



OLVI OYJ IISALMEN TOIMIPAIKAN KESKIJÄNNITE- VERKON TARKASTELU

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Risto Väisänen	
Työn nimi Olvi Oyj Iisalmen toimipaikan keskijänniteverkon tarkastelu	
Päiväys 20.5.2016	Sivumäärä/Liitteet 34 / 13
Ohjaaja(t) yliopettaja Juhani Rouvali, lehtori Jari Ijäs	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Olvi Oyj / Pekka Kääriäinen tekninen päällikkö	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli Olvi Oyj:n keskijänniteverkon tarkastelu. Työn tavoitteena oli tehdä käytönjohtajan kansioon tarkka kuvaus keskijänniteverkosta ja sen komponenteista. Käytönjohtaja vaaditaan kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen 516 mukaan tilanteessa, jos kiinteistössä on yli 1 000 V nimellisjännitteisiä osia tai liittymistehon ollessa yli 1 600 kVA. Molemmat ehdot täyttyivät tarkasteltavassa verkossa. Työssä tarkasteltiin keskijänniteverkon komponentteja, kuormitusta, jännitteenalenemaa, kolmi- ja kaksivaiheisia oikosulkuja, maasulkua ja sähkökaavioita.</p> <p>KJ-komponenteista otettiin kameralla kuvat ja ne lisättiin kuvauksen kanssa tähän opinnäytetyöhön. Kuormitustilanne selvitettiin pääkeskuksien yhteydessä olevien verkkovirta-analysaattoreiden avulla. Jännitteenalenemat selvitettiin suurimman kuormitustilanteen mukaisesti verkkokuvauksesta ja Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Kolmi- ja kaksivaiheiset oikosulku- sekä maasulku-tilanteet mallinnettiin ABB:n DMS 600 Integra -ohjelmalla. Olemassa olleet sähkökaaviot ja komponenttien nimikoinnit tarkastettiin oikeelliseksi ja sähkökaaviot piirrettiin puhtaaksi käyttäen CADS-ohjelmaa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin KJ-verkosta tarkka kuvaus. Komponenttien ja kaapeleiden osalta saatiin päivitetty ja oikeelliseksi tarkastetut sähkökaaviot. Kuormitustilanteet osoittautuivat mittausten mukaan sellaisiksi, ettei välitöntä muutostarvetta ole, joskin joihinkin tilanteisiin on tulevaisuudessa syytä varautua. Jännitteenaleneman todettiin jäävän pääsyyttösuunnan osalta riittävän pieneksi ja oikosulkuvirtojen olevan riittävän suuret kaikissa verkon osissa automaattisen poiskytkennän varmistamiseksi.</p>	
Avainsanat keskijännite, tarkastelu, käytönjohtaja, oikosulkuvirta, kuormitus, jännitteenalenema	

Field of Study Technology, Communication and Transport		
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering		
Author(s) Risto Väisänen		
Title of Thesis Inspection of the Olvi Medium Voltage Power Grid		
Date	20 May 2016	Pages/Appendices
		34 /13
Supervisor(s) Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer, Mr. Jari Ijäs, Lecturer		
Client Organisation /Partners Olvi Plc / Mr. Pekka Kääriäinen, Technical Manager		
<p>Abstract</p> <p>The Subject of this thesis was to inspect the medium voltage power grid of Olvi Plc. The object of this thesis was to produce an accurate description of the MV mains and its components into the use of the manager of electrical work. The appointing of a manager of electrical work is required by the ministry of trade and industry's decision 516 in situations where the electrical grid of the property includes parts with nominal voltage of over 1 000 V or a connection capacity of over 1 600 kVA. The inspection was focused on MV components, loads, voltage dropping, three- and two phase short circuits, earth faults and electrical diagrams.</p> <p>MV components were photographed and added with a description to the thesis. The load flow was inspected using analyzers connected to the main switchboard. Voltage droppings were detected using highest load, the description of the network and the EXCEL program. Three and two-phase short circuits and earth fault situations were calculated using ABB's DMS integra program.</p> <p>The result of this thesis was an accurate description of Olvi plc's MV network. Electrical diagrams of components and cables were updated. According to the results of load flow measurements no immediate changes are required. However, some situations are to be prepared for in the future. Voltage dropping were small enough in main feeding direction and short circuit currents were large enough in all parts of the network to disconnect automatically</p>		
Keywords Medium voltage, inspection, manager of electrical work, short circuit current, load flow, voltage dropping		

ESIPUHE

Haluan kiittää opinnäytetyön aiheesta Olvi Oyj:n teknistä päällikköä Pekka Kääriäistä sekä Savonia-ammattikorkeakoulun yliopettaja Juhani Rouvalia hyvästä ohjauksesta työn aikana. Suuret kiitokset kuuluvat myös Savon Voima verkko Oyj:n palveluvastaava Timo Kiiskelle, jolta sain taustatietoa verkkoon liittyvissä kysymyksissä. Kiitän myös kaikkia niitä henkilöitä, jotka auttoivat minua omalla toiminnallaan saamaan työn valmiiksi. Itse pidin aihetta mielenkiintoisena, koska keskijänniteverkko osineen on ollut itselleni opinnäytetyöhön saakka suhteellisen tuntematon, joten otin aiheen innolla vastaan.

Risto Väisänen

20.5.2016

SISÄLTÖ

TERMIT JA KÄSITTEET	7
1 JOHDANTO	8
2 OLVI OYJ	9
3 OLVIN KESKIJÄNNITEVERKKO JA KESKEISET KOMPONENTIT	10
3.1 Kenno	11
3.2 Kaapeli.....	12
3.3 Muuntaja.....	12
3.4 Katkaisija	13
3.5 Sulake.....	13
3.6 Erotin.....	14
3.7 Analysaattori	14
3.8 Pääkeskus	15
4 KÄYTÖNJOHTAJA	16
5 KAAVIOT.....	17
5.1 Kaapelointikaaviot	17
5.2 Muuntoasemat	18
6 KUORMITUSVIRRAT	19
6.1 Kuormituksen arviointi	19
6.2 Muuntajien kuormitustilanne	19
6.3 Kokonaisteho.....	21
7 JÄNNITTEENALENEMA	22
7.1 Laskelmat.....	22
7.2 Seuraukset	24
8 KJ-VERKON VIKATILANTEET	25
8.1.1 Lähtötiedot	25
8.1.2 Taustaverkko	26
8.1.3 Päämuuntaja.....	26
8.2 Oikosulku	27
8.2.1 Laskelmat	28
8.2.2 Suojaukset.....	29
8.3 Maasulku.....	30

8.3.1	Laskennat	30
8.3.2	Suojaukset	31
8.3.3	Maadoitusjännite	31
9	VERKON KEHITTÄMINEN	32
9.1	Tähänastiset muutokset	32
9.2	Sähkönlaadun parantaminen	32
9.3	Työvälineet ja virhemarginaalit	33
10	YHTEENVETO	34
	LÄHTEET	35
	LIITE 1. TAUSTAVERKON TIEDOT.	36
	LIITE 2. PÄÄMUUNTAJAN TIEDOT	36
	LIITE 3. KAAPELEIDEN VASTUSARVOT SOLMUVÄLEITTÄIN.....	37
	LIITE 4. SUOJARELEEN ASETTELUT JA KOESTUSTULOKSET.....	38
	LIITE 5 SÄHKÖPIIRUSTUKSET	39
	LIITE 6. DMS 600 INTEGRA -OHJELMAN OIKOSULKUTULOKSET PÄÄKÄYTÖLLÄ	46
	LIITE 7. OIKOSULKUTULOSTEN TULKITSEMISOHJE.	46
	LIITE 8. DMS 600 INTEGRA -OHJELMAN MAASULKUTULOKSET	47
	LIITE 9. MAASULKUTULOSTEN TULKITSEMISOHJE.....	47

TERMIT JA KÄSITTEET

KJ	Keskijännite, 10 tai 20 kV nimellisjännitteinen verkko
PJ	Pienjännite, 0,4 kV nimellisjännitteinen verkko
MA	Muuntoasema, vähintään muuntajan sisältävä laitteisto
Mx	Muuntaja, jossa x on muuntajan numero

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on Olvi Oyj:n Iisalmen toimipisteen keskijänniteverkon tarkastelu. Olvin keskijänniteverkko on rakennettu käytännössä kokonaan uusiksi muutaman vuoden aikana eikä koon-
taa, joka pitää sisällään kuvaukset verkon komponenteista, kuormanjaosta, vikatilanteiden virroista
ja jännitteenalenemistä, ole vielä toistaiseksi laadittu. Käytönjohtaja tarvitsee käyttöönsä erinäisiä
asiakirjoja sekä tehonjaon laskennan tulokset suunnitellessaan tulevia laajennuksia sähköjärjestel-
mään. Opinnäytetyön tulokset tulevat käytönjohtajan käyttöön sekä tulostettuina kuvina että sähköi-
sinä tiedostoina, jotta muutokset olisi helppo toteuttaa dokumentointiin esimerkiksi CADS-ohjelmis-
toa käyttäen. Opinnäytetyö on osa käytönjohtajan käsikirjaa. Käytönjohtaja vaaditaan kauppa- ja
teollisuusministeriön päätöksen 516 mukaan kiinteistön liittymistehon ollessa yli 1 600 kVA tai jos
kiinteistössä on yli 1 000 V nimellisjännitteisiä osia. Nämä molemmat ehdot täyttyvät tarkastelta-
vassa verkossa.

2 OLVI OYJ

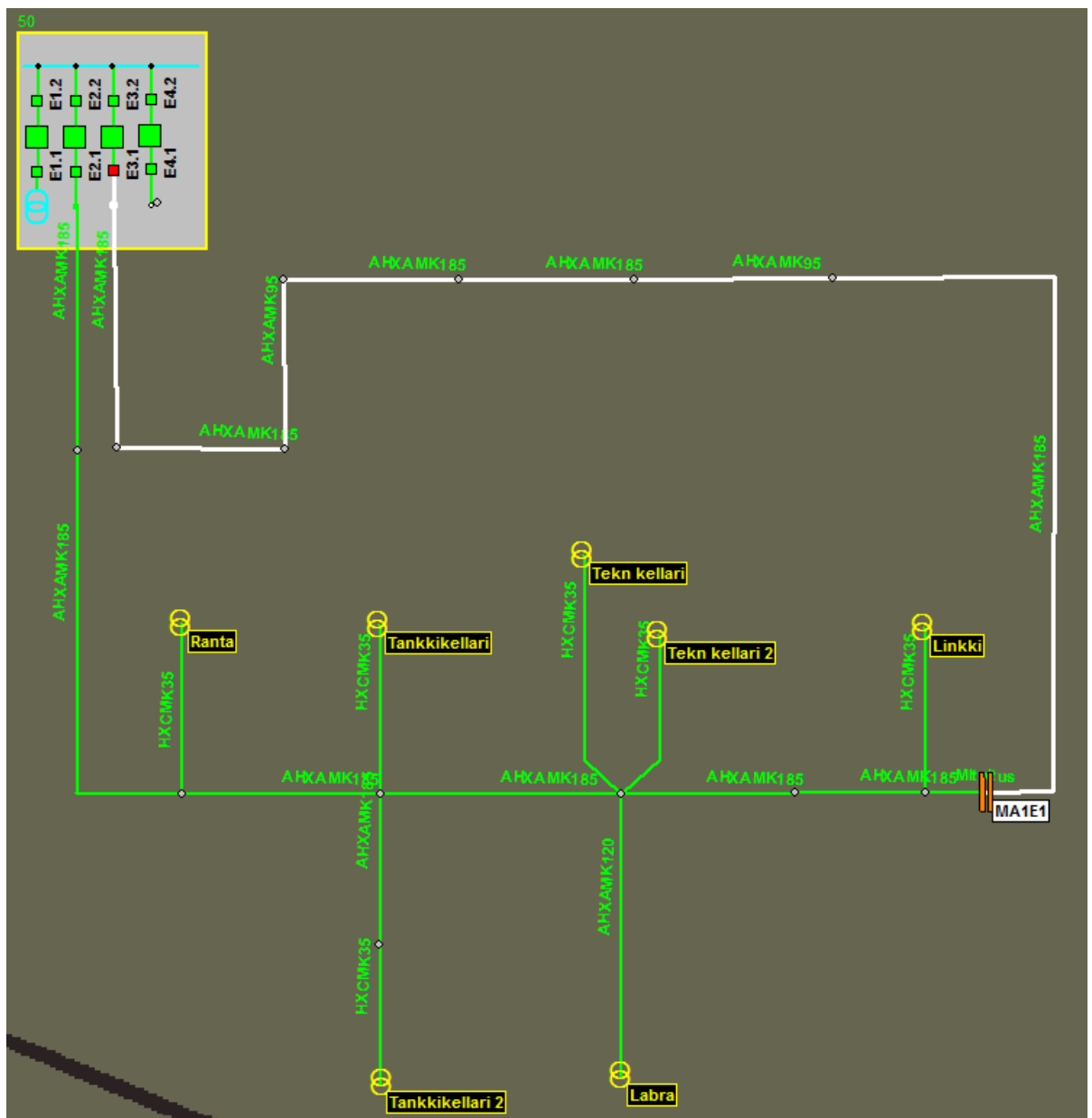
Olvi Oyj:n toimiala on panimo- ja virvoitusjuomateollisuus. Olvi on perustettu vuonna 1878, jolloin Suomessa toimi noin 78 panimoa ja se on ainoa suomalainen itsenäisenä säilynyt panimo. Olvin tehdas sijaitsee Iisalmessa, Ylä-Savossa, jossa on myös yhtiön pääkonttori. Olvilla on tytäryhtiöitä Baltian maissa: Virossa AS A. Le Coq, Latviassa A/S Cesu Alus, Liettuaissa Volfas Engelman ja Valko-venäjällä Lidskoe Pivo. (Olvi Oyj, 2016)

Koko konsernin henkilöstömäärä on noin 2 000, josta Suomessa työskentelee 400. Iisalmen panimon henkilöstömäärä on noin 300. Olvin tuotesegmentteihin kuuluvat päätuotteen oluen lisäksi siiderit, lonkerot, virvoitusjuomat, energiajuomat, TEHO sport sekä mehut ja vedet. Olvi toimittaa juomia koko Suomen alueelle sekä laajalla alueella Baltiassa. (Olvi Oyj, 2016)

Olvi-konsernin myyntivolyymi vuonna 2015 oli 579,9 miljoonaa litraa, liikevaihto 310,5 miljoonaa euroa ja liikevoitto 22,2 miljoonaa euroa. Vastaavat tunnusluvut Suomessa olivat 148 miljoonaa litraa, 102,9 ja 7,8 miljoonaa euroa. (Olvi Oyj, 2016)

3 OLVIN KESKIJÄNNITEVERKKO JA KESKEISET KOMPONENTIT

Olvin KJ-verkon nimellisjännite U_N on 10 kV. Olvin sähköjakeluverkko koostuu viidestä muuntoasemasta, seitsemästä muuntajasta ja näitä yhdistävistä kaapeleista, jotka on esitetty kuvassa 1. Sähkökäytön pääsyötö on toteutettu suoralla liittynällä Simonniemen sähköasemalta yhdellä AHXAMK185-kaapelilla. Pääsyöttösuunnan kaapeli on kytketty MA5:n KJ-kennostoon. Kiinteistölle on rakennettu varasyöttöyhteys Luuniemen suunnalta siten, että kaapeli päättyy MA1:n KJ-kennoston kaukokäyttöiseen erottimeen. Luuniemen suunnalta tulevaan syöttöön on kytketty Savon Voima Verkolta saatujen tietojen mukaan kaksi muuntamoa (Kiiski, Sähköpostikeskustelu Olvin ja Savon Voima Verkon kaapeloinnista, 2015), joiden kuormien vaikutusta jännitteenalenukseen tai kuormitettavuuteen ei ole otettu tässä työssä kantaa.



