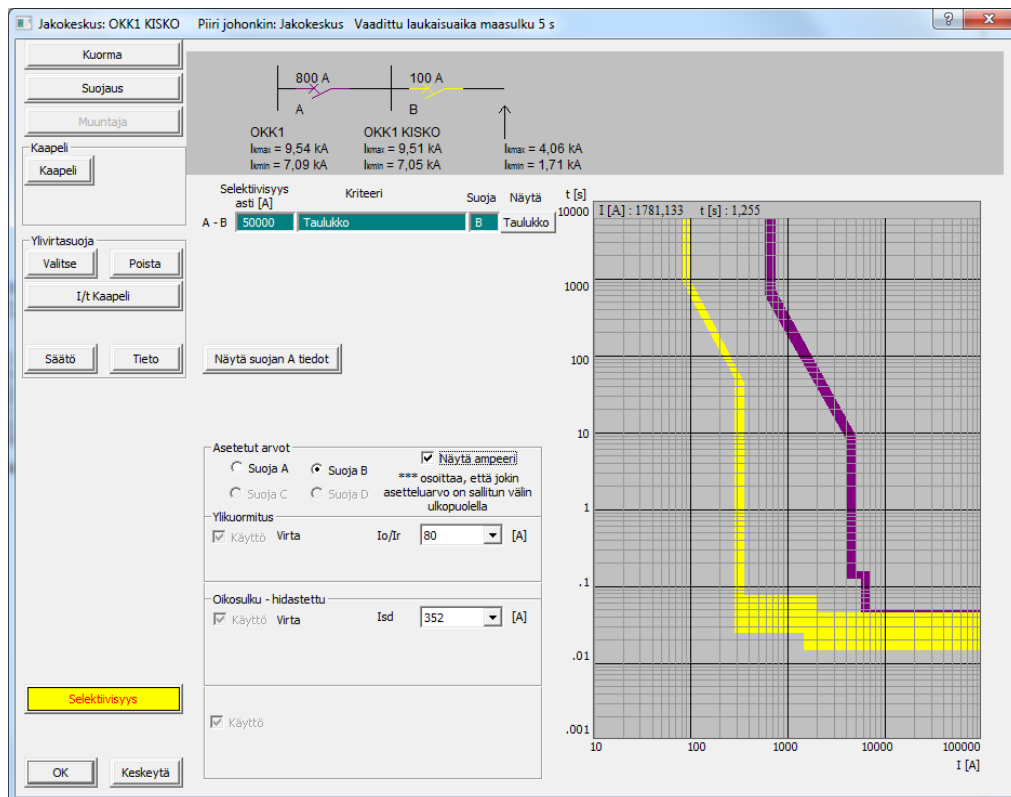
FebDok ei ilmoita tai varoita suunnittelijalle suoraan milloin selektiivisyyttä tarkasteltaessa katkaisimet eivät ole selektiivisiä toisiinsa nähden. Tämän vuoksi suunnittelijalta on löydettävä tietoa osata tulkita katkaisijoiden laukaisukäyriä ja havaittava milloin katkaisijat eivät ole selektiivisiä (kuva 21). FebDok osaa kuitenkin varoittaa jos laukaisuaika ylittää suositun rajan.

Suojalaitteiden asettelut tehtiin sen tilanteen mukaan, jossa omakäyttömuuntajista heikompi eli OKM2 syöttää verkkoa. Tällä varmistetaan, että verkon suojaus toimii myös poikkeustilanteessa, jolloin varasyöttö syöttää verkkoa. Suojalaitteen asettelu tehtiin myös OKM1:sen takana olevan Masterpact NW12H1 -katkaisimelle, jolloin myös normaalitilanteessa verkko olisi selektiivinen.

Selektiivisyyden tarkistamisessa käytettiin katkaisijoiden valmistajan eli Schneider Electricin kotisivuilta löytyvää WWW-selaimessa toimivaa ohjelmaa, johon syötetään kahden tarkasteltavan katkaisijan tiedot ja niiden suoja-asettelut (kuva 22). Ohjelma näyttää kuvaajassa molempien katkaisijoiden laukaisukäyrät ja kertoo ovatko katkaisijat selektiivisiä toisiinsa nähden. Valmistajan ohjelmalla tehdyt selektiivisyyden tarkistukset kun omakäyttömuuntaja OKM2 syöttää verkkoa on esitetty liitteessä 16.

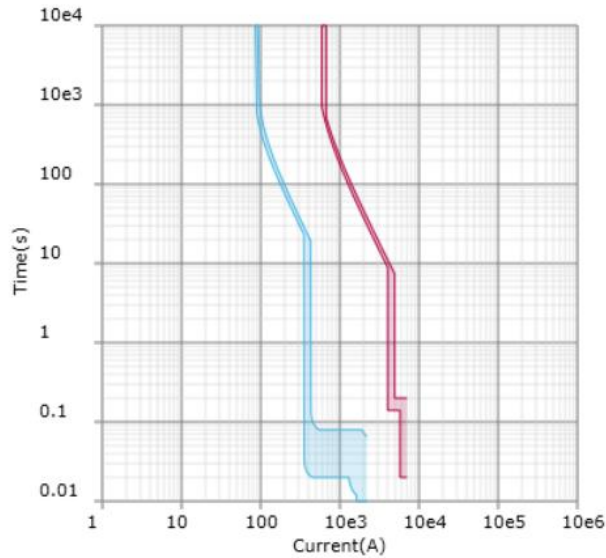
Katkaisijoissa oleviin Micrologic -suojareleisiin oli mahdollista syöttää seuraavanlaiset tiedot:

- ylivirtasuoja I_r
- ylivirtasuojan viive t_r (vain Masterpact NW -katkaisijoiden yhteydessä)
- oikosulkusuoja I_{sd}
- oikosulkusuojan viive t_{sd} (vapaaehtoinen, vain Masterpact NW -katkaisijoiden yhteydessä)
- pikalaukaisu I_i (vain Masterpact NW -katkaisijoiden yhteydessä).