KUVA 1. Olvin KJ-verkko kuvattuna ABB:n DMS600 -ohjelmassa. (Väisänen, Ruutukaappaus ABB:n DMS 600 integra -ohjelmasta, 2016)

Sähkönjakelun toimitusvarmuus on tärkeää nykyaikana, koska hyvin suuri osa töistä tehdään sähköä kuluttavien laitteiden avustuksella. Varsinkin teollisuudessa työskenneltäessä sähkön kokoaikainen saatavuus on erittäin tärkeää esimerkiksi tuotantoprosessien keskeytymättömyyden vuoksi. Sähkönjakelun toimintavarmuuden takaamiseksi täytyy kaikkien yksittäistenkin komponenttien olla laadultaan sellaisia, että ne mahdollistavat toiminnan kaikissa tilanteissa. Esimerkiksi kaapeleiden on kestettävä niiden lävitse kulkema virta.

3.1 Kenno

Kennolla tarkoitetaan KJ-kennoa, joka sisältään jonkin KJ-verkkoon liittyvän osan, esimerkiksi liittynän, mittauksen, katkaisijan tai erottimen. KJ-kennojen kautta kulkevat virrat on ohjattu fyysisesti yksinkertaisinta mahdollista reittiä komponenttien kalleuden takia, sekä siksi että verkko on haluttu pitää yksikertaisena. Kaikki keskijännitekennot on maadoitettava erittäin hyvin, koska vikahtokella esiintyy suuria virtoja ja isoenergiä valokaaria. Kuvassa 2 on pääsyyttösuunnan kenno MA5K06.



KUVA 2. Kenno MA5K06, johon pääsähkösyyttösuunta on liitetty Simonniemeltä. (Väisänen, 2016)

3.2 Kaapeli

Kaapelin tarkoitus on kuljettaa sähköenergiaa sinne, missä sitä tarvitaan. Olvin KJ-verkko on rakennettu käyttäen pääosin kuvan 3 mukaista AHXAMK185-kaapelia, joskin MA2:n ja MA4:n välinen kaapelointi on toteutettu AHXAMK120-kaapelilla. Muuntoasemien lähtökennoilta kaapelointi muuntajille on toteutettu HXCMK35-kaapelilla, paitsi suoraan muuntajaan päättyvä MA4:n syöttö, joka on toteutettu AHXAMK120-kaapelilla.



KUVA 3. AHXAMK 3x185+35 -kaapelin rakenne. (Reka, 2016)

3.3 Muuntaja

Muuntajan tarkoitus on muuntaa KJ-verkon 10 kV jännite PJ-verkon 400 V jänniteportaaseen. Tehdaskiinteistössä olevat muuntajat ovat näennäisteholtaan 1 000 kVA. Niitä on yhteensä seitsemän, ja ne ovat rakenteeltaan valuhartsimuuntajia (kuva 4). Viimeisimmistä öljytäytteisistä muuntajista luovuttiin vuonna 2014 muuntajasaneerausten yhteydessä.



KUVA 4. Tehtaalla käytetty Trihal-muuntaja. (Schneider Electric, 2016)

3.4 Katkaisija

Katkaisijan tarkoituksena on nimensä mukaisesti katkaista piirissä oleva virta. Katkaisijaa käytetään katkaisemaan mahdollisesti viallinen virtapiiri siitä verkon osasta, jossa vikaa ei ole. Katkaisijan ohjaus tulee releiltä, joita voivat olla esimerkiksi ylivirtarele, maasulkurele, muuntajan lämpenemää tarkkaileva rele sekä muita releitä, jotka varmistavat sähkön laadun pysymistä hyvänä ja rajoittavat vian vain sitä koskevaan osuuteen. Releellä voidaan asetella hyvin tarkkaan, minkälaisesta ylivirrasta se laukaisee katkaisijan. Muuntoasema 2 kennon 5 katkaisija on kiinteistön ainut katkaisija (kuva5).



KUVA 5. Katkaisija. Kuvan ylälaidassa releistykseen asettelu. (Väisänen, 2016)

3.5 Sulake

Sulakkeen tarkoituksena on katkaisijan tavoin suojata virtapiirin komponentteja, pääasiassa muuntajaa. Sulakkeesta tekee hiukan ongelmallisen käytettävän sen hyvin karkea porrastus. Ongelma on todellinen varsinkin KJ-verkkojen puolella, missä suurimmat kulutusvirrat voivat pahimmissa tapauksissa olla hyvinkin lähellä pienimpiä vikavirtoja. Sulake toimiikin parhaiten karkeana suojana. Kuvasessa 6 on vastaavanlainen KJ-sulake kuin tehtaalla käytössä olevissa lähdoissa.



KUVA 6. Keskijännitesulake (Siba, 2016)

3.6 Erotin

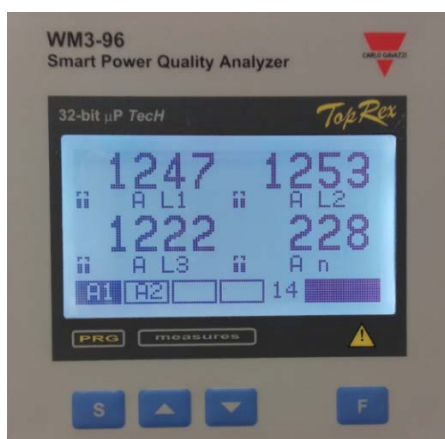
Erottimen tarkoituksena on nimensä mukaisesti pitää erillään virtapiiri toisesta. Erottimen suurin ero katkaisijaan on se, ettei erotinta saa käyttää virtapiirin irrottamiseen sen ollessa virrallinen. Olvin verkossa sijaitsevaan MA1:een tuleva varasyöttö on toteutettu kaukokäyttöisellä erottimella Luu- niemen suunnalta. Kuvassa 7 on vastaava mutta vain paikalliskäytössä oleva erotin.



KUVA 7. Erotin MA2K04Q01, varaus tulevaisuuden laajennuksiin. (Väisänen, 2016)

3.7 Analysaattori

Analysaattori (kuva 8) on yksi pääkeskuksen tärkeimmistä komponenteista tutkittaessa virran vaikutuksia verkossa. Vaikka analysaattori sijaitseekin PJ-verkon puolella, saadaan sen antamista virroista suoraan KJ-verkkoa kuormittava virta, kun se redusoidaan muuntajan muuntosuhteen mukaan.



KUVA 8. MA5:n syöttämän muuntajan 8 jälkeisen pääkeskuksen 5PJ8.n verkkoanalysaattori (Väisänen, 2015)

3.8 Pääkeskus

Pääkeskus (kuva 9) on muuntajan jälkeinen kokonaisuus, joka sisältää mm. pääkytkimen, sulakelähdöt nousukeskuksille sekä analysaattorin. Pääkeskuksen nimellisjännite on 400 V, joten se ei varsinaisesti kuulu tämän työn tarkastelun piiriin.



KUVA 9. MA2 muuntajan 2 syöttämä pääkeskus 2PJ2. (Väisänen, 2015)

4 KÄYTÖNJOHTAJA

Käytönjohtajan tehtäviin kuuluu huolehtia ja valvoa sähkölaitteiston kunnonvalvonta esim. huoltoon ja kunnossapitoon liittyvillä katselmuksilla. Sähkölaitteistoon työtä tekeville henkilöillä on riittävä pätevyys kyseiseen työhön. Sähkölaitteistolla on olemassa sähköturvallisuuden ylläpitävä kalenteriaikaan sidottu kunnossapito-ohjelma, jonka toteutumista käytönjohtaja valvoo. Sähkölaitteistolle suoritetaan säädösten mukaiset tarkastukset. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, 2014)

Käytönjohtaja vaaditaan sähkölaitteistolle kahdessa tapauksessa. Käytönjohtaja on oltava sellaisella sähkölaitteistolla, johon kuuluu nimellisjännitteeltään yli 1 000 V osia, lukuun ottamatta enintään 1 000 V nimellisjännitteellä syötettyjä yli 1 000 V sähkölaitetta tai niihin verrattavia laitteistoja. Toinen määräävä tekijä on sähkölaitteiston liittymisteho, jonka ylittäessä 1 600 kVA on laitteistolle nimettävä käytönjohtaja. (Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 516, 1996)

Sähkölaitteiston haltijan on annettava käytönjohtajalle riittävät mahdollisuudet johtaa ja valvoa käytötöitä. Käytönjohtajan on saatava tiedot korjauksista ja muutoksista kyseiseen laitteistoon.

(Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 516, 1996) Jotta valvominen ja suunnittelu olisivat mahdollisia, täytyy käytönjohtajalla olla hallussaan tai saatavilla tiedot laitteistosta. Näihin asiakirjoihin kuuluvat tiedot käytetyistä laitteista, esimerkiksi muuntajat ja niiden väliset kaapelit, sähköpiirustukset kohteesta sekä muut mahdolliset tilanteen mukaan muuttuvat tiedot.

5 KAAVIOT

Ajantasaiset sähkökaaviot eli sähköpiirustukset ovat tärkeässä roolissa jotta sähköverkon käytettävyys pysyy hyvällä tasolla. Sähköverkon dokumentointia tulisi päivittää aina sitä mukaa kun verkkoon tulee muutoksia, joten piirustusten päivittäminen ja jakaminen keskitetysti sähköisenä on tehokas keino verkon ylläpidon kannalta. Sähköisesti ylläpidettävää dokumentointia tukee luvussa 4 mainittu KTMP 516, jossa määrätään laitteiston haltijan toimittamaan sähkötöiden johtajalle tiedot muutoksista. Liitteessä 5 on esitelty kiinteistön sähkönsyötön yleisjärjestelyt, muuntoasemien pääkaaviot sekä kokonaiskuva 10 kV kaapeloinnista.

5.1 Kaapelointikaaviot

Kaapeloinnilla tarkoitetaan kahden pisteen liittämistä yhteen galvaanisesti. Työssä keskitytään lähinnä 10 kV kaapeleihin, koska niillä on suurin merkitys laskennassa. Maadoituskaapeloinnilla varmistetaan vikatilanteessa esiintyvien kosketusjännitteiden minimointi sekä pienjännitepuolella tapahtuvien yksivaiheisten oikosulkujen nopea poiskytkentä.

Sisäverkko

Sisäverkon kaapelointikaaviosta nähdään, miten kaapelit kulkevat muuntoasemalta toiselle. Lähtökohtaisesti sähkösuunnittelija suunnittelee kaapeleille kulkureitin pohjakuvaan, jonka perusteella urakoitsija voi asentaa kaapelit niille suunnitelluille paikoille. Mikäli rakennusvaiheessa on tullut muutoksia, täytyy urakoitsijan olla asiasta yhteydessä suunnittelijaan, joka päivittää kuvat ajantasaisiksi.

Asemakaava

Asemakaavasta nähdään kaapeleiden kulkureitit rakennuksen ulkopuolella ainakin viitteellisesti. Esimerkiksi syöttöjohdot rakennuksiin on asennettu lähes poikkeuksetta maahan, kuten myös Olvilla muuntoasemille 1 ja 5. Olvin verkossa muuntoaseman 1 ja 2 välinen yhdyskaapeli kulkee maassa, koska muuntoasema 1 sijaitsee rakennuksen ulkopuolella.

Maadoituskaaviot

Maadoituskaaviosta nähdään, kuinka rakennus ja sen kiinteät sähköä johtavat osat on maadoitettu. Yleensä kaavioista on luettavissa pääpotentialintasauskiskoon johdotetut kohteet, joita ovat esimerkiksi maadoituselektrodi, metalliverkot valussa, iv-kanavat, johtavat vesiputket, antennit, muuntajien rungot sekä monet muut metalliset kohteet.

5.2 Muuntoasemat

Muuntoasemalla tässä työssä käsitetään pienempää yksittäistä kokonaisuutta tehdaskiinteistön sisällä. Muuntoasemaan kuuluu ainakin muuntaja ja pääkeskus sekä muuntoasemaa 4 lukuun ottamatta KJ-kytkinlaitteistot.

Kytkinlaitteistot

Kytkinlaitteistoista olevien kaavioiden on oltava ehdottomasti paikkaansa pitäviä, koska jännitteet ja virrat ovat suuria, ja aiheuttavat välittömän hengenvaaran, jos laitteistoon tehdään esimerkiksi kytkentöjä eivätkä piirustukset pidä paikkaansa.

Pääkeskukset

Pääkeskuksista on useita erilaisia sähköpiirustuksia, joista selviää komponenttien sijoittelu keskukseseen, keskuksen mitat sekä se, minne ja millaisella nimellisvirralla keskuksesta on sähkönsyöttö. Ajantasaiset piirustukset ovat suunnittelun perusta ja mahdollistavat alustavan suunnittelun ilman kohteessa käyntiä.

6 KUORMITUSVIRRAT

6.1 Kuormituksen arviointi

Jokaisessa pääkeskuksessa on verkkovirta-analysointilaite, joka toimii tallentavana ottaen muistiinsa suurimmat yksittäiset arvot mitattavista suureista. Mitattavia suureita, joista ollaan useimmiten kiinnostuneita, ovat keskuksen syöttämän verkon ottamat huippuvirrat. Huippuvirtojen avulla voidaan päätellä, kuinka paljon keskusta voidaan vielä kuormittaa vai täytyykö käyttää jotakin toista keskusta uuden kohteen sähkönsyöttöön. Huippuvirroista on nähtävissä, kuinka hyvin suunniteltu sähkönkulutus vastaa todellisuutta.

Muuntajien 5, 6, 7 ja 8 jälkeiset pääkeskukset PK5, PK6, PK7 ja PK8 on varustettu Carlo Gavazzin WM3-96-analysointilaitteilla ja muuntajien 1, 2 ja 9 jälkeiset pääkeskukset PK1, PK2 ja PK9 Carlo Gavazzin WM30-96-analysointilaitteilla. Analysointilaitteiden mittaamat huippuvirrat ovat hetkellisiä arvoja, eikä niiden antamaa tietoa voida käyttää suoraan esimerkiksi lämpenemien määrittelyissä. Jännitteenalennuksen laskentaan hetkellisarvot kuitenkin soveltuvat.

Suurimpia yksittäisiä sähköenergian kuluttajia ovat kylmäainekompressorit, joiden avulla jäähdytetään käymistankkeja sekä muita jäähdytystä tarvitseviä kohteita, esimerkiksi muuntamot ja toimitukset. Lämpötilatteenottolaitteisto on yksi suurimmista yksittäisistä kulutuspaikoista. Laitteisto pyrkii ottamaan talteen muutoin hukkaan menevän lämpöenergian, esimerkiksi kylmäainekompressoreilta. Painelmaikompressorit kuluttavat paljon sähköä mahdollistaen lukuisten eri toimilaitteiden toiminnan panimosta keräilyä automaatioon.

6.2 Muuntajien kuormitustilanne

Suurimman kuormituksen tilannetta selvitetään suurimman virran mukaan, koska kuormitusteho on suoraan verrannollinen virtaan ja jännitteeseen. Jännitteen ollessa nimellinen eli vakio jäävät muuttuviksi tekijöiksi virta sekä jännitteen ja virran välistä kulmaerosta laskettava $\cos\varphi$. Muuntajaa kuormittavan verkon $\cos\varphi$ on likipitään 1 koska pääkeskuksen yhteydessä on kompensointi. Kaava 1 (Ahoranta, 2009) antaa vastaukseksi pätötehon P , joka ilmaisee kuorman resistanssin R vaikutusta muuntajan kuormitukseen. Kuormitustilanteen ollessa verkon kannalta edullisin on $\cos\varphi=1$, jolloin pätöteho P vastaa suoraan näennäistehoa S , joka on muuntajaa sekä sähkönjakeluverkkoa todellisuudessa kuormittava teho. Kaavoissa käytettävä jännite U on kahden vaiheen välinen pääjännite ja I tarkoittaa yhdessä vaihejohtimessa kulkevaa virtaa.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (1)$$

Todellisuudessa tilanne kuitenkin on harvoin tällainen. Kuormitukseen on otettava mukaan reaktanssin X aiheuttama loisteho Q , joka saadaan laskettua kaavalla 2. (Ahoranta, 2009)

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (2)$$

Näennäisteho S saadaan selvitettyä laskemalla neliöllisesti yhteen pätöteho P ja loisteho Q kaavan 3 mukaisesti. (Ahoranta, 2009) Kaava on kuitenkin turhan kankea käytettäväksi normaalissa tilanteessa, koska lukuja täytyy suotta purkaa ja laskea useaan otteeseen. Yhtälailla käyttökelpoinen ja yksinkertaisempi on kaava, jossa näennäisteho S lasketaan suoraan pätötehon P ja tehokertoimen $\cos\varphi$ avulla. Lähes poikkeuksetta sähkölaitteesta ilmoitetaankin pätöteho ja $\cos\varphi$, joiden avulla saadaan näennäisteho laskettua suoraan kaavalla 4. (Ahoranta, 2009)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3)$$

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} \quad (4)$$

Muuntajien tehot ilmoitetaan poikkeuksetta näennäistehona S , joka saadaan laskettua suoraan jännitteen ja virran avulla. Työssä käytetään pätötehoa ja $\cos\varphi$ arvoa jolloin tehojen yhteen laskeminen on helpompaa. Näennäisteholle on olemassa kulmamuoto, mutta näennäistehon tehokerrointa ei välttämättä ilmoiteta, joten pätötehon käyttö on yksinkertaisempaa.

Taulukkoon 1 on laskettu muuntajille tulevat pätötehot mitattujen virtojen avulla sekä redusoidut virran arvot KJ-puolella. Laskennassa on käytetty yhteisesti sen vaiheen virtaa, jonka virta on ollut suurin, koska kyseinen virta aiheuttaa suurimman jännitehäviön. Huipputehojen laskentaan käytetyt virrat on saatu kiinteiden verkkovirta-analysaattorien avulla. Analysaattorit mittaavat pääkeskuksen lävitse kulkeman virran ja tallentavat muistiinsa suurimmat kulutuspiikit. Pääkeskuksien yhteydessä on kompensointilaitteisto joka kompensoi verkossa olevaa induktiivista kuormaa kytkemällä kapasitiivista kuormitusta jolloin muuntajan kuormituksen $\cos\varphi$ on likipitään vakio ollen arvossa 0,99 jota työssä on yleisesti käytetty. Verkkovirta-analysaattoreiden asetukset on tarkastettu oikeellisiksi 8.9.2015, jonka jälkeen analysaattorien muistit tyhjennettiin. Laskennassa käytetyt virrat on mitattu aikavälillä 8.9.2015–7.10.2015.

TAULUKKO 1. Muuntajien tehot ja virrat

Muuntaja	P_{\max} / kW	$I_{\max PJ}$ / A	$I_{\max KJ}$ / A
MA1M9	409	597	24
MA2M1	376	548	22
MA2M2	517	754	30
MA3M5	1143	1666	67
MA3M7	1686	2458	98
MA4M6	673	981	39
MA5M8	859	1253	50

Muuntajan kuormitettavuudessa on otettava huomioon muuntajan käyttökohde, joka on teollisuus, sekä muuntajan sijaitseminen kiinteistömuuntamossa, pois lukien MA1, joka on rakennuksen ulkopuolella oleva puistomuuntamo. Näille kahdelle kuormitustyyppille verkostosuositus SA2:08 kuormitettavuus kertoimeksi kiinteistömuuntamoiden osalta 1,0 ja puistomuuntamon osalta 1,3. (Energiateollisuus, 2008)

6.3

Kokonaisteho

Suurin verkosta otettu keskituntiteho viimevuodelta (2015) on 2,976 MWh. (yritysasiakaspalvelu, 2016) Kyseisen suuruinen teho vastaa keskijänniteverkossa virtaa 169 A, joka on liki puolet pienempi kuin jännitteenaleneman laskennassa käytetty huippuvirta. Tulokset eivät ole keskenään suoraan vertailukelpoisia, koska Savon Voimalta saatu arvo on tunnin mittaisen jakson keskimääräinen teho ja verkkoanalysointorin mittaama virta on hetkellinen arvo. Tunnin mittainen mittausjakso mahdollistaa suuretkin poikkeukset keskitehosta, joten käytettäessä laskennassa verkkoanalysointorin mittaamia huippuvirtoja saadaan pahin mahdollinen kuormitustilanne tutkittua. Savon Voimalta saatu tulos mittaa koko kiinteistön kulutusta yhdellä kertaa ja analysointorit vain kyseisen pääkeskuksen käyttämää huippuvirtaa, mikä aiheuttaa osaltaan epätarkkuutta mittaustuloksiin.

Tilannetta tutkittiin asentamalla Fluken analysointori kahdeksi viikoksi aikavälille 4.3.2016–18.3.2016 PK7:n virtakiskostoon mittaamaan 10 minuutin tehollisia keskivirtoja. Mittauksen aikana ei ilmennyt vastaavia virtoja kuin aiemmin analysointorilta saadut tulokset. Analysointorilta ajanjaksolla mitattu huippuvirta oli noin 1 600 A, jolloin Fluken mittaamat 10 minuutin teholliset keskivirrat olivat suurimmillaan 1 200 A. On kuitenkin otettava huomioon luvun 6.2 taulukko 1, jossa suurimmat huippuvirrat olivat liki 2 500 A, muuntajien nimelliskuormitettavuuden ollessa 1 443 A, eikä suurinta kuormitustilannetta näinollen saatu tallennettua Fluken analysointoriin.

7 JÄNNITTEENALENEMA

Jännitteenalenenman pienjänniteverkossa ei pitäisi olla yli 15 % (Energiateollisuus, 2008) mitattuna tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvona viikon ajan. Normaali laadulla jännitteen normaalivaihteluväli saa olla 207–244 V ja korkealla laadulla 220–240 V ja keskiarvoltaan 225–235 V. Nämä standardin ja suositusten mukaiset alenemat koskevat verkkoyhtiön asiakkaalle toimittamaa sähkön laatua. Koska Olvilla on oma verkko, tilanne ei täysin vastaa todellisuutta. Verkkoyhtiön toimittaessa 10 kV liittymän kiinteistölle onkin järkevämpää käyttää suunnitelmissa KJ-verkon sähköinen mitoittaminen SA5:94 (Sähköenergialiitto, 1994) määrittelemiä maksimijännitteenalenevia, jotka ovat 3 - 7 %. Keskijänniteverkon jännitteenalenema voi olla jopa 10 %, jos PJ-verkon jännitteenalenema on pieni. (Sähköenergialiitto, 1994) Vaikka työn laajuus on vain pääkeskukselle asti, antavat laskentatulokset pohjan laskennalle verkon muissa osissa.

7.1 Laskelmat

Jännitteenalenenman määrittämiseen on tiedettävä kuormituksen pätöteho sekä sen vaihesiirtokulma, jotka on esitelty aiemmassa luvussa, syöttökaapelin resistanssi ja reaktanssi sekä syöttävän verkon jännite. Taulukossa 2 on esitetty syöttävän verkon kaapeleiden tyypit ja niiden sähkötekniiset ominaisuudet resistanssin ja reaktanssin osalta. (Sähköenergialiitto, 1994)

TAULUKKO 2. Vastusarvot kaapelityypeittäin

Kaapelityyppi	R/km Ohm	X/km ohm
AHXAMK-W 3*185Al+35Cu	0,169	0,119
AHXAMK-W 3*120Al+35Cu	0,256	0,129
AHXAMK-W 3*95Al+35Cu	0,326	0,132
3*HXCMK 1*35/16	0,537	0,204
AHXAMK-W 3*95Al+35Cu laskettu 120 ja 70 kaapelin avulla		

Liitteeseen 3 on laskettu kokonaisresistanssi ja reaktanssi kertomalla kullakin solmuvälillä olevien samanlaisten kaapelityyppien yhteispituus niitä vastaavilla resistanssi- ja reaktanssiarvoilla. Jännitteenalenenman laskemisessa on otettu huomioon muuntajien aiheuttamat tehohäviöt kyseisten muuntajien testauspöytäkirjoista saaduilla vastusarvoilla laskettuna kaavan 5 mukaisesti. Tehohäviö on huomioitu sekä keskijännite- että pienjännitepuolelta. Tehohäviö on laskettu kaavalla 5, jossa on otettu huomioon muuntajan resistanssi sekä sitä kuormittava maksimivirta. (Hietalahti, 2011)

$$P_h = 3 \cdot R \cdot I^2 \quad (5)$$

Muuntajasta MA3M7 puuttuu muuntajavalmistajan testauspöytäkirja, joten muuntajan tehohäviö on arvioitu muuntajan tyyppikilven arvojen perusteella. Muuntajasta MA5M8 puuttuvat sekä testauspöytäkirja että tyyppikilpi. On kuitenkin tiedossa, että nämä kaksi muuntajaa on asennettu samaan aikaan ja että ne ovat samanlaisia keskenään. Muuntajan MA5M8 laskennassa on siten käytetty muuntajan MA3M7 laskennassa saatuja tietoja. Muuntajan MA3M7 tyyppikilvessä ei ole nimelliskuormitushäviöiden ilmaisemaa lukua P_0 , jonka avulla saataisiin laskettua muuntajan varsinaiset oikosulkuresistanssin ja reaktanssin arvot, joiden avulla muuntajan tyhjäkäyntihäviöt saataisiin laskettua. Muuntajan tyyppikilvessä ilmaistaan kuitenkin suhteellinen oikosulkujännite U_k , joka vastaa suhteellista oikosulkuimpedanssia Z_T . Laskettaessa muuntajan tehohäviö oikosulkuimpedanssilla muuntajan resistanssin sijaan saadaan tulokseksi varmasti suurempi arvo, jolloin pahin mahdollinen kuormitusilanne tulee kuvatuksi. Muuntajan oikosulkuimpedanssi lasketaan kaavalla 6. (European Committee for Electrotechnical Standardization, 2001)

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100 \%} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \quad (6)$$

Jännitteenalenemat on laskettu solmupistemenetelmällä, jossa jokainen kaapeleiden risteämäkohtien välinen matka on määritelty erikseen. Kun tunnetaan solmupisteiden väliset etäisyydet sekä niissä käytetyt kaapelityypit, saadaan jokaisen solmuvälin resistanssi ja reaktanssi määritetyksi. Solmupisteiden välinen jännitteenalenema saadaan määritettyä virran, resistanssin, reaktanssin ja tehokertoimen avulla, kuten seuraavasta kaavasta 7 ilmenee. (Energiateollisuus, 2008)

$$U_a = R \cdot I \cdot \cos\varphi + X \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (7)$$

Laskelmissa on oletettu muuntajien risteilykerroin, ts. todennäköisyys, jolla muuntajat ovat yhtäaikaisesti päällä verkostosuositus SA5:n mukaisesti 100 %, eli muuntajat ovat mukana laskelmissa täydellä kuormallaan. Muuntotyypisissä verkoissa, esimerkiksi taajamaverkossa, risteilykerroin tietynä ajankohtana voi olla 85 %. (Sähköenergialiitto, 1994) Jännitteenaleneman tulokset on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Jännitteenalenemat huippukuormituksella solmuväleittäin

Lähtö	Tulo	Pääsyöttö U_a %	Varasyöttö U_a %
SIMONNIEMI	MA5	1,11	0,00
MA5	MA3	1,34	5,16
MA3	MA2	1,48	4,98
MA2	MA1	1,52	4,62
MA1	Varasyöttö	0,00	4,19
MA1	Varasyöttö	0,00	2,27
MA3 (sis)	MA3	1,35	4,99
MA2	MA4	1,50	4,64
MA5	5M8	1,11	5,16
MA3	3M5	1,35	4,99
MA3	3M7	1,36	5,00
MA2	2M1	1,48	4,98
MA2	2M2	1,48	4,98
MA1	1M9	1,52	4,19

7.2 Seuraukset

Laskennoissa ei tullut sellaisia jännitteenaleneman tilanteita ilmi, joissa jännite olisi päässyt laskemaan liiksi käytettäessä pääsyöttösuuntaa. Varasyöttösuuntaa käytettäessä jännitteenalenema on suurimmillaan 5,16 %. Verkostosuosituksen SA5 mukaan verkon jännitteenalenema on liian suuri, jos se ylittää 4 %. (Energiateollisuus, 2008) On siis perusteltua olettaa verkko vahvaksi. Verkon vahvuus johtuu oleellisesti kohteen sijainnista suhteellisen lähellä 110/10 kV sähköasemaa, joten kaapelit ovat lyhyet sekä poikkipinnaltaan vahvat. Savon Voimalta saatujen todellisten mittaustulosten mukaan maksimikuormitusvirta on 169 A, (yritysassiakaspalvelu, 2016) joten jännitteenalenemat jäävät molemmilta syöttösuunnilta alle 4 %.

8 KJ-VERKON VIKATILANTEET

Keskijänniteverkon vikatilanteita ovat kolmivaiheinen oikosulku, kaksivaiheinen oikosulku ja maasulku. Laskettaessa keskijänniteverkon vikatilanteita on tiedettävä taustaverkon, eli tässä tapauksessa 110 kV verkon impedanssi, päämuuntajan impedanssi, joka tässä tapauksessa on Simonniemellä sijaitseva 110/10 kV muuntaja sekä keskijännitekaapeleiden impedanssit.