Kuva 21. 11. lähdön selektiivisyyden tarkastelu

Discrimination status : Total Discrimination



	Downstream protection	Upstream protection
Name	NSX100N Micrologic 2.2 - 100 A	NW08H1 Micrologic 5.0 A - 800 A
Range	Compact NSX	Masterpact NW
Designation	NSX100N	NW08H1
Circuit breaker rating	100 A	800 A
Trip unit	Micrologic 2.2	Micrologic 5.0 A
Trip unit rating	100 A	800 A
Long delay settings		
Ir	78.4 A	560 A
Tr	16 s	16 s
Short delay settings		
I _{sd}	392 A	4480 A
T _{sd}	0.02 s	0.2 s
Instantaneous tripping		
I _i	1500 A	6400 A

Kuva 22. 11. lähdön selektiivisyys tarkasteltuna valmistajan ohjelmalla

5.7.1 Suojalaitteiden arvojen määrittely

Edellä mainittuja asetelutietoja aseteltaessa käytettiin muutamia nyrkkisääntöjä arvojen määrittelyssä, jotta voitiin määritellä sopivat asetukset suojalaitteille. Ensinnäkin ylivirtasuojaa aseteltiin piirissä olevan kuormavirran mukaan, joko kuormavirran suuruiseksi tai sitä hieman pienemmäksi. Isompien Masterpact NW -katkaisijoiden ylivirtasuojan virraksi FebDok antoi asettaa vain 0,7 kertaa katkaisimen kokonaiskestovirta, joka on Masterpact NW08H1 -katkaisimessa täten 560 A ja Masterpact NW12H1 -katkaisimessa 875 A.

Ylivirtasuojan viive oli mahdollista asettaa vain Masterpact NW -katkaisijoiden suojalaitteisiin ja se aseteltiin siten, että selektiivisyys perässä olevien katkaisijoiden kanssa säilyy. Molempiin katkaisijoihin se asetettiin 16 sekunttiin.

Oikosulkusuojan asettamisessa noudatettiin nyrkkisääntöä, että sen suuruus olisi noin 3–4 kertainen ylivirtasuojaan nähden. Oikosulkusuojan viive oli vapaaehtoisesti asetettava arvo, mutta se päätettiin asettaa, koska ilman sitä katkaisimet eivät ole selektiivisiä. Ylivirtasuojan viiveen tavoin se on mahdollista asettaa vain Masterpact NW -katkaisijoiden suojalaitteisiin ja se aseteltiin molempien katkaisijoiden suojalaitteissa 0,2 sekuntiin.

Pikalaukaisun arvo oli mahdollista asettaa vain Masterpact NW -katkaisijoiden suojalaitteisiin. Se aseteltiin lähelle pienintä katkaisijälähdön päässä olevaa oikosulkuvirtaa.

Näin Masterpact NW -katkaisijoiden suojalaitteille saatiin seuraavat asetusarvot:

- Masterpact NW08H1
 - $I_r = 0,7$ (560 A)
 - $t_r = 16$ s
 - $I_{sd} = 5$ (3 080 A)
 - $t_{sd} = 0,14$ s
 - $I_i = 8$ (7 040 A)
- Masterpact NW12H1
 - $I_r = 0,7$ (875 A)
 - $t_r = 16$ s
 - $I_{sd} = 8$ (7 000 A)
 - $t_{sd} = 0,14$ s
 - $I_i = 8$ (12 500 A)

Compact NSX -katkaisijoiden suojalaitteisiin määritellyt asetukset löytyvät FebDokin vaihtosähköverkosta työstämän dokumentin (liite 14) kappaleessa ”suojalaitteasetukset” ja laukaisukäyrät löytyvät kappaleesta ”selektiivisyysanalyysi”.

6 VESIVOIMALAITOKSEN TASASÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Tässä luvussa käsitellään Pankakosken vesivoimalaitoksen 110 V tasasähköverkon eli tasasähköjärjestelmän rakennetta ja siitä tehtyä verkkomallinnusta ja sitä koskevia laskelmia.

Luvussa myös perustellaan verkon mallinnuksessa tehtyjä poikkeavuuksia alkuperäisistä suunnitelmista sekä vertaillaan laskemalla saatuja verkon arvoja suunnitteluohjelman ilmoittamiin arvoihin.

6.1 Verkon rakenne

Vesivoimalaitoksen 110 V:n tasasähköjärjestelmä muodostuu useasta tasasähkökeskuksesta. Näistä tärkeimmät ovat koneaseman yläkerrassa oleva TAK, omakäyttömuuntajan OKM2:sen kanssa samassa tilassa oleva TAK2 ja kytkinlaitoksessa oleva TAK. Muita järjestelmissä olevia keskuksia ovat TAK1 ja valvomon DC-keskus. Verkon pääkaavio on esitetty liitteessä 8.

Tärkeimpien keskuksien sähkön syöttö tulee omakäyttöjärjestelmästä tai varasyöttönä keskuksien yhteydessä olevista paristoista. Koneaseman TAK saa syöttönsä konttorissa olevasta ryhmäkeskuksesta, TAK2 saa syöttönsä suoraan omakäyttökeskuksesta OKK1 ja kytkinlaitoksen TAK saa syöttönsä kompressorihuoneen ryhmäkeskuksesta.

Koneaseman TAK:n ja TAK2:n tehtävänä on syöttää tasasähköä konesalissa olevien I ja II koneen laitteistolle. Valvomossa oleva DC-keskus syöttää varavalaistusta ja valvomon laitteistoja, kuten ohjaustauluja ja koestuspöytää. Kytkinlaitoksessa oleva tasasähkökeskus syöttää sähköä kytkinlaitoksen laitteistolle. Luukkusalin keskus syöttää sähköä patoluukkujen toiminnoille.

6.1.1 Tasasähkökeskukset

Jokaisessa omakäyttöjärjestelmästä sähkönsä saavassa tasasähkökeskuksessa on tasasuuntaaja, jolla omakäyttöjärjestelmästä tuleva 400 V vaihtosähkö muunnetaan 110 V

tasasähköksi. Nämä syötöt on suojattu kahvasulakkeilla, joiden koko on 35 tai 85 A. Tätä syöttöä sekä paristoilta tulevaa varasyöttöä ohjataan 250 A:n kuormakytkimillä. Ennen keskusta on vielä yksi 250 A:n kuormakytkin, jolla voidaan katkaista keskuksen oma sähkön syöttö, jolloin sähköä otetaan muilta tasasähkökeskuksilta.

6.1.2 Paristot

Koneaseman tasasähkökeskuksen, kytkinlaitoksen tasasähkökeskuksen ja tasasähkökeskus TAK2:sen yhteydessä tai lähettyvillä on myös paristot, jotka mahdollistavat sähkön saannin jos omakäyttöjärjestelmä ei kykene syöttämään sähköä. Koneaseman ja kytkinlaitoksen tasasähkökeskusten paristoina käytetään MIDAC OPzS Blocks -sarjan 6/200 tai 12/100 paristoja (kuva 23). Paristoja on yhtä keskusta kohden noin 18 kappaletta ja niiden muodostama jännite on 108 V ja ampeerituntien määrä on 200.



Kuva 23. Tasasähköjärjestelmässä käytettäviä MIDAC OPzS Blocks -paristoja. (MIDAC OPzS katalogi, hakupäivä 9.4.2013>

6.2 Tasasähkökeskus TAK2

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin enemmän tasasähkökeskukseen TAK2, koska se on tasasähkökeskuksista ainoa, joka tullaan uusimaan voimalaitoksen korjauksen aikana.

Syöttönsä TAK2 saa suoraan omakäyttökeskuksesta, jonka vaihtosähkö muunnetaan tasasuuntaajalla tasasähköksi. TAK2 on keskustyypiltään Mecha-Flexin kennokeskus, kuten oma käyttökeskus.

Keskuksen sähkön saanti on varmistettu Exide Technologies yrityksen Classic 6V OPzS 200 LA -sarjan paristoilla, jotka tuottavat tasasähköä 108 V. Ulkonäöltään ne vastaavat kuvassa 22 esiintyviä MIDAC:n paristoja. Yhden pariston jännite on 6 V, sisäinen resistanssi on 2,68 m Ω ja oikosulkuvirta 2 228 A. Valmistaja on laskenut oikosulkuvirran standardin IEC 896-2 mukaan, jossa oikosulkuvirran laskemiseen käytetty kaava eroaa ST-käsikirja 20:n esittämästä kaavasta oikosulkuvirran laskemiseksi. Paristoja keskuksen viereiseen huoneeseen sijoitetaan 18 kappaletta. Paristojen tarkemmat tiedot on esitetty liitteessä 10.

Paristoja käytettäessä keskus on suojattu kahdella 125 A:n kahvasulakkeella, jotka on asennettu erillisiin koteloihin. Keskuksen paristoja on mahdollista ladata ja purkaa SB 175 Pu -liittimien kautta.

Lähtöjä keskuksessa on kymmenen, joista kolme ovat varalähtöjä. Lähdeillä syötetään sähköä muun muassa 110 kV kentälle, 10 kV kojeistoon ja 2G:n alkumagnetointiin. Yhden 25 A:n lähdön takana on pienjakelu, joka pitää sisällään 20 pienlähtöä, joissa on johdonsuojakatkaisimet. Näiden koot ovat 16, 10 ja 6 A.

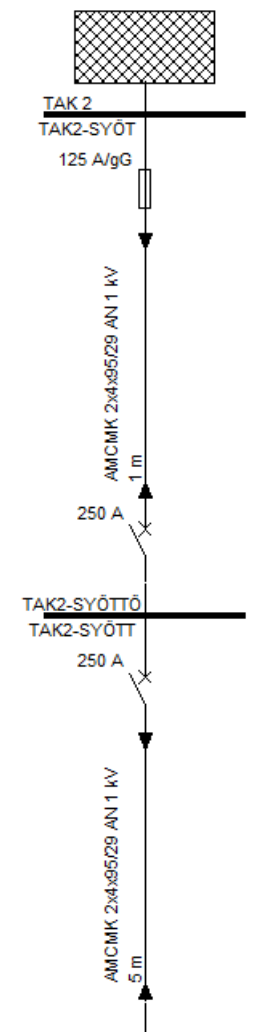
Keskukselle on mahdollista tuoda sähköä myös koneaseman yläkerrassa olevasta tasasähkökeskuksesta. Tätä yhteyttä varten TAK2:ssa on 250 A:n katkaisin.

Tasasähkökeskuksen TAK2:sen pääkaavio on esitetty liitteessä 9.

6.3 Mallintaminen suunnitteluohjelmalla

Ensimmäisenä FebDokissa piti määrittää laitteiston perustiedot. Verkon jakelujärjestelmäksi valittiin DC ja järjestelmäjäännitteeksi 108 V. Jakelujärjestelmäksi ei valita verkossa olevaa IT-jakelujärjestelmää, koska tuolloin ohjelma tulkitsee sen vaihtosähköverkoksi. Edeltävästä verkosta ohjelma haluaa tietää vain suurimman ja pienimmän oikosulkuvirran, jotka aseteltiin arvoon 2 282 A eli oikosulkuvirta, jonka paristot syöttävät.