Keskijänniteverkon kaapeleiden impedanssien määrittelyssä käytetään jänniteenalenemasta poikkeavia arvoja, eli käytettävät impedanssit määritetään SA5:94 mukaan taulukon kohdasta R +40 °C. Tässä suhteessa verkostosuositus ja standardi IEC 60909-0 eroavat toisistaan, koska jälkimmäisen mukaan maksimioikosulkuvirtaa määritettäessä olisi käytettävä edelleen taulukon kohtaa R +20 °C, kuten jännitteen alenemassa.

Tämä on selitettävissä sillä, että maksimioikosulkuvirtaa määritettäessä ollaan kiinnostuneita lähinnä 110/10 kV muuntajan jälkeisestä tilanteesta rajoittuen heti katkaisijan jälkeiseen alueeseen. Koska kyseessä on heti katkaisijan jälkeinen alue, ei johtimia tarvitse ottaa huomioon, koska niitä ei ole katkaisijan ja muuntajan välillä niin paljon että niillä olisi laskentaan merkitystä, jolloin suurimmaksi oikosulkuvirtaa määrittäväksi impedanssiksi muodostuu taustaverkon ja päämuuntajan impedanssit. Määriteltäessä minimioikosulkuvirtaa on käyttöön otettava R +40 °C arvot, koska kyseisen lämpötilan resistanssiarvot ovat suuremmat, jolloin oikosulkuvirta pienenee. Pienimpien laskennallisesti saatujen virtojen määrätessä suojareleitten asettelut ei missään käyttötilanteessa voi käydä niin, että suojaukset eivät toimisi kaapeleiden tai muiden KJ komponenttien suojana.

8.1.1 Lähtötiedot

Laskettaessa oikosulkuvirtoja kaksi- ja kolmivaiheisina täytyy taustaverkon sekä päämuuntajan tietojen lisäksi olla tiedossa kaapeleiden ominaisresistanssit ja reaktanssit. Resistanssin ja reaktanssin arvot on saatu verkostosuosituksen SA5:94 liitteenä olevista johtotietoja taulukoista.

(Sähköenergialiitto, 1994)

Taulukosta ei löytynyt AHXAMK 3*95+35Cu-kaapelin tietoja, joten ne on laskettu vastaavantyyppisten, mutta kokoa isomman ja pienemmän kaapelin tiedoista interpoloimalla. Kaapeleiden arvojen muuttuminen ei mene lineaarisesti poikkipinta-alan mukaan, mutta virhe on kuitenkin niin pieni, ettei sillä ole merkitystä tämän työn tulosten luotettavuuteen.

8.1.2 Taustaverkko

Taustaverkon impedanssi \underline{Z}_Q , tai \underline{Z}_S saadaan laskettua, kun tunnetaan taustaverkon jännite U_N (110 kV) sekä oletetun kolmivaiheinen oikosulkuvirta I_{kQ} sähköaseman kiskostossa, tämä saadaan laskettua kaavan 8 mukaisesti. Kaavassa on suure c , joka tarkoittaa jännitekerrointa, jota käytetään verkon suurimman ja pienimmän oikosulkuvirran määrittämiseen. Tämä on standardin IEC 60909-0 mukainen tapa esittää taustaverkon impedanssi, jossa oletetaan verkon olevan kokonaan induktiivisesti reaktiivinen, eli virran oletetaan olevan 90 astetta jännitettä jäljessä. (European Committee for Electrotechnical Standardization, 2001) Tässä tapauksessa verkko ei ole puhtaasti reaktiivinen, vaan Savon Voimalta saatujen tietojen mukaan siinä on myös pieni resistiivinen osa. Savon Voiman tietojen mukaan (Kiiski, Sähköpostikeskustelu Olvin ja Savon Voima Verkon kaapeloinnista, 2015) taustaverkon resistanssi R_S on 5,5 Ω , reaktanssi X_S 15,2 Ω ja taustaverkon jännite U_N 116,4 kV, jota ei tarvita, koska \underline{Z}_S saadaan laskettua R_S ja X_S :n tiedoilla kaavan 9 mukaisesti. (Hietalahti, 2011) Taustaverkon tiedot on esitelty liitteessä 1.

$$\underline{Z}_Q = \underline{Z}_S = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot I_{kQ}} \angle 90^\circ \quad (8)$$

$$\underline{Z}_S = R_S + j \cdot X_S = 5,5 \Omega + 15,2 \angle 90^\circ \Omega = 16,164 \angle 70,11^\circ \Omega \quad (9)$$

Edellä kuvatussa resistanssin ja reaktanssin avulla lasketussa impedanssin arvossa ei ole otettu huomioon jännitekerrointa c . Jännitekerroin otetaan laskennassa huomioon kertomalla saatu impedanssin tulos c :n arvoilla 1 ja 1,1 jotka standardi määrää käytettäväksi, kun lasketaan minimi- ja maksimioikosulkuvirtaa: Taulukko 1 IEC 60609-0. (European Committee for Electrotechnical Standardization, 2001)

8.1.3 Päämuuntaja

Päämuuntajan oikosulkuimpedanssi \underline{Z}_T , saadaan laskettua muuntajan tyyppikilvestä, jotka sijaitsevat muuntajassa tai sen välittömässä läheisyydessä. Laskentaan saadut tiedot on pyydetty Savon Voimalta, (Kiiski, Sähköpostikeskustelu Olvin ja Savon Voima Verkon kaapeloinnista, 2015). Tietojen avulla päämuuntajan aiheuttama oikosulkuimpedanssi on laskettu kaavassa 12. Muuntajan arvot on esitetty liitteessä 2. Muuntajan suhteellinen oikosulkuresistanssi r_k saadaan laskettua muuntajan häviötehon P_k ja muuntajan nimellistehon S_N avulla kaavalla 10. Muuntajan suhteellinen reaktanssi x_k saadaan laskettua muuntajan suhteellisen oikosulkuimpedanssin z_k ja suhteellisen oikosulkuresistanssin r_k avulla käyttäen kaavaa 11. Kaavan käytössä on otettava huomioon kirjainten ollessa pieniä r , x ja z , ovat ne suhteellisia arvoja. (Kaavat 10, 11 ja 12 (Hietalahti, 2011))

$$r_k = \frac{P_k}{S_N} = \frac{88,4kW}{16MVA} = 0,005525 \quad (10)$$

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{0,104^2 - 0,005525^2} = 0,10385 \quad (11)$$

$$\underline{Z}_T = (r_k + j \cdot x_k) \cdot \frac{U_N^2}{S_N} = (0,005525 \Omega + 0,10385 \angle 90^\circ \Omega) \cdot \frac{10,5kV^2}{16MVA} = 0,7165 \angle 86,95^\circ \Omega \quad (12)$$

8.2 Oikosulku

Kolmivaiheisella oikosululla tarkoitetaan sellaista tilannetta, jossa kolme vaihetta on fyysisesti yhdessä toisiinsa. Kolmivaiheisesta oikosulusta käytetään merkintää I_{k3} . Kolmivaiheinen oikosulkuvirta saadaan laskettua kaavan 13 avulla ja on ratkaistavissa kun tunnetaan verkon nimellisjännite U_N , ja kyseisessä pisteessä vaikuttava oikosulkuimpedanssi Z_k . Jännitekerroin c saadaan suoraan nimellisjännitteen mukaan IEC 60909-0 taulukosta 1. (European Committee for Electrotechnical Standardization, 2001)

$$I_{k3} = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (13)$$

Oikosulkuimpedanssiin sähköaseman kiskostossa tapahtuvaan kolmivaiheiseen oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttavat taustaverkon resistanssi R_s , reaktanssi X_s , sekä muuntajan impedanssi Z_T , joka voidaan osoittaa eriteltynä resistanssiin R_T ja reaktanssiin X_T . Laskettaessa oikosulkuvirtoja muualla verkossa tapahtuvaa vikatilannetta täytyy ottaa huomioon johtimien aiheuttamat impedanssit. Johtimien aiheuttamia kokonaisresistanssista käytetään merkintää R_L ja kokonaisreaktanssista merkintää X_L . Kyseiset merkinnät pitävät sisällään kaikkien niiden johtimien yhteenlasketut resistanssin tai reaktanssin arvot, jotka sijoittuvat vikapaikan ja syöttävän sähköaseman välille. Alla esitetty kaavat 15 ja 16 joita käyttämällä on saatu laskettua vikapaikkaan vaikuttava kokonaisimpedanssi kaavan 14 avulla. (European Committee for Electrotechnical Standardization, 2001) IEC 60909-0 mukaan kokonaisresistanssin R_k osuus jättää huomiotta jos sen arvo on alle 0,3 kertainen kokonaisreaktanssin X_k arvoon nähden. Tässä tarkastelussa resistanssi on otettu huomioon tulosten oikeellisuuden varmistamiseksi.

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} \quad (14)$$

$$R_k = R_s' + R_T + R_L \quad (15)$$

$$X_k = X_s' + X_T + X_L \quad (16)$$

Kaksivaiheinen oikosulku vastaa tilannetta, jossa kaksi vaihetta on fyysisesti yhdessä toisiinsa, sille käytetään merkintää I_{k2} . IEC 60909-0 mukaan kaksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan laskettua kolmivaiheisen oikosulkuvirran avulla, kuten kaavassa 17 on esitetty. (European Committee for Electrotechnical Standardization, 2001) Kaavassa esiintyvät termit $Z_{(1)}$ ja $Z_{(2)}$ esittävät kokonaisimpedansseja vaihekohtaisesti vikapaikan ja sähköaseman välillä, taustaverkon huomioon ottaen. On otettava huomioon lasketatavan toimivuus ainoastaan laskettaessa sellaista verkkoa, jonka jokaisen vaiheen kokonaisimpedanssit Z_k ovat symmetriset, kuten itseisarvo merkinnät impedanssien kohdalla antavat ymmärtää. Kaavan antama kaksivaiheinen oikosulkuvirta on kahden vaiheen välillä oleva maksimioikosulkuvirta $I_{k2 \max}$.

$$I_{k2} = \frac{c U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} = \frac{c U_n}{2 \cdot |Z_{(1)}|} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3} \approx 0,866 \cdot I_{k3} \quad (17)$$

8.2.1 Laskelmat

Oikosulkuvirtojen sekä kolmivaiheisten I_{k3} että kaksivaiheisten I_{k2} laskennat toteutettiin ABB:n DMS600 integra -ohjelmalla. Tulosten paikkaansa pitävyys ja vertailukelpoisuus varmistettiin laske- malla kolmi- ja kaksivaiheinen oikosulkuvirta muuntoaseman keskijännitekiskossa. Kiskon kolmivai- heisen oikosulkuvirran laskenta aloitetaan redusoimalla taustaverkon resistanssin R_s ja reaktanssin X_s arvot 10 kV verkkoon. Redusointi suoritetaan päämuuntajan nimellisten jännitteiden suhteen pe- rusteella korottamalla muuntosuhde toiseen potenssiin kuten kaavassa 18. (European Committee for Electrotechnical Standardization, 2001) Toiseen jänniteportaaseen redusoidusta arvosta käytetään alkuperäisen arvon tunnusta ja yläheittomerkkiä (').

$$\underline{Z}'_s = \mu^2 \cdot \underline{Z}_s = \left(\frac{10,5 \text{ kV}}{110 \text{ kV}} \right)^2 \cdot 16,164 \angle 70,11^\circ \Omega = 0,147 \angle 70,11^\circ \Omega \quad (18)$$

Laskettaessa yhteen taustaverkon aiheuttama impedanssi \underline{Z}'_s sekä päämuuntajan aiheuttama impe- danssi \underline{Z}'_T saadaan laskettua kiskostoon vaikuttava kokonaisimpedanssi kaavalla 19. (European Committee for Electrotechnical Standardization, 2001) Koska laskenta suoritetaan suoraan sähkö- asemalla, johtimet eivät aiheuta piiriin impedanssia. Laskennassa ei oteta huomioon kiskoston ai- heuttamaa impedanssia, koska sen arvo on merkityksettömän pieni laskennan kannalta.

$$\underline{Z}_k = \underline{Z}'_s + \underline{Z}'_T = 0,147 \angle 70,11^\circ \Omega + 0,7165 \angle 86,95^\circ \Omega = 0,859 \angle 84,1^\circ \Omega \quad (19)$$

Kuten luvun 8.2 alussa on kerrottu, saadaan kolmivaiheinen oikosulkuvirta sähköaseman kiskossa tapahtuvassa viassa laskettua edellä mainittujen tietojen avulla kaavalla 20. (European Committee for Electrotechnical Standardization, 2001)

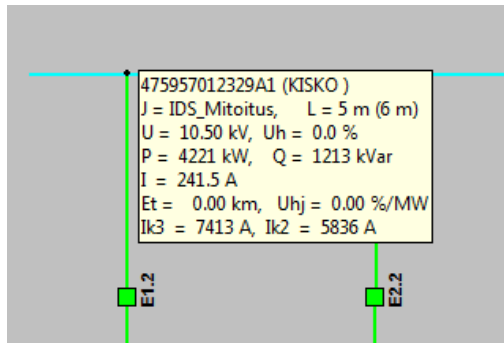
$$I_{k3} = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{1,1 \cdot 10 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 0,859 \Omega \angle 84,1^\circ} = 7393 \angle 84,1^\circ \text{ A} \quad (20)$$

Laskettaessa kaksivaiheista minimoioikosulkuvirtaa täytyy kaavaa 20 muokata siten, että jänniteker- toimen c arvoksi asetetaan 1, kuten IEC-60909-0 taulukko 1 määrittelee laskettaessa minimoioikosul- kuvirtaa. c :n arvolla 1 laskettu kolmivaiheinen minimoioikosulkuvirta on esitetty kaavassa 21. Kaksi- vaiheinen minimoioikosulkuvirta saadaan laskettua kaavan 22 avulla käyttämällä aiemmin saatua kol- mivaiheista minimoioikosulkuvirtaa. (European Committee for Electrotechnical Standardization, 2001)

$$I_{k3 \text{ min}} = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{1 \cdot 10 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 0,859 \Omega \angle 84,1^\circ} = 6721 \angle 84,1^\circ \text{ A} \quad (21)$$

$$I_{k2 \text{ min}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6721 \text{ A} \angle 84,1^\circ = 5820 \angle 84,1^\circ \text{ A} \quad (22)$$

Itse laskemalla saadut tulokset vastaavat melko hyvin DSM 600 -ohjelman laskentatietoa, jota kuva 10 esittää. Laskettujen tulosten ero kolmivaiheisessa maksimioikosulkuvirran tapauksessa on 20 A ja kaksivaiheisessa minimioikosulkuvirrassa 16 A, jotka tarkoittavat alle 0,3 %:n eroa. Näin pienet erot ovat selitettävissä pyöristyksillä laskentaprosessin eri vaiheissa. Kyseisen kokoluokan eroilla ei ole käytännössä merkitystä, koska suojausta suunniteltaessa varmuuskertoimet ovat huomattavasti suuremmat, kuin esille tulleet erot.