Asetusten jälkeen verkkoa lähdettiin mallintamaan ja ensimmäisenä syöttöpäähän asetettiin 125 A:n kahvasulake, joka toimii oikosulkusuojana sekä 250 A:n katkaisija, joka toimii ylikuormasuojana. Näiden perään tulee vielä yksi 250 A:n katkaisija ennen TAK2:sen kiskostoa. Komponentteina jouduttiin käyttämään ABB:n 250 A:n SACE -katkaisijoita, koska ABB:n 250 A:n OT250E03WP -kuormakytkimiä ei löytynyt FebDokin laitetietokannasta. Mallinnettu syöttö on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Mallinnettu syöttö

6.3.1 Lähdöt

Ensimmäisenä tasasähkökeskuksen kiskostoa mallintaessa huomattiin, ettei FebDokin tuotevalikoimasta löydy keskuksen tulevia OFAF kahvasulakkeita, joten ne korvattiin

ohjelmasta löytyvillä samansuuruisilla IEC -kahvasulakkeilla. Lähtöihin tulee kahvasulakkeita kooltaan 25 tai 50 A. Kahvasulakkeet on asennettu ABB:n OS-sarjan 63 ja 125 A:n kytkinvarokkeisiin (kuva 25), mutta niiden olemassa oloa ei ohjelman mallinnuksessa huomioida. Jokaisessa lähdössä on myös 2 A:n johdonsuojakatkaisimen takana oleva rele, joka sytyttää merkinlampun merkiksi lähdön syötön päällä olemisesta, mutta niitä ei lisätty mallinnukseen.



Kuva 25. ABB:n OS 125GD -kytkinvarokkeita (ABB Oy, Kytkinvarokkeet OS ja OSM -esite, hakupäivä 9.4.2013)

Keskuksesta lähtevillä lähdöillä syötetään muun muassa sähköä 1KT3:sen ja 2KT3:sen ohjaus jakeluun sekä 2G:n alkumagnetointiin.

6.3.2 Pienjakelu

Pienjakelussa käytettävät johdonsuojakatkaisimet ovat Schneider Electricin C60H DC -johdonsuojakatkaisijoita, jotka ovat kaksinapaisia ja tasasähköverkkoon soveltuvia. Pienjakelulähtöihin ei tässä opinnäytetyössä sen suuremmin puututtu vaan ne mallinnettiin pelkästään ohjelmaan valmiiksi.

6.4 Kaapelit

TAK2:sen lähtöjen kaapeleiden pituudet selvitettiin samoista voimalaitoksen piirustuksista, joita käytettiin vaihtosähköpuolen omakäyttökeskuksen lähtöjen kaapeleiden pituuksien mittaamiseen. Kaapeleiksi valittiin pääosin kaapelit, joissa on alumiiniset johdotimet. Yhteen pitkään lähtöön täytyi kuitenkin valita kaapeli, jossa on kuparijohtimet.

Taulukossa 10 on taulukoituna TAK2:sen lähtöjen kaapeleiden pituudet ja kaapeleiden tyyppi.

Taulukko 10. Tasasähkökeskus TAK2:sen lähdöt.

Lähtö	Kuvaus	Pituus [m]	Kaapeli
OKK1	Syöttö keskukselle OKK1:stä	6	AMCMK 4x95/21 AN
LÄH-1	1KT3 ohjausjakelu	33	AMCMK 4x70/16 AN
LÄH-2	2KT3 ohjausjakelu	49	AMCMK 4x95/29 AN
<i>LÄH-3</i>	<i>Vara</i>	<i>Vara</i>	
LÄH-4	02±3 110kV kenttä	340	2x MCMK 4x185/95 AN
LÄH-5	02±7 10kV kojeisto	45	AMCMK 4x95/29 AN
<i>LÄH-6</i>	<i>Vara</i>	<i>Vara</i>	
LÄH-7	2G alkumagnetointi	49	AMCMK 4x95/29 AN
<i>LÄH-8</i>	<i>Vara</i>	<i>Vara</i>	
LÄH-9	Varavalo (varaus)	<i>Vara</i>	
LÄH-10	Pienjakelu	<i>Keskuksessa</i>	<i>Keskuksessa</i>

6.5 Laskelmien tekeminen

Tarvittavien verkon komponenttien ja kaapeleiden tietojen keräämisen jälkeen oli vuorossa verkkoa koskevien laskelmien tekeminen. Ensimmäisenä oli vuorossa paristojen arvojen laskeminen ja sen jälkeen valittujen kaapeleiden arvojen kerääminen ja lähtökohtaisten arvojen laskeminen. Viimeisenä laskettiin verkossa muodostuvat oikosulkuvirrat ja jännitteenalenemat.

6.5.1 Paristot

Paristojen syöttämä jännite oli jo etukäteen tiedossa, mutta sekin tietenkin varmistettiin laskemalla. Paristojen sisäinen resistanssi ja oikosulkuvirta saatiin paristojen tuotetiedoista, joka on esitetty liitteessä 10.

Paristojen muodostama kokonaisjännite ja sisäinen resistanssi saatiin laskettua kertomalla niiden arvot yhtä paristoa kohden paristojen kokonaislukumäärällä eli 18 kappaletta. Paristojen ollessa sarjalla voidaan niiden muodostaman kokonaisuikosulun olevan yksittäisen pariston muodostaman oikosulun suuruinen.

Pariston arvoja koskevat laskelmat on esitetty liitteessä 11.

6.5.2 Kaapelit

Kaapeleissa oli huomioitava, ettei kaapeleiden reaktanssiarvoja oteta huomioon ja samoin myös FebDok on asettanut niiden arvot nolaksi. Käytettävistä kaapeleista kerättiin tarvittavat resistanssiarvot ja niiden mukaan laskettiin lähtökohtaiset kaapelitiedot sitä mukaan kuinka monta ja kuinka pitkä kaapeli lähtöön tulee.

Kaapeleita koskevat laskelmat on esitetty liitteessä 11.

6.5.3 Oikosulkuvirrat

Oikosulkuvirtojen laskeminen aiheutti tässä opinnäytetyössä ongelmia, koska tasasähköverkon laskelmien tekeminen ei ollut ennestään tuttua. Laskentakaavana käytettiin Ohmin lakiin perustuvaa kaavaa 25, jossa verkossa oleva tasajännite jaetaan kaikilla vikakohtaan vaikuttavilla resistansseilla. Nämä resistanssit voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin resistansseihin. Sisäisellä resistanssilla tarkoitetaan paristojen muodostavaa sisäistä resistanssia ja ulkoisella resistanssilla resistanssia, joka syntyy verkossa olevista komponenteista ja kaapeleista.

Oikosulkuvirtojen laskelmat on esitetty liitteessä 12.

6.5.4 Jännitteenalenemat

Verkossa esiintyvien jännitteenalenemien laskemiseen käytettiin kaavaa 31, jonka mukaisesti jännitteenalenema laskettiin kertomalla kaapelissa oleva kuormitusvirta resistanssilla, joka kohdistuu kyseiseen kaapeliin.

Jännitteenalenemien laskelmat on esitetty liitteessä 13.

6.6 Laskentatulokset ja niiden vertaileminen

Laskelmien tekemisen jälkeen tulokset taulukoitiin yhdessä FebDokista saatujen tuloksien kanssa.

6.6.1 Oikosulkuvirrat

Laskemalla saadut oikosulkuvirrat ja FebDokin ilmoittamat oikosulkuvirrat on taulukoitu taulukkoon 11. FebDok antoi ja pienimpänä kaksivaiheisena oikosulkuvirtana, mutta lasketuista oikosulkuvirroista on vain yhdenlaiset arvot. Tämä johtuu siitä, ettei sen asian suhteen päästy selville millä tavoin tai kaavalla FebDok laskee erikseen suurimman ja pienimmän oikosulkuvirran. Päättävissä on, että FebDok käyttää pienimmän oikosulkuvirran laskemiseen pienintä oikosulkuvirtaa, joka on määritetty laitteiston määrittelyssä edeltävän verkon arvoihin. Tämä ei kuitenkaan pelkästään selvennä FebDokin käyttämää menetelmää pienimmän oikosulkuvirran laskemiseen.

Tuloksissa on kuitenkin nähtävissä samansuuruisuutta laskettujen ja FebDokin antamien pienempien oikosulkuvirtojen osalta.

Taulukko 11. Tasasähköverkon oikosulkuvirrat

	Ik [kA]		
	Laskettu	FebDok (min)	FebDok (max)
Paristot -> Kiskosto	2,103	2,170	2,197
Läh-1: 1KT3 ohjausjakelu	1,101	1,126	1,361
Läh-2: 2KT3 ohjausjakelu	1,056	1,131	1,366
<i>Läh-3: Vara</i>	–	–	–
Läh-4: 02±3 110 kV kenttä	1,016	1,096	1,329
Läh-5: 02±3 10 kV kojeisto	1,101	1,177	1,410
<i>Läh-6: Vara</i>	–	–	–
Läh-7: 2G alkumagnetointi	1,056	1,131	1,366
<i>Läh-8: Vara</i>	–	–	–
Läh-9: Varavalo (varaus)	–	–	–
Läh-10: Pienjakelu	~ 2,103	2,158	2,188

6.6.2 Jännitteenalenemat

Tasajänniteverkon jännitteen ollessa pieni syntyy verkossa helposti liian suuria jännitteenalenemia. FebDokissa jännitteenaleneman pitäminen suosituksen rajoissa vaatii miettimistä kaapeleiden osalta, koska esimerkiksi neljännen lähdön kohdalla vaihtoehdot MCMK -kaapelin poikkipinnan kanssa kävivät vähiin. Jännitteenalenemat on taulukoitu taulukkoon 12.

Taulukko 12. Tasasähköverkon jännitteenalenemat

	Uhv [%]	
	Laskettu	FebDok
Paristot -> Kiskosto	0,4	0,3
Läh-1: 1KT3 ohjausjakelu	2,2	2,0
Läh-2: 2KT3 ohjausjakelu	2,4	2,0
<i>Läh-3: Vara</i>	–	–
Läh-4: 02±3 110 kV kenttä	2,5	2,1
Läh-5: 02±3 10 kV kojeisto	2,2	1,9
<i>Läh-6: Vara</i>	–	–
Läh-7: 2G alkumagnetointi	2,4	2,0
<i>Läh-8: Vara</i>	–	–
Läh-9: Varavalo (varaus)	–	–
Läh-10: Pienjakelu	–	–

FebDokin ilmoittamat jännitteenalenemat ovat aika lähellä sallittua 2 %:n rajaa, mutta laskelmissa raja ylittyi joidenkin lähtöjen kohdalla selvästi. 2,5 %:n tuloksia voidaan pitää tarpeeksi siedettävänä jos niitä vertaillaan jännitteenalenemiin, joita syntyy jos käytetään valittuja kaapeleita, jotka ovat yhden koon pienempiä kuin valitut kaapelit. FebDokin mukaan tuolloin jännitteenalenemat alkavat olemaan jo 3,5 % luokkaa, joita ei voida enää pitää siedettävänä.

6.7 Selektiivisyys

Verkon selektiivisyyttä tarkasteltiin FebDokin avulla vaikei mallinnettuun verkkoon saatu valittua oikeita kuormakytкимиä. Tasasähkökeskuksen TAK2:sen lähtöjen kytkinvarokkeiden kokoluokat ovat kuitenkin sitä luokkaa, että niiden pitäisi olla teorian ja järjen mukaisesti selektiivisiä isompien 250 A:n kuormakytkimien kanssa.

Tasasähköverkon komponenttien selektiivisyysanalyysi on nähtävissä FebDokilla tulostetussa dokumentissa, joka on liitteissä (liite 15).