KUVA 10. Ruutukaappaus DMS 600 -ohjelmasta, jossa esitelty kiskossa tapahtuva kolmivaiheisen oikosulun aiheuttama vikavirta I_{k3} sekä kaksivaiheinen vikavirta.

Taulukossa 4 on esitetty DMS 600 -ohjelman laskemat tulokset. Jännitteenalenema on laskettu pääsyöttö suuntaa käyttäen maksimi kuormitustilanteessa jännitteen ollessa nimellisesti 10,5 kV. Kuormitusvirtojen osalta taulukko ei vastaa aiemmin laskettuja. Syynä tähän on DMS 600 - ohjelman laskentamalli, jossa $\cos\phi$ arvon muuttaminen vastaamaan todellista käyttötilannetta ei onnistunut.

TAULUKKO 4. Taulukossa esitetty DMS 600 -ohjelman antamat laskentatulokset

muuntaja	jännite kV	teho kW	virta A	ik3 A	ik2 A
MA1M9	10,41	408	23,6	5981	4709
MA2M1	10,41	374	21,6	6243	4915
MA2M2	10,41	515	29,8	6243	4915
MA3M5	10,42	1139	65,7	6484	5105
MA3M7	10,42	1680	97	6475	5098
MA4M6	10,41	671	38,8	6188	4856
MA5M8	10,43	859	49,5	6658	5242

8.2.2 Suojaukset

Olville tulevan pääsyöttösuunnan kaapelin suojana toimivan katkaisijan releen koestuskortti on esitelty liitteessä 4. Käytössä olevien mittamuuntajien arvoilla saadaan hitaimmalla portaalla, joka on 0,3 s laukaisevaksi virraksi 600 A, joka on huomattavasti pienempi kuin heikoin kaksivaiheinen oikosulkuvirta kohteessa. Relekortilla oleva nopeampi porras 0,04 s laukaisulla havahtuu 3 600 A virralla, joka ylittyy kaikissa verkon osissa toimien nopeampana laukaisuna. Syötöllä ei ole jälleen kytkentöjä käytössä. (Kiiski, Sähköpostikeskustelu Olvin ja Savon Voima Verkon kaapeloinnista, 2016) DMS 600 - ohjelman oikosulkulaskentalistaus on esitetty liitteessä 6 ja sen tulkitsemisohje liitteessä 7. Laukaisu tapahtuessa nopeasti kaapeleiden lämpeneminen on niin pientä, että se on jätetty huomiotta.

8.3 Maasulku

Maasululla tarkoitetaan tilannetta, jossa jokin kolmesta keskijänniteverkon vaiheesta on yhteydessä maahan joko suoraan tai vikavastuksen kautta. Savon Voiman Luuniemen 110/10 kV muuntajan jälkeinen verkko on kokonaisuudessaan maasta erotettu. (Kiiski, Sähköpostikeskustelu Olvin ja Savon Voima Verkon kaapeloinnista, 2015) Standardin SFS 6001 mukaan kaikki maasulkuutilanteet on havaittava ja kytkettävä pois joko automaattisesti tai käsin. Olvia syöttävä lähtö on suojarieleen kautta automaattisen poiskytkennän piirissä.

8.3.1 Laskennat

Maasulun aikaisen vikavirran I_f suuruuteen vaikuttaa koko galvaanisesti yhdessä olevan keskijänniteverkon maakapasitanssi C , lähdejännite E sekä vikapaikan vastus R_f . Vikavirran suuruuteen vaikuttaa myös verkon taajuus f , joka Suomessa on 50 Hz. Maakapasitanssin suuruuteen vaikuttaa keskijänniteverkon pituus sekä verkon tyyppi joka voi olla rakennettu ilmajohdoilla, maakaapeleilla tai kuten tämän työn kohdalla sekaverkko. Maasulkuvirran laskentaan käytetään kaavaa 23 tai siitä muokattua kaavaa 24. (Lakervi & Partanen, 2012)

$$\underline{I}_f = \frac{\underline{E}}{R_f + \frac{1}{j3\omega C}} \quad (23)$$

$$\underline{I}_f = \frac{j3\omega C}{1 + j3\omega C R_f} \underline{U} \quad (24)$$

Savon Voimalta saatujen laskelmien (Kiiski, Sähköpostikeskustelu Olvin ja Savon Voima Verkon kaapeloinnista, 2015) mukaan normaalin kytkentätilanteen mukainen maasulkuvirta I on noin 26,1 A jonka avulla saadaan laskettua verkon maakapasitanssi käyttäen kaavaa 23. Ilmoitettu maasulkuvirta oletetaan vikavastuksettoman tilan virraksi jolloin maakapasitanssin arvo on 4 798,9 nF. Vikavastuksella 500 Ω maasulkuvirta on 10,56 \angle 23,86° A ja 3 000 Ω vikavastuksella 1,92 \angle 4,22° A.

Vikavirran ohella tähtipiste- eli nollajännitteellä on suojausten toimivuuden kannalta oleellinen merkitys. Tämä johtuu siitä että vikavirrat ovat hyvin usein pienempiä kuin kulutusvirrat, kuten tässäkin tapauksessa suurimpien kulutusvirtojen ollessa satoja ampeereja jää maasulkuutilanteen vikavirta suurimmillaankin kymmeniin ampeereihin. Maasulun havaitseminen on toteutettu nollajännitteen ja virtamuuntajien avulla. Maasulun aikaisen tähtipistejännitteen määrittämiseen käytetään kaavaa 25 tai siitä johdettua kaavaa 26.

$$\underline{U}_0 = \frac{1}{j3\omega C} * (-\underline{I}_f) \quad (25)$$

$$\underline{U}_0 = \frac{-1}{1 + j3\omega C R_f} \underline{U}_V \quad (26)$$

Laskettaessa kaavan 27 avulla maasulussa esiintyviä jännitteitä saadaan maadoitusjännitteen suuruudeksi 0Ω vikavastuksella $5\,773,3 \angle 180^\circ \text{ V}$, 500Ω vikavastuksella $2\,335,9 \angle 93,86^\circ \text{ V}$ ja $3\,000 \Omega$ vikavastuksella $424,7 \angle 94,22^\circ \text{ V}$.

8.3.2 Suojaukset

Releen koestusdokumentissa (liite 4) todetaan maasulkusuojan havahtuvan 1 A virrasta, joka toteutuu $3\,000 \Omega$ asti, jolloin maasulkuvirta on 1,92 A. Dokumentissa ilmoitetaan releen maasulkusuojan laukaisevan 20 % nimellisjännitteen ilmenemisen joka on 1 154,7 V, jolla maasulkuvirraksi tulee 5,2 A. Edellä laskettuihin tietoihin pohjautuen voidaan todeta maasulkusuojauksen olevan toimiva. Liitteessä 8 on DMS 600 – ohjelman maasulkulaskentalistus ja liitteessä 9 sen tulkintaohje. Laskennoissa esille tulleet erot johtuvat laskentajännitteestä joka työssä oli 10 kV DMS 600:n käyttäessä 11 kV jännitettä.

8.3.3 Maadoitusjännite

Maasulkuvirta I_f aiheuttaa maadoitusresistanssissa R_m maadoitusjännitteen U_m joka lasketaan kaavalla 27. Maadoitusjännite aiheuttaa ihmisen tai eläimen kosketeltavissa olevan ns. kosketusjännitteen. Standardi SFS 6001 määrittelee sallitut kosketusjännitteet U_{TP} erilaisille asennuksille. (Lakervi & Partanen, 2012) Maadoitusjännite U_m ei saa ylittää kaavan 28 antamaa tulosta, jossa k on arvo jota käytetään erisuuruisena tilanteesta riippuen. Tavoite tasona käytetään arvoa 2, mutta jos se ei ole mahdollista niin lukua 4 tai jopa 5 voidaan käyttää tietyin erityisehdoin.

$$U_m = I_f * R_m \quad (27)$$

$$U_m \leq k * U_{TP} \quad (28)$$

Olivia syöttävän lähdön suojareleen asetuksissa on releen havaitsemisen ja katkasijan laukeamisen yhteisaika vikatilanteesta 0,3 s, jolla suurimmaksi kosketusjännitteen arvoksi tulee n. 400 V (SESKO, 2015) jota käytettäessä k :n arvolla 2 tulee maadoitusjännitteen maksimiarvoksi n. 800 V. Kun tunnetaan suurin mahdollinen esiintyvä maasulkuvirta 26,1 A, joka saadaan laskettaessa 0Ω vikavastuksella, saadaan suurimmaksi sallituksi maadoitusresistanssiksi $30,6 \Omega$. Laskettaessa 500Ω vikavastuksen virralla 10,56 A nousee suurin sallittu maadoitusresistanssin arvoon $75,8 \Omega$. Kohteesta ei ole tiedossa maadoitusresistanssin arvoja, joten kosketusjännitteen suuruutta ei ole arvioitu.

9 VERKON KEHITTÄMINEN

9.1 Tähänastiset muutokset

Olvin sähkösyöttö on varmistettu kahdesta erillisestä syöttösuunnasta kahden eri lähdön syöttämänä. Nämä kaksi syöttöä on kuitenkin syötetty saman 110/10 kV muuntajalta. Keski-jänniteverkossa on mahdollista tehdä huolto- ja kunnossapitotehtäviä sähkönsyötön katkeamatta, koska suurin osa verkon osista on varmistettu varasyötöllä PJ-puolelta.

9.2 Sähkönlaadun parantaminen

Pidempiin sähkökatkoihin varautuminen vaatisi oman varavoimajärjestelmän rakentamisen, mikä ei kuitenkaan taloudellisesti tulisi kannattavaksi, johtuen sen suhteellisen pienestä tarpeesta. Suurin osa kohteen sähkökatkoista on lyhyitä, jotka kuitenkin riittävät keskeyttämään prosesseja ja ajamaan turvapiirit alas. Sähkökatkot johtuvatkin todennäköisesti lähes poikkeuksetta saman 110/10 kV muuntajan syöttämästä maaseutuverkosta johon kuuluu kymmeniä kilometrejä ilmajohtoa. Aina kun saman muuntajan perässä olevan verkon jännite käy jostain syystä osassa verkkoa alhaalla, vaikuttaa se väkisin muihinkin lähtöihin. Tämän tilanteen korjaamiseksi voisi oma 110/10 kV muuntaja Simonniemen muuntoasemalla parantaa tilannetta huomattavasti, koska 10 kV:n verkon puolella tapahtuva oikosulku tilannekaan ei aiheuta 110 kV verkon puolelle niin suuria ongelmia kuin suora yhteys saman muuntajan takaa. Toinen potentiaalinen vaihtoehto olisi sijoittaa keskeisiin paikkoihin UPS laitteistoja joilla saataisiin pidettyä prosessit ylhäällä tai ainakin ajettua ne hallitusti alas. Tällainen UPS järjestelmä tulisi varmastikin edullisemmaksi vaihtoehdoksi kuin oma muuntaja. Yhtenä vaihtoehtona laadun parantamiseksi on odottaa säävarman verkon rakentaminen loppuun, jolloin pienien katkojen pitäisi hävitä olemattomiin.

MA5M8:n muuntajan lämpenemistä tarkkailevien termistorien relettä ei ole kytketty kiinteistöautomaatioon. Tämä olisi erityisen suotavaa, jotta muuntajan liiallisesta lämpenemisestä saataisiin tieto ennen mahdollisia laitevaurioita. Pääkeskuksiin kannattaisi harkita kompaktikatkaisijoita pääkytkimien tilalle, jotta PJ-puolella pääkeskuksen kiskostossa tapahtuvat viat saataisiin rajattua jo ennen muuntajaa. Muuntajia olisi hyvä suojata myös KJ-puolelta katkaisijan avulla, joka toimisi nopeammin ja tarkemmin kuin nykyinen sulakesuojaus.

9.3 Työvälineet ja virhemarginaalit

Etäisyysmittaria käytettiin kaapelimittojen tarkastamiseen rakennuksen sisä osissa. Excel-ohjelmaa käytettiin analysointiläydä saadun datan jalostamiseen siten, että verkon osien kuormitusolanteet ja jännitteenalenemat saatiin laskettua tietojen pohjalta. ABB:n DMS 600 Integra – ohjelmalla mallinnettiin oiko- ja maasulku tilanteiden laskentaan sekä jännitteenalenemia. CADs-ohjelmalla piirrettiin sähkökaaviot muuntoasemista sekä niiden välisistä kaapeleista.

Mahdollisia virheitä työssä on voinut tulla kaapelimittojen kohdalla, jolloin jännitteenalenemat ja oikosulkuvirrat eivät olisi totuuden mukaisia. Jännitteenaleneman vähäisyydestä ja oikosulkuvirtojen suuruudesta johtuen pienillä kaapelimittojen virheillä ei ole työn tulosten kannalta merkitystä. PC-sovellusten osalta ei virheitä ole havaittu verrattuna laskennallisiin esimerkkeihin. Joissain tapauksissa piientä eroa on havaittavissa esimerkiksi $\cos\phi$ arvon ja laskentajännitteen osalta, näillä ei kuitenkaan ole tuloksiin niin suurta vaikutusta etteikö niitä voisi pitää luotettavina.

10 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli tarkastella Olvi Oyj:n KJ-verkon komponentteja, tehonjakoa sekä vika-tilanteita. KTMp 516:n mukaan on kiinteistössä oltava käytönjohtaja, jos verkko on nimellisjännitteeltään yli 1 000 V ja sen liittymisteho on yli 1 600 kVA. Tässä verkossa molemmat ehdot täyttyvät. Työn tuloksista koostettiin käytönjohtajan käyttöön dokumentit, joiden pohjalta voidaan todeta nykyisen verkon olevan kunnossa ja suunnitella mahdollisia tulevia laajennuksia.

Kiinteistön KJ-verkosta oli olemassa CADS-kuvat, mutta selkeää yksittäistä piirustusta kaapeloinnista ei ollut olemassa, joten kaikkien kiinteistön muuntoasemien kuvat tarkastettiin ja piirrettiin puhtaaksi. Kaapeleiden pituudet tarkastettiin ja keskeisimmistä KJ-komponenteista tehtiin työhön esittely. Piirustuksista ei löytynyt varsinaisia vakavia puutteita, vaan lähinnä dokumenttien hajanaisuus oli ongelma, joka saatiin työn tuotosten dokumentoinnilla korjattua.