7 KOMPONENTTIEN HUOLTAMINEN

Opinnäytetyöhön sisällytettiin myös verkoissa käytettävien komponenttien huoltamisen tarkastelu. SFS-käsikirja 600-1 kappaleen **34 Huollettavuus** mukaisesti ”*sähköasennusten käyttöiän aikana todennäköisesti toteuttava huollon toteutustapa ja tiheys on arvioitava*”. Odotettavissa olevien huollon laadun ja toistuvuuden lisäksi on otettava huomioon:

- ”*asennuksen käyttöiän aikana odotettavissa olevat kunnossapitotarkastukset ja testaukset sekä huolto- tai korjaustoimenpiteet voidaan tehdä tarkoituksenmukaisella tavalla ja turvallisesti*
- *käytetyt suojausmenetelmät pysyvät toimivina asennuksen käyttöiän ajan*
- *sähkölaitteet ovat sähköasennuksen toimivuuden kannalta riittävän luotettavia asennuksen käyttöiän ajan.*” (SFS-käsikirja 600-1, 83)

7.1 Katkaisimet

Omakäyttökeskuksessa käytettävien Schneider Electricin Masterpact NW -sarjan ja Compact NSX -sarjan katkaisijoiden ennakoivasta huoltamisesta löytyy tietoja valmistajan julkaisemista käyttäjän käsikirjoista. Molemmista katkaisijamalleista löytyy tietoa suositelluista tarkastuksista.

Molempien katkaisijoiden asennusohjeissa mainitut suositeltavat huolto-ohjeet koskevat katkaisijoita, joiden käyttöympäristö on ohjeiden mukainen. Katkaisijoiden käyttäminen optimaalisessa käyttöympäristössä sekä suositeltavien huoltotoimenpiteiden suorittaminen pidentää niiden elinikää.

7.1.1 Masterpact NW

Masterpact NW -sarjan katkaisijoille tehtävät suositellut tarkastukset löytyy käyttäjän käsikirjasta. Käsikirja suosittelee, että katkaisimen toimivuus testataan joka vuosi ja katkaisin tarkastetaan joka toinen vuosi. Aikavälit ja toimitavat on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Masterpact NW -katkaisimien suositeltavat tarkastukset. (Masterpact NW käyttäjän käsikirja, hakupäivä 10.4.2013)

Suositeltavat tarkastukset	
Aikaväli	Toimitapa
Joka vuosi	<ul style="list-style-type: none"> • Avaa ja sulje katkaisija ja etäohjattava sekä testaa kaikki mekaaniset ja sähköiset lisävarusteet. • Testaa muut toiminnot. • Testaa suojareleen käyttämällä minitesti-pakkausta.
Joka toinen vuosi tai suojareleen käyttölaskimen osoittaessa 100	<ul style="list-style-type: none"> • Tarkista sammutuskammiot. • Tarkista pääkoskettimet. • Tarkista pulttiliitosten momentti. • Tarkista liitäntöjen kireysaste.

7.1.2 Compact NSX

Compact NSX -sarjan katkaisijoilla suositeltavat huoltotoimenpiteet on jaoteltu kolmeen luokkaan, joiden aikaväli on yksi, kaksi ja viisi vuotta. Tehdessä isomman tason huoltotoimenpidettä on samalla suoritettava myös alempien tasojen huoltotoimenpiteet. Huoltojen aikavälit ja tehtävät toimenpiteet on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Compact NSX -katkaisimien suositeltavat tarkastukset. (Compact NSX100 - 630 user manual, hakupäivä 10.4.2013)

Level	Maintenance interval	Maintenance operations
Level II	1 year	Visual inspection and functional testing, replacement of faulty accessories.
Level III	2 years	As for level II + servicing operation and subassembly tests.
Level IV	5 years	As for level III + diagnostics and repairs (by Schneider Electric Services).
The intervals stated are for normal environmental and operating conditions.		

Käsikirjan mukaan tarkastuksia voidaan tehdä harvemmin jos käyttöympäristön olosuhteet ovat suosiolliset. Esimerkiksi Level III tarkastukset voidaan suorittaa kolmen vuoden välein. Tarkastuksia on tehtävä lyhyemmällä aikavälillä jos yksikin käyttöympäristön olosuhteen ehdoista ylittää ohjeiden suositukset. (Compact NSX100 - 630 user manual, hakupäivä 10.4.2013. <<http://ecatalogue.schneider-electric.fi/>>)

Käsikirja suosittelee myös testaamaan katkaisimen etäkatkaisutoimintaa säännöllisin väliajoin, kuten puolen vuoden välein. (Compact NSX100 - 630 user manual, hakupäivä 10.4.2013. <<http://ecatalogue.schneider-electric.fi/>>)

8 DOKUMENTOINTI

Yksi opinnäytetyön tavoitteista oli selvittää standardien avulla mitä tiedot ovat välttämättömiä raportoinnin kannalta. Tämän avulla tiedetään mitä tietoja FebDokista tulisi tulostaa dokumentointia varten.

Tämä kappale pitää sisällään tietoa siitä, että mitä vaatimuksia standardi on asettanut dokumentoinnille. Tässä kappaleessa käsitellään myös FebDokilla luotuja dokumentteja.

8.1 Dokumentoinnin vaatimukset

Tietoa vaatimuksista löytyi standardin SFS 6000-5-51 kappaleesta **514.5 Piirustukset**.