Tehonjaossa keskityttiin tutkimaan muuntajien ja kaapeleiden kuormitustilannetta PJ-puolen pääkeskuksiin asennettujen verkkovirta-analysaattoreiden tietojen avulla. Analysaattoreiden tietojen perusteella havaittiin kaksi ylikuormitettua muuntajaa, joista enemmän kuormitettuun asennettiin Fluken verkkovirta-analysaattori. Fluken mittaamissa 10 minuutin tehollisissa keskiarvoissa virrat olivat n. 75 % kiinteän analysaattorin mittaamista maksimivirroista. Kahden viikon mittausjakson aikana suurimmat esiintyneet virrat Fluken mittarilla mitattaessa olivat 1 200 A kiinteän analysaattorin mitattaessa samalta ajalta enimmillään 1 600 A virtoja. Mittausajanjaksolla ei näin ollen syntynyt sellaisia tilanteita, että muuntajaa olisi kuormitettu niin kauan ylikuormalla, että siitä olisi haittaa. Kuormitustilanne on kuitenkin otettava huomioon esimerkiksi suunniteltaessa uudistuksia verkkoon.

Tehdaskiinteistö sijaitsee lyhyen matkan päässä Luuniemen 110/10 kV päämuuntajasta. Poikkipinnaltaan suurempien kaapeleiden ansiosta pääsyöttösuunnan jännitteenalenema on vain 1,52 %. Varasyöttösuunnalta kiinteistön verkkoa syötettäessä on jännitteenalenema suurimmillaan 5,16 % mikä johtuu pidemmistä ja poikkipinnaltaan pienemmistä kaapeleista. Nämä suurimmat jännitteenalenemat on laskettu kiinteiden verkkovirta-analysaattoreiden tietojen pohjalta verkostosuosituksen SA5:94 ohjeen mukaisesti käyttäen risteilykerrointa 1. Verkostosuosituksessa todetaan 4 % jännitteenaleneman olevan liian suuri. Verkkoa todellisuudessa kuormittava kokonaisvirta on noin puolet laskelmissa käytetyistä, joten jännitteenalenemat jäävät molemmista syöttösuunnista alle 4 %.

Maasulkutilanteet mallinnettiin käsin laskennalla ja tulokset varmistettiin ABB:n DMS Integra – ohjelmalla. Maasulkutilanteista muodostuu aina maadoitusjännite, joka aiheuttaa kosketusjännitteen. Sitä ei työssä kuitenkaan päästy tarkastelemaan, koska kohteen maadoitusvastuksia ei tiedetä.

Oikosulkulaskennat toteutettiin ABB:n DMS Integra -ohjelmalla. Tulosten mukaan verkossa esiintyvät pienimmät kaksivaiheiset oikosulkuvirrat riittävät laukaisemaan verkkoa syöttävän katkaisijan myös pikalaukaisuportaalla, jolloin katkaisijan laukeamisajaksi muodostuu vain 0,04 s. Kaapeleiden lämpeneminen noin lyhyellä laukaisuajalla jää pieneksi.

LÄHTEET

- Ahoranta, J. (2009). *Sähkötekniikka*. Porvoo: WSOYpro Oy.
- Energiateollisuus. (2008). *Verkostosuositus SA2:08*. Helsinki: Energiateollisuus.
- European Committee for Electrotechnical Standardization. (2001). *IEC 60909-0*. Helsinki: Suomen Standarsoimisliitto SFS ry.
- Hietalahti, L. (2011). *Muuntajat ja sähkökoneet*. Vantaa: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 516. (14. 6 1996). Noudettu osoitteesta edilex.fi:
<http://plus.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19960516?toc=1>
- Kiiski, T. (2015). Sähköpostikeskustelu Olvin ja Savon Voima Verkon kaapeloinnista. (R. Väisänen, Haastattelija)
- Kiiski, T. (2016). Sähköpostikeskustelu Olvin ja Savon Voima Verkon kaapeloinnista. (R. Väisänen, Haastattelija)
- Lakervi, E.; & Partanen, J. (2012). *Sähkönjakelutekniikka*. Helsinki: Otatieto.
- Olvi Oyj. (16. 2 2016). Noudettu osoitteesta Olvi Oyj:n kotisivu: <http://www.olvi.fi/web/fi/yritys>
- Olvi Oyj. (16. 5 2016). Noudettu osoitteesta Olvi Oyj:n kotisivu:
http://www.olvi.fi/c/document_library/get_file?folderId=574083&name=DLFE-15616.pdf
- Reka. (2016). Reka. Noudettu osoitteesta <http://www.reka.fi/keski-ja-suurjannitekaapelit/keskijannitekaapelit/keskijannitekaapeli-ahxamk-w-20-kv>
- Schneider Electric, T. (2016). Schneider Electric. Noudettu osoitteesta <http://www.schneider-electric.fr/fr/product-range/977-trihal/>
- SESKO. (2015). *SFS-käsikirja 601*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Siba. (2016). Siba. Noudettu osoitteesta http://www.siba-fuses.com/upload/images/service/SSK_mitKlapper_21-05-13-EN-web.pdf
- Sähköenergialiitto. (1994). *KJ-verkon sähköinen mitoittaminen SA5:94*. HELSINKI: Sähköenergialiitto ry SENER.
- Tammertekniikka. (2008). *Tekniikan kaavasto*. Jyväskylä: Tammertekniikka / Amk-kustannus Oy.
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. (15. 6 2014). Noudettu osoitteesta Tukes: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkoalan-vastuuhenkilot-ja-urakointi/Sahkolaitteiston-kayton-johtaja/>
- Väisänen, R. (2015). Olvi Oyj, Iisalmi.
- Väisänen, R. (2016). Olvi Oyj, Iisalmi.
- Väisänen, R. (2016). *Ruutukaappaus ABB:n DMS 600 integra -ohjelmasta*. Savonia Ammattikorkeakoulu, Kuopio.
- yritysassiakaspalvelu, S. (2016). Olvin kulutustiedot. (P. Kääriäinen, Haastattelija)

LIITE 1. TAUSTAVERKON TIEDOT.

[Sähköverkosto] SJ-syöttöpiste	
Kentän nimi	Arvo
☒ Taustaverkon nimellisjännite *	116.4 kV
☒ Taustaverkon reaktanssi *	15.2 ohm
☒ Taustaverkon resistanssi *	5.5 ohm

LIITE 2. PÄÄMUUNTAJAN TIEDOT

[Sähköverkosto] Päämuuntaja				
Kentän nimi	Arvo	Δ	*	▲
☒ Tunnus	36E02PT2			
☒ Nimellisteho Sn *	16.0 MVA			
☒ Nimellisteho Sn2 *				megavoltti-ampeeri ▼
☒ Nimellisteho Sn3 *				
☒ Katalogityyppi				
☒ Tyhjäkäyntihäviöt P0 *	13.5 kW			
☒ S0				
☒ Tyhjäkäyntivirta I0	0.0 A			
☒ Ensiojännite, Un1 *	110.0 kV			
☒ Toisiojännite, Un2 *	10.5 kV			
☒ Tertiöjännite, Un3 *				
☒ Rkmin				
☒ Rkmax				
☒ Maadoitusresistanssi 1 *				
☒ Maadoitusresistanssi 2 *				
☒ Maadoitusresistanssi 3 *				
☒ Laskentajännite, Un2 *	10.3 kV			
☒ Kytentäryhmä *				
☒ Öljymäärä	10500.0 kg			
☒ Valmistusnumero	549336			
☒ Karttatekstin sijainti	✓			
☒ Karttateksti				
☒ Valmistusvuosi	1974			
☒ Lisätieto	Peruskorjattu 2002			
☒ Suunnittelutila	Ei mikään		*	
☒ Tila	Käytössä		*	
☒ Aseman nimi	SIMONNIEMI			
☒ Käämikytkimen tunnus				
☒ Käämikytkimen tyyppi	M III 300-110/C MA 7			
☒ Käämikytkimen asetus	110000 +9*1,67%/10500 V			
☒ Käämikytkimen öljytyyppi				
☒ Käämikytkimen öljymäärä				
☒ Käämikytkimen valmistusv...	1974			
☒ Käämikytkimen valmistaja	REIN			
☒ Jänniteensäätimen tyyppi				
☒ Jänniteensäätimen asetus	10.3 kV			
☒ Jänniteensäätimen valmist...				
☒ Jänniteensäätimen valmist...				
☒ Hinta				
☒ Purkukustannus				
☒ Kustannus verkostoyksiköi...				
☒ Purkukustannus verkostoy...				
☒ Valmistaja				
☒ Tyyppi				
☒ Ur				

☒ Uk				
☒ Kolmikäämi?	Ei			*
☒ Korkeus				
☒ Syvyys				
☒ Leveys				
☒ Kokonaispaino				
☒ Kytentäpvm				
☒ Toimitus pvm				
☒ Eristysluokka				
☒ Pintasuojaus				
☒ Käämikytkimen asento				
☒ Väliottokytkimen askel %				
☒ Väliottokytkimen askeleen ...				
☒ Väliottokytkimen askeleen ...				
☒ Lisätieto (konversio)				
☒ Vaihtoehtoiset asetukset				
☒ Laskentajännite, Un3 *				
☒ Lisääjä	KEMILJUH			*
☒ Lisätty (pvm)	29.01.2004			*
☒ Muokkaaja	mhuo			*
☒ Muutettu (pvm)	16.04.2013			*
☒ Pk 12 *	88.4 kW			
☒ Pk 13 *				
☒ Pk 23 *				
☒ Uk 12 *	10.4 %			
☒ Uk 13 *				
☒ Uk 23 *				

LIITE 3. KAAPELEIDEN VASTUSARVOT SOLMUVÄLEITTÄIN.

Lähtö	Tulo	Kaapelityyppi	Kaapelipituus m	R Ohm	X Ohm
SIMONNIEMI	MA5	AHXAMK-W 3*185Al+35Cu	717,4	0,1212	0,0854
MA5	MA3	AHXAMK-W 3*185Al+35Cu	174,6	0,0295	0,0208
MA3	MA2	AHXAMK-W 3*185Al+35Cu	250,7	0,0424	0,0298
MA2	MA1	AHXAMK-W 3*185Al+35Cu	280	0,0473	0,0333
MA1	Varasyöttö	AHXAMK-W 3*185Al+35Cu	1237	0,2091	0,1472
MA1	Varasyöttö	AHXAMK-W 3*95Al+35Cu	782,6	0,2551	0,1033
MA3 (sis)	MA3	AHXAMK-W 3*185Al+35Cu	9	0,0015	0,0011
MA2	MA4	AHXAMK-W 3*120Al+35Cu	75,2	0,0193	0,0097
MA5	5M8	3*HXCMK 1*35/16	7	0,0038	0,0014
MA3	3M5	3*HXCMK 1*35/16	7	0,0038	0,0014
MA3	3M7	3*HXCMK 1*35/16	7	0,0038	0,0014
MA2	2M1	3*HXCMK 1*35/16	6	0,0032	0,0012
MA2	2M2	3*HXCMK 1*35/16	6	0,0032	0,0012
MA1	1M9	3*HXCMK 1*35/16	7	0,0038	0,0014

LIITE 4. SUOJARELEEN ASETTELUT JA KOESTUSTULOKSET



VOIMATEL

RELEEN KOESTUSKORTTI

Päivämäärä	05.11.2014
Numero	
Sivu	1/1

Asiakkaan ja käyttöpaikan tiedot	Nimi	Savon Voima Verkko Oy	Puhelinnumero	
	Lähiosoite	Kapteeninväylä 5	Asiakasnumero	
	Postiosoite	PL 1024	Käyttöpaikan nimi	
	Postitoimipaikka	70 901 Toivala		

Sijainti	Paikkakunta	Iisalmi	Asema	Simonniemi	Nimistö	K16 Olvi
----------	-------------	---------	-------	------------	---------	----------

Rele	Rele	SPAA 341 C1	Valmistaja	ABB	tyyppi	Johdonsuoja	Nro	333 306
------	------	-------------	------------	-----	--------	-------------	-----	---------

Tekniset tiedot	Releän nimellivirta	(In>) 5A (Io>) 1A	Syöttöjännite	SPGU 240 A1	Apujännite	80 ... 265 V _~
	Mittauslaitteet	200 - 400 / 5 / 5A	Maapainvirtauslaitteet	100 / 1A		

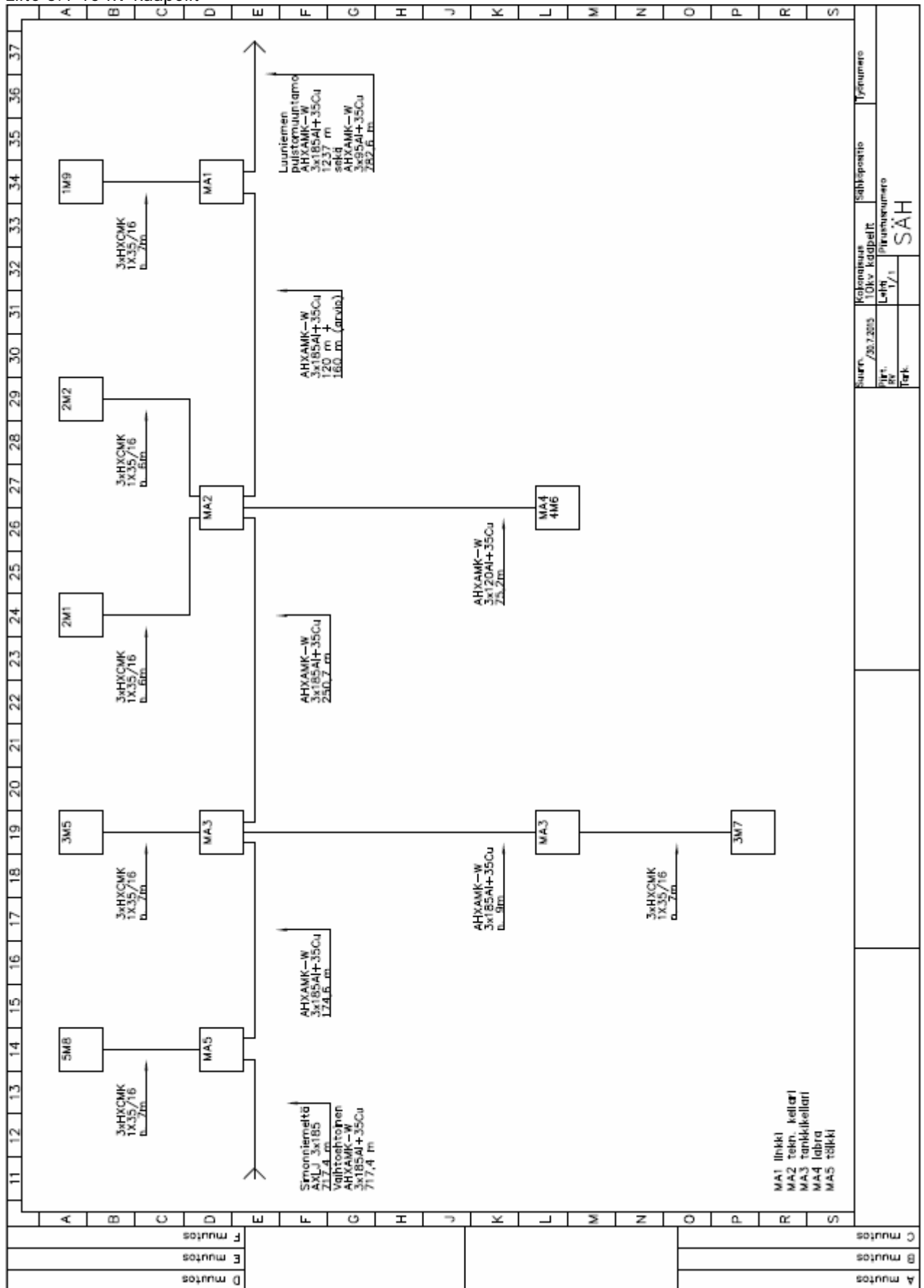
Ohjelmointi	SPCJ 4D26 A 231			SPCS 2D26 A 232				
	SGF		SGR	SGF		SGR		
	1 ^a	0	1 ^a	1	1 ^a	0		
2 ^a	128	2 ^a	24	2 ^a	0	2 ^a	0	= 2
3 ^a	0	3 ^a	0	3 ^a	170	3 ^a	0	= 4
4 ^a	0	4 ^a	24	4 ^a	0	4 ^a	72	= 8
5 ^a	170	5 ^a	0	5 ^a	0	5 ^a	0	= 16
6 ^a	0	6 ^a	24			6 ^a	72	= 32
7 ^a	0	7 ^a	0					= 64
8 ^a	0	8 ^a	72					= 128
		9 ^a	0					
		10 ^a	0					
		11 ^a	24					