Standardin mukaan ensinnäkin piirustuksissa on käytettävä: *"standardien SFS-EN 61082 ja SFS-EN 81346 mukaan laadittuja kaavioita, piirustuksia ja taulukoita, joista ilmenee erityisesti seuraavat tiedot:*

- *virtapiirien laji ja rakenne (kulutuspisteiden sijainti, johtimien lukumäärä ja koko, johtolaji, johtojen tyypit), sekä*
- *tiedot, joiden avulla suoja-, kytkin- ja erotuslaitteiden ominaisuudet ja niiden sijainti voidaan tunnistaa.*

Yksinkertaisista asennuksista voivat edellä mainitut tiedot olla luettelomuodossa." (SFS 6000-5-51)

Standardissa kerrotaan myös, kuinka *"dokumenttien tulee sisältää seuraavat yksityiskohtaiset tiedot, siltä osin kuin ne ovat tarpeen kussakin asennuksessa:*

- *johtimien tyypit ja poikkiinnat*
- *virtapiirien pituudet, joita tarvitaan suojausta ja jännitteenalenemaa koskevien laskelmien tekemiseen (yleensä riittää mitoituksessa käytetyt maksimipituudet)*
- *suojalaitteiden lajit ja tyypit*
- *suojalaitteiden mitoitusvirrat ja asetellut*
- *prospektiiviset oikosulkuvirrat ja suojalaitteiden katkaisukyvyt*

Nämä tiedot tulee olla käytettävissä asennuksen jokaisesta piiristä." (SFS 6000-5-51)

Lisäksi standardissa kehoitetaan *"päivittämään tiedot jokaisen asennuksen jälkeen. Piirustuksista ja dokumenteista pitää selvittää myös peitossa olevien laitteiden sijoitukset." (SFS 6000, 193)*

Standardin mukaan tietoja tarvitaan *"asennuksen suojauksen toimivuuden tarkistamiseen ja ne pitää selvittää jo suunnitteluvaiheessa." (SFS 6000-5-51)*

Lisähuomautuksena standardissa mainitaan, että *"asennuksen määrittelyssä, rakentamisessa ja kunnossapidossa tarvitaan myös muuntyyppisiä dokumentteja." (SFS 6000-5-51)*

Lisäksi käytettyjen piirrosmerkkien on oltava: *"standardisarjan SFS-IEC 60617 (julkaistu SFS-käsikirjana 617) mukaisia tai muuten yksiselitteisiä." (SFS 6000-5-51)*

8.2 Suunnitteluohjelmalla luodut dokumentit

FebDokilla saatiin luotua vaadittavat tiedot sisältävät dokumentit vaihtosähkö- ja tassa sähköverkoista (liitteet 14 ja 15). Vaihtosähköverkon osalta dokumentti luotiin tilanteesta, jossa varasyöttönä toimiva omakäyttömuuntaja OKM2 syöttää verkkoa. Omakäyttömuuntajasta OKM1:sta oli tarkoitus tulostaa ainakin selektiivisyysanalyysi ja muuntajan takana olevan 1250 A:n Masterpact NW12-H1 -katkaisimen suojalaitteen asettelut. Tämä ei kuitenkaan onnistunut, koska FebDok lopetti dokumentin luomisen aina heksadesimaalivirheeseen, jota ei kyetty korjaamaan.

Yleiskuva verkoista jäi lisäämättä dokumentteihin, koska FebDokin yksiviivaisen esitystavan haittapuolena niistä muodostui liian leveitä, jolloin niitä ei saatu A4:sen paperikoolle mahtumaan.

FebDokin lukuisista tulostusvaihtoehdoista (kuva 6) valittiin seuraavat tiedot tulostettavaksi:

- kansisivu
- päätiedot

- virtapiirit
- jakokeskuksen vikavirrat
- suojalaitteasetukset
- selektiivisyysanalyysi
- piirien virhelista
- laitteiston kaapelityypit
- suojalaitetyypit laitteistossa
- etuliitekuvaus piiriluettelo.

Kansikuva ja päätiedot pitävät sisällään yleiset tiedot urakoitsijasta, määritellystä laitteistosta ja sen arvoista. Näiden jälkeen on etuliitekuvaus, joka pitää sisällään kaikki dokumentissa esiintyvät etuliitteet ja lyhenteet.

Virtapiirit -osiossa on esitetty verkko jakelukeskuksittain ja jokainen virtapiiri, joka lähtee jakelukeskuksista. Virtapiireistä on esitettyä virtapiirin nimi, suojalaitteen tyyppi ja sen virtakestoisuus ja perustiedot kaapelista, kuten pituus ja johtimien koko. Koska virtapiirit -osiossa on mahdollisesti joitakin virheilmoituksia, on sen jälkeen virhelista, johon on listattu verkossa olevat virheet virtapiireissä.

Virtapiiriluetelossa on esitetty tarkemmin muut virtapiirit paitsi pienjakelun virtapiirit. Virtapiireistä kerrotaan muun muassa niiden maadoitus, vaiheiden kytkennät, tarkemmat kaapelitiedot, jännitteenalenemat, oikosulkuvirrat ja suojalaitteiden tarkemmat tiedot. Virtapiirien oikosulkuvirrat on esitetty tarkemmin virtapiirilueteloa seuraavassa luettelossa, jonka nimi on ”vikavirrat laitteistossa”.

Virtapiireistä kertovien luetteloiden jälkeen on suojalaitteasettelu, jossa on esitettyä jokaisen verkossa olevan suojalaitteiden asettelut. Dokumentista löytyy myös listattuna verkossa käytettävät kaapelit ja niiden kokonaispituudet ja verkossa käytettävät suojalaitteet ja niiden lukumäärä. Lopuksi dokumentissa on selektiivisyysanalyysi verkon suojalaitteiden selektiivisyydestä.

9 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteissa onnistuttiin, mutta ei kokonaismääräisesti niissä kaikissa. Muutamia asioita, kuten vaihtosähköverkossa olevien moottorien ja generaattorien läheisyys ja niiden käynnistymisen ja toiminnan vaikutus oikosulkuvirtoihin jäi laskuissa huomioimatta. Nämä ovat varsin oleellisia asioita sähköverkkoa ja sen suojausta suunniteltaessa, mutta työn laajuus, laskujen kanssa tulleet epätarkkuudet ja myös tasasähköverkkoon perehtyminen söivät yllättävän paljon aikaa.

Vaihtosähköverkosta saatiin kuitenkin laskettua oikosulkuvirrat ja jännitteenalenemat, joista on hyötyä myöhempää käyttöä varten. Niin on myös hyötyä verkon selektiivisyydestä saadut tiedot ja verkon suojalaitteiden asettelua koskevat tiedot.