Asetusarvot	Virta	Aika	Virta	Aika	Virta	Aika	Virta	Aika	$\Delta I >$	Aika	Sellyksiä
	I> / In	t> / s	I>> / In	t>> / s	I>>> / In	t>>> / s	Io> / In	to> / s	%	$\Delta t >$ / s	
	1,50 x In	0,30	9,0 x In	0,040	14,0 x In	0,040	0,10 x In	1,00	90	1,00	SPCJ 4D26
	7,5 A		45,0 A		70,0 A		0,5 A				
	Uob> %	tb> / s	to1> %	Uo1> %	t1> / s	to2> %	Uo2> %	t2> / s			
	20% x Uo	0,25	1,0 x In	---	0,25	1,0 x In	---	0,40			SPCS 2D26
	20 V		0,01 A			0,01 A					

Koestusarvot	Vaihe	Havaht.	Päästää	Päästö-	Aika	Rele+kat-	Havaht.	Aika	Rele+kat-	Sellyksiä	
		I> / A	I> / A	suhde	t> / s	ka / s	I> / A	t> / s	ka / s		
	L1	7,51	7,17	0,95			45,21				
	L2	7,50	7,15	0,95			45,42				
	L3	7,47	7,14	0,96	0,297	0,372	45,94	0,044	0,096		
							Havahtuu	Aika	Rele+kat-		
							I>>> / A	t>>> / s	ka / s		
	L1						69,31				
	L2						69,12				
	L3						69,10	0,043	0,095		
	$\Delta I > / L1$	0,700	0,691	0,99						Vaihekatkossuoja L1	
	$\Delta I > / L2$	0,698	0,694	0,99						Vaihekatkossuoja L2	
	$\Delta I > / L3$	0,701	0,689	0,98	1,010	1,056				Vaihekatkossuoja L3	
	Io>	0,497	0,468	0,94	1,021	1,068					
	Havahtuu	Päästää	Havahtuu	Päästää	Aika I1>	Rele+kat-	Havahtuu	Päästää	Aika I2>	Rele+kat-	Vaihekuilma
	Uob> / V	Uob> / V	to1>/mA	to1>/mA	/s	ka / s	to2>/mA	to2>/mA	/s	ka / s	+78, -81
	19,83	18,55	10	9	0,255	0,301	12	11	0,404	0,460	

LIITE 5 SÄHKÖPIIRUSTUKSET

Liite 5.1 10 kV kaapelit

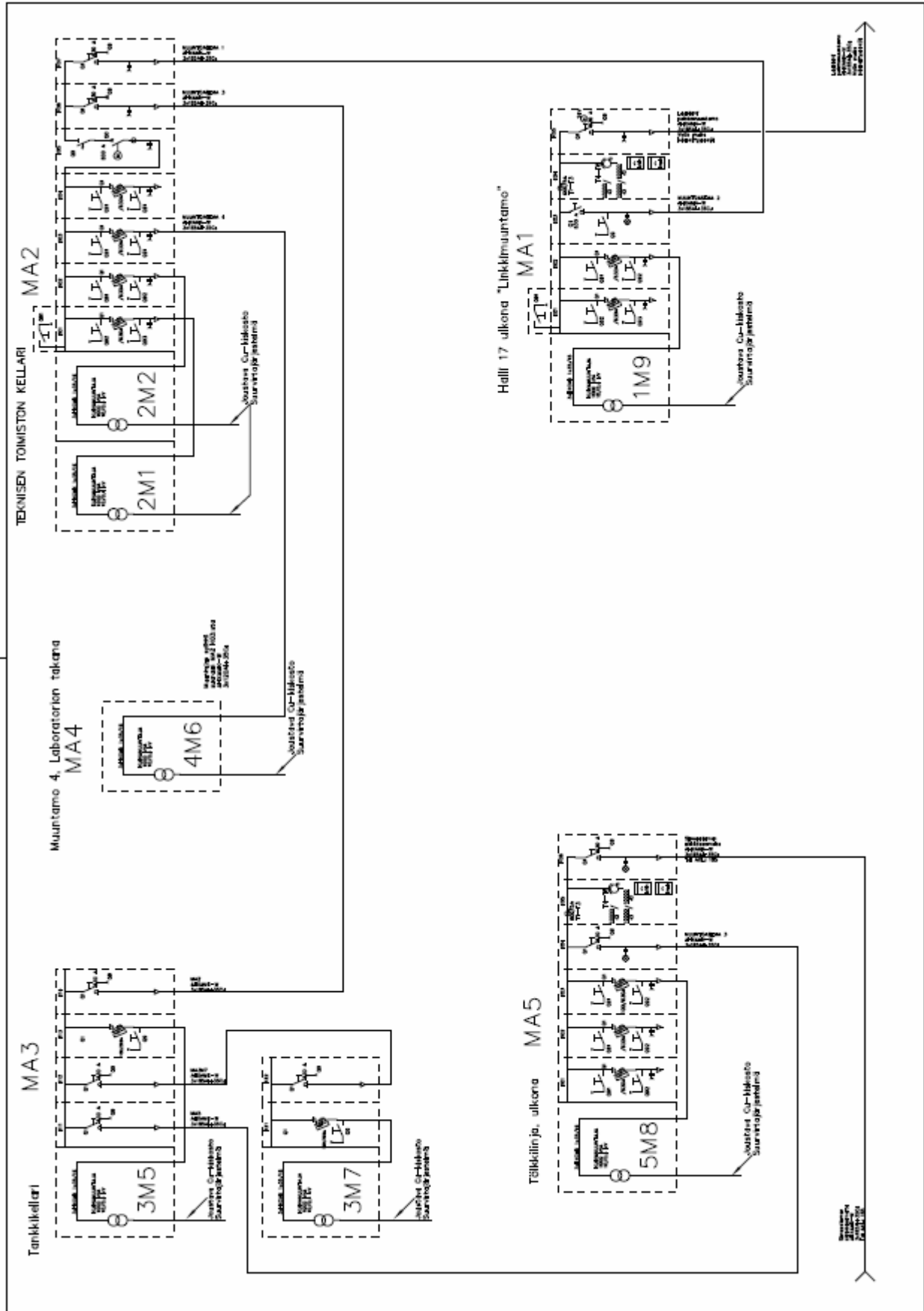


Suunn.		Kokonaissuunn.		Sähkösysteemi		Yhteensä	
Proj. nro	Terä.	10kV kaapelit	Lehti	Yhteensä	Yhteensä	Yhteensä	Yhteensä
720.7.2015			1/1				
				SÄH			