Tasasähköverkon osalta saatiin suuntaa antavia tuloksia, mutta ennen kaikkea verkosta saatiin selville jännitteenalenemat, joiden kanssa varmasti tulee olemaan miettimistä. Tasasähköverkon laskelmiin ja perehtymiseen olisi mielellään käyttänyt enemmän aikaa.

Yksi opinnäytetyön tavoitteista oli myös dokumentointi ja molemmista verkoista saatiin luotua dokumentit, jotka pitävät sisällään standardin SFS 6000:n vaatimat tiedot. Samalla päästiin tutustumaan syvällisemmin FebDok -suunnitteluohjelmaan, jonka käyttö on varmasti yleistymässä tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- ABB Oy. Kytkinvarokkeet OS ja OSM -esite. Hakupäivä 9.4.2013.
<[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/9fcbf3e70cfea5bcc12578a80017dba9/\\$file/1SCC311014C1801.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/9fcbf3e70cfea5bcc12578a80017dba9/$file/1SCC311014C1801.pdf)>
- ABB Oy, 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Yhdeksäs painos. Vaasa.
CLC/TR 50480, 2011. Determination of crosssectional area of conductors and selection of protective devices. Helsinki: SFS.
- De Metz-Noblat, Benoît & Dumas, Frédéric & Poulain, Christophe 2005. Cahier technique no. 158 - Calculation of short-circuit currents. Schneider Electric.
- Kemijoki Oy:n WWW-sivut, 2013. Hakupäivä 13.2.2013. <www.kemijoki.fi>
- Lapp, Antti 2012. Pienjänniteverkon selvitystyö. Opinnäytetyö.
Savonia-ammattikorkeakoulu. Kuopio.
- Martimo, Antero 2011. Sähköjaketekniikan luentomoniste. 19 versio.
- MIDAC Batteries. OPzS standby power batteries -catalogy. Hakupäivä 9.4.2013.
<<http://www.midacbatteries.com/>>
- Nygren, Aki 2013. Vesivoimalaitoksen generaattoreiden kaapelointi. Opinnäytetyö.
Karelia-ammattikorkeakoulu. Joensuu
- Sandström, Ina 2008. Sähköinfo 2/2008: FebDok helpottaa sähköverkon mitoittamista.
Hakupäivä 19.2.2013. <<http://www.sahkoinfo.fi/Default.aspx?id=3899>>
- Saarela, Joonas 2011. Pienjännitekatkaisijoiden säätö, Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere
- Schneider Electric. Compact NSX100 - 630 user manual. Hakupäivä 10.4.2013.
<<http://ecatalogue.schneider-electric.fi/>>
- Schneider Electric. Masterpact NW käyttäjän käsikirja. Hakupäivä 10.4.2013.
<<http://ecatalogue.schneider-electric.fi/>>
- SFS 6000-5-51, 2012. Osa 5-51: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Yleiset säännöt. Helsinki: SFS.
- SFS 6000-5-53, 2012. Osa 5-53: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Erottaminen, kytkentä ja ohjaus. Helsinki: SFS.
- SFS 6000-1, 2012. Osa 1: Peruserätyöt, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määrittelyt. Helsinki: SFS.
- SFS-EN 60947-1, 2008. Pienjännitekytkinlaitteet. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Helsinki: SFS.
- Siivonen, Kalle 2007. Sähköaseman apusähköjärjestelmät. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.
- ST-käsikirja 20, 2005. Varmennetut sähköjärjestelmät. Espoo. Sähkötieto ry.
- Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2009. D1-2009 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähköinfo Oy.
- Trafomic Oy:n WWW-sivut 2013. Hakupäivä 22.2.2013.
<<http://www.trafomic.fi/muuntaja>>
- Virsu, Pekka 2005. Pirttikosken voimalaitoksen omakäyttökeskuksen oikosulkuvirtojen laskenta. Opinnäytetyö. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Kemi.

LIITTEET

- Liite 1. 0,4 kV OKK1 pääkaavio
- Liite 2. Pankakoski 0,4 kV varasyöttö (muuntajan OKM2 arvot)
- Liite 3. Muuntajan OKM2 lasketut arvot
- Liite 4. 0,4 kV vaihtosähköverkon kaapelit ja niiden arvot
- Liite 5. 0,4 kV vaihtosähköverkon lasketut oikosulkuvirrat (OKM2 syöttää OKK1:stä)
- Liite 6. 0,4 kV vaihtosähköverkon lasketut jännitteenalenemat (OKM2 syöttää OKK1:stä)
- Liite 7. Muuntajan OKM1 lasketut arvot ja 0,4 kV vaihtosähköverkon lasketut oikosulkuvirrat OKK1:ssä (OKM1 syöttää OKK1:stä)
- Liite 8. 110 V tasasähköjärjestelmän pääkaavio
- Liite 9. Tasasähkökeskuksen TAK2 pääkaavio
- Liite 10. Classic 6V 4 OPzS 200 LA -pariston tiedot
- Liite 11. Classic 6V 4 OPzS 200 LA -pariston lasketut arvot ja 110 V tasasähköverkon kaapeleiden arvot
- Liite 12. 110 V tasasähköverkon lasketut oikosulkuvirrat (paristot syöttää verkkoa)
- Liite 13. 110 V tasasähköverkon lasketut jännitteenalenemat (paristot syöttää verkkoa)
- Liite 14. FebDokin dokumentti 0,4 kV vaihtosähköverkosta (OKM2 syöttää OKK1:stä)
- Liite 15. FebDokin dokumentti 110 V tasasähköverkosta (paristot syöttää TAK2:sta)
- Liite 16. Kuvat 0,4 kV vaihtosähköverkon katkaisijoiden suojalaitteiden selektiivisyyden tarkistamisesta valmistajan ohjelmalla (OKM2 syöttää OKK1:stä)