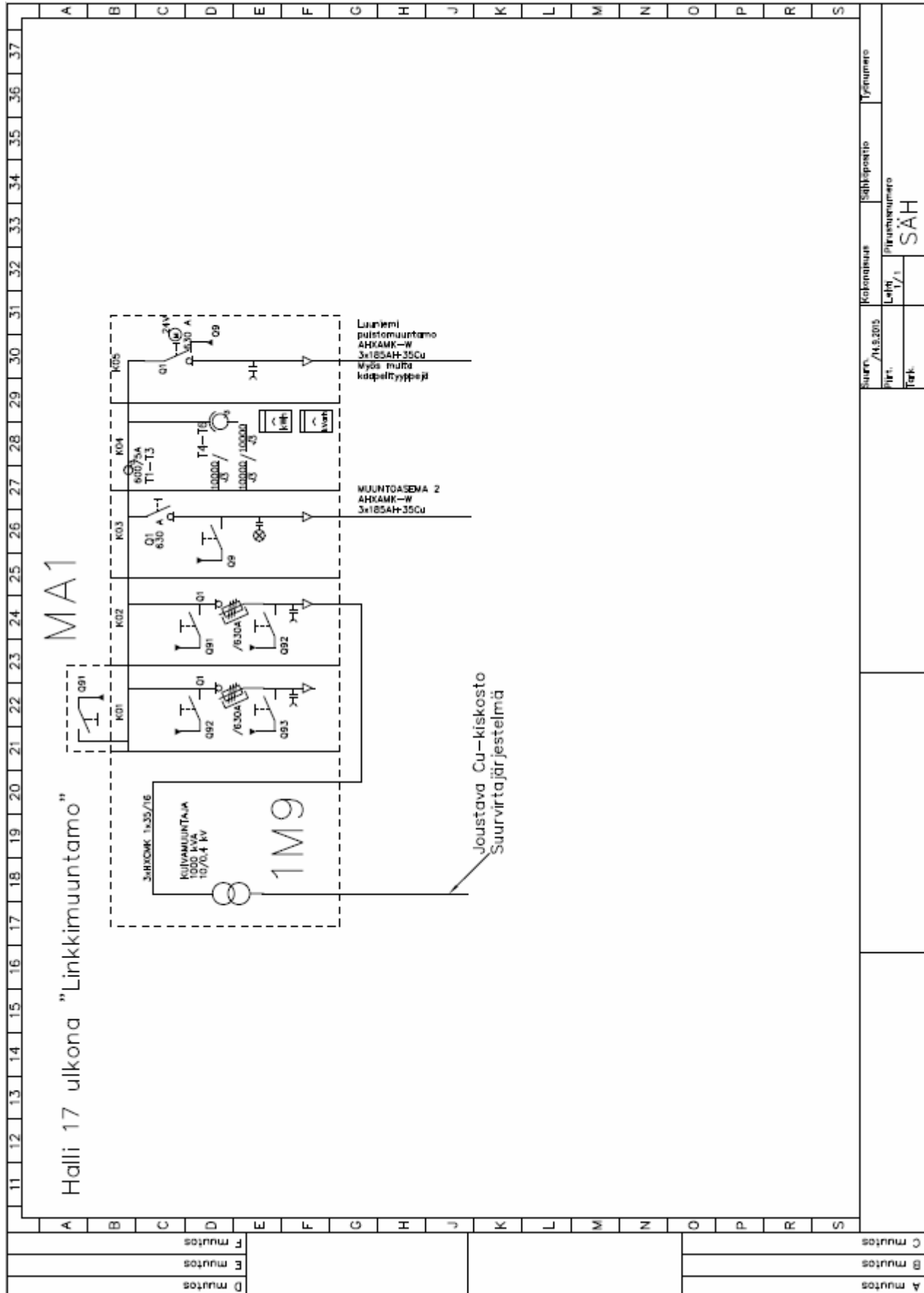
D muutos
E muutos
F muutos

A muutos
B muutos
C muutos

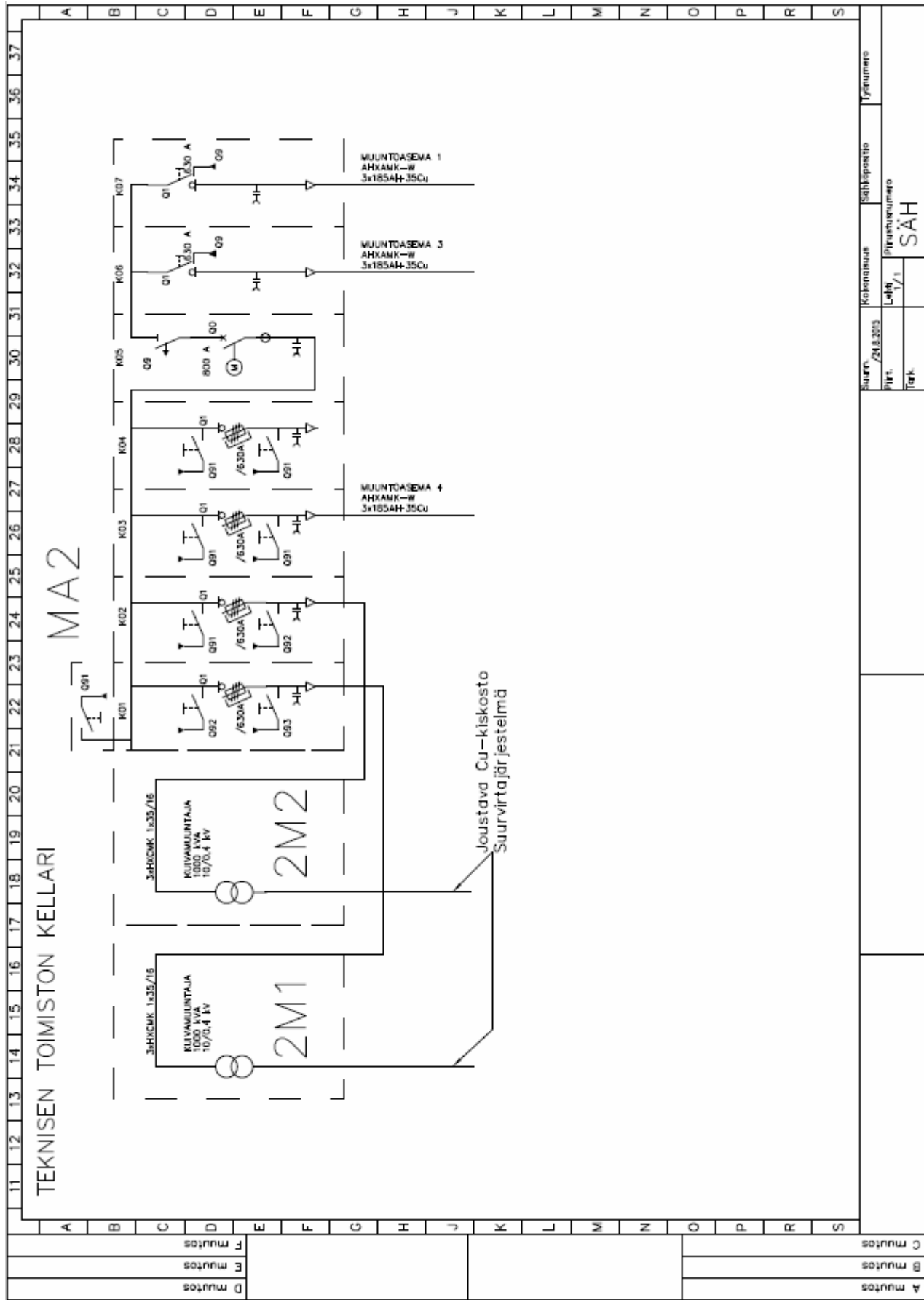
Liite 5.2 Yleiskuva muuntamoista



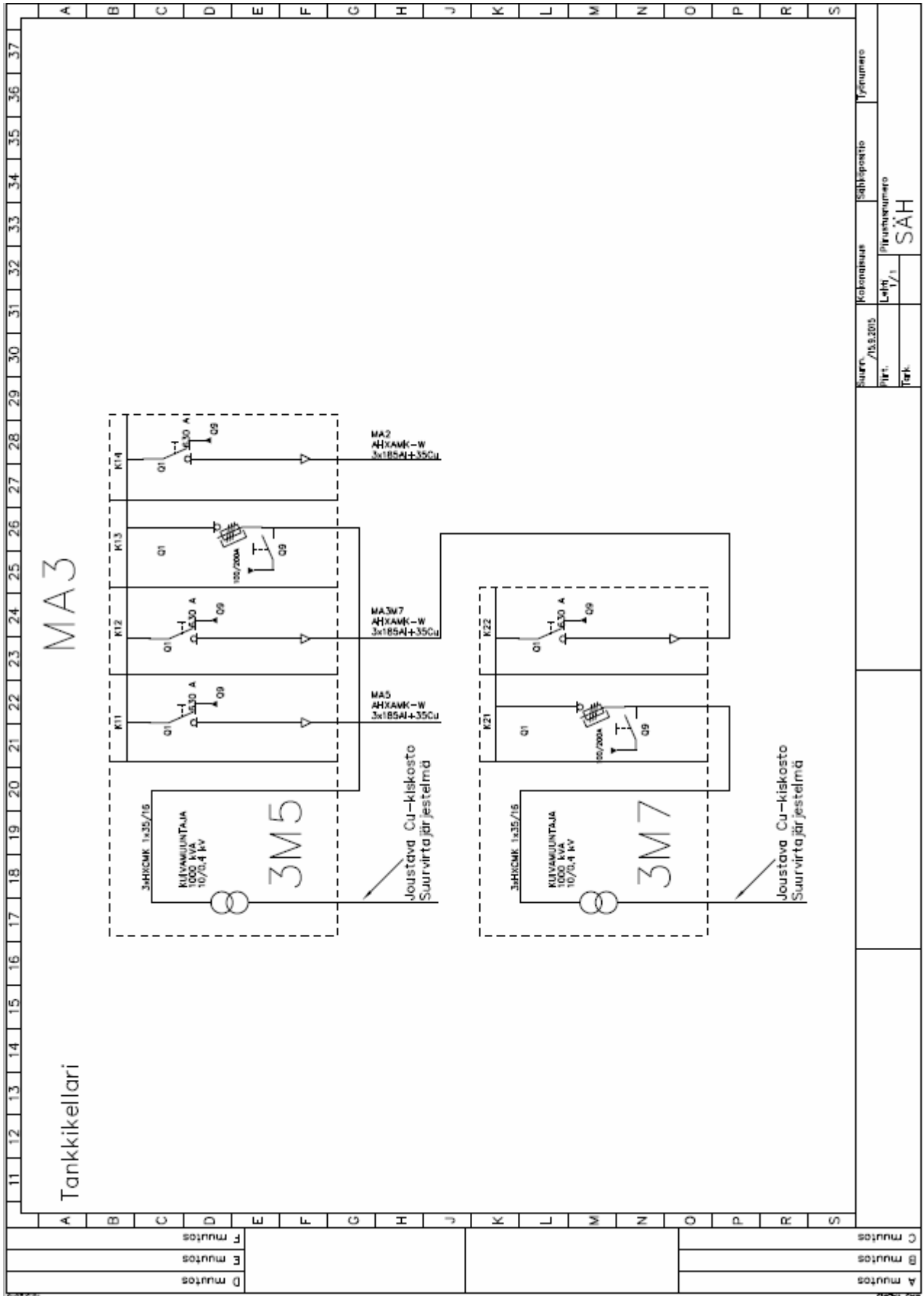
Liite 5.3 Muuntoasema 1



Liite 5.4 Muuntoasema 2

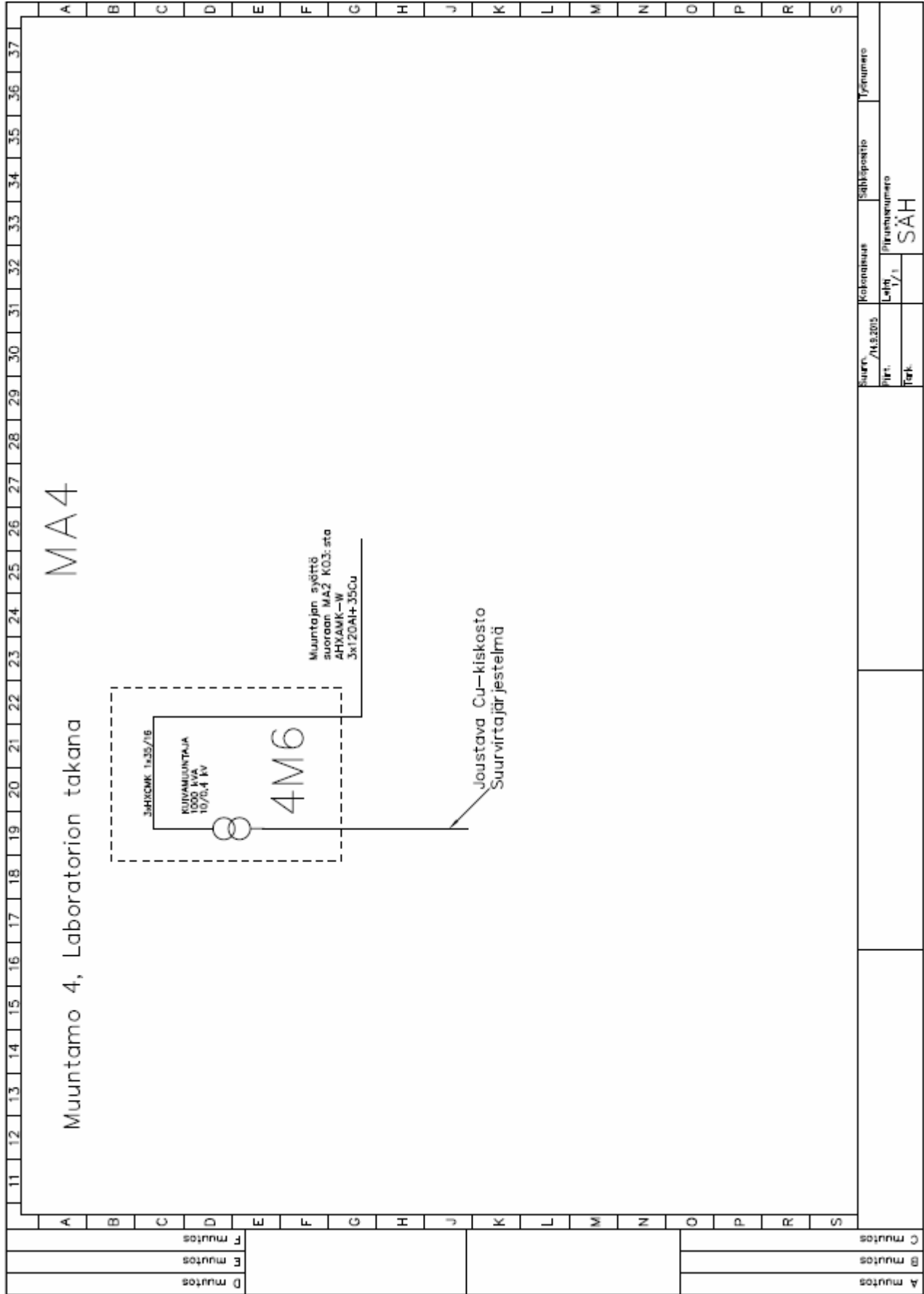


Liite 5.5 Muuntoasema3

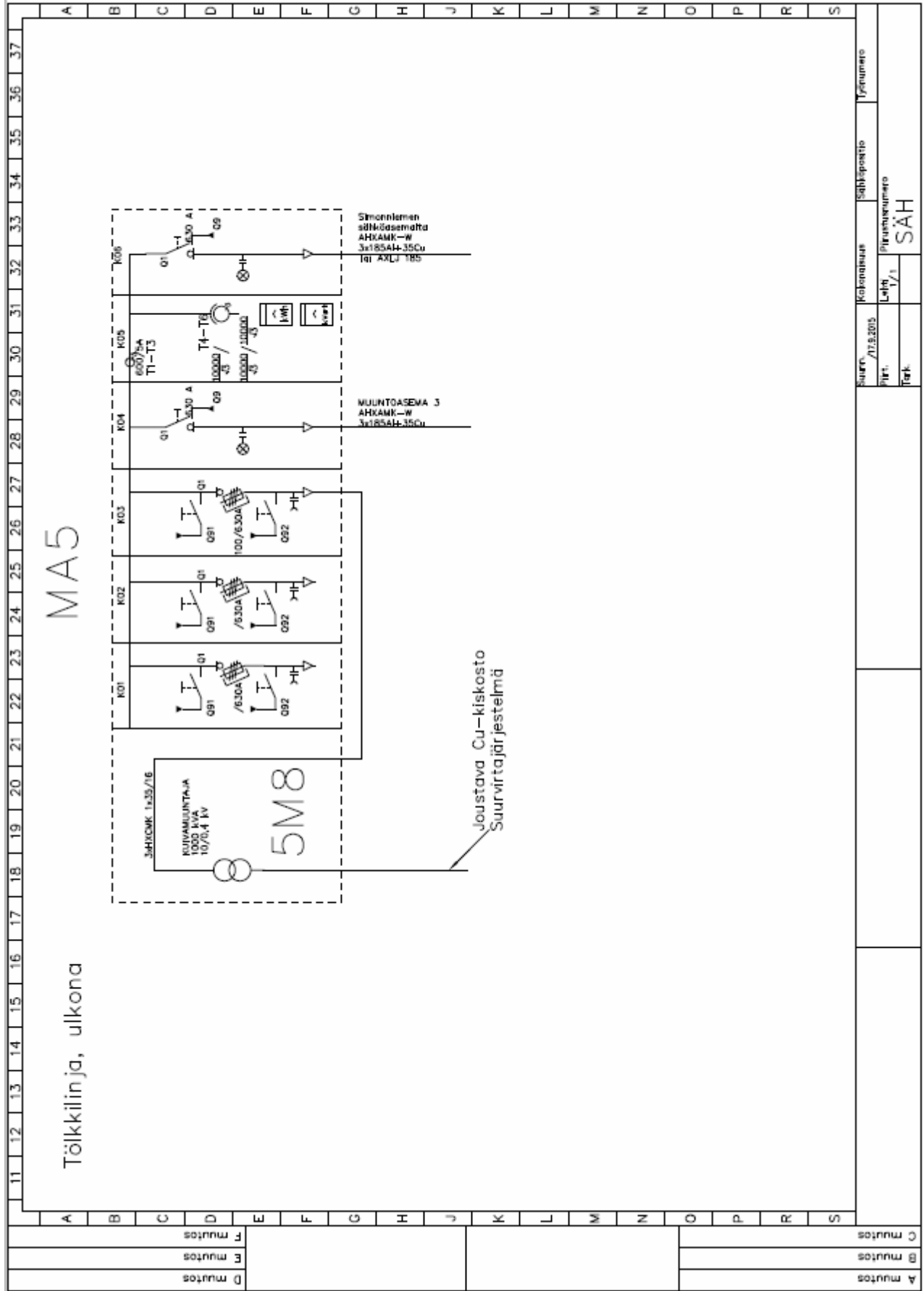


A muutos		Suunn. / M.B.2005		Kokonaissivu		Sähkösopitus		Tyyppinumero	
B muutos		Pih.		Lehti		Pihvenumero			
C muutos		Tark.		V/1		SÄH			

Liite 5.6 Muuntoasema 4



Liite 5.7 Muuntoasema 5



LIITE 6. DMS 600 INTEGRA -OHJELMAN OIKOSULKUTULOKSET PÄÄKÄYTÖLLÄ

1	JOHTO				VIKAVIRRAT						
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			km		km	kA	%	%	kA	%	
1 S	36K16 X	9265	0.41	AHXAMK185	0.41	7.41	15	15	5.51	917	
2 X	9265 X	7201	0.30	AHXAMK185	0.72	6.99	14	14	5.27	878	
3 X	7201 M	5M8	0.01	HXCМК35	0.72	6.69	48	48	5.26	875	
4 X	7201 X	2201	0.17	AHXAMK185	0.89	6.69	14	14	5.14	855	
5 X	2201 M	3M5	0.01	HXCМК35	0.90	6.52	46	46	5.12	853	
6 X	2201 X	2175	0.01	AHXAMK185	0.90	6.52	13	13	5.13	854	
7 X	2175 M	3M7	0.01	HXCМК35	0.91	6.51	46	46	5.12	852	
8 X	2201 X	4201	0.25	AHXAMK185	1.14	6.52	13	13	4.95	824	
9 X	4201 M	2M1	0.01	HXCМК35	1.15	6.29	45	45	4.94	823	
10 X	4201 M	2M2	0.01	HXCМК35	1.15	6.29	45	45	4.94	823	
11 X	4201 M	4M6	0.07	AHXAMK120	1.22	6.29	20	20	4.88	813	
12 X	4201 X	5201	0.12	AHXAMK185	1.26	6.29	13	13	4.86	810	
13 X	5201 X	8201	0.16	AHXAMK185	1.42	6.18	13	13	4.75	791	
14 X	8201 M	1M9	0.01	HXCМК35	1.43	6.04	43	43	4.74	789	
15 X	8201 E	MA1E1	0.00	KISKO	1.43	6.04	4	4	4.75	791	

LIITE 7. OIKOSULKUTULOSTEN TULKITSEMISOHJE.

Column	Description
1	Row number
2	Code of the start node of the line section
3	Code of the end node of the line section
4	Length of the line section (km)
5	Conductor type
6	Distance of the end node from the feeding point (km)
7	Three-phase short-circuit current at the start node of the line section without fault impedance (kA)
8	Short-circuit capacity using rapid tripping. This means that the percentage ratio of the three-phase short-circuit current over the calculated maximum permissible short-circuit current for the conductor is calculated using the equivalent duration of the short-circuit and the short-circuit capacity (1 s) of the conductor. If the relative value is less than 100 %, the conductor can stand the short-circuit. If the rapid tripping is not working, three asterisks are displayed (%/***).
9	Short-circuit capacity using delayed tripping (calculated as in 8)
10	Two-phase short-circuit current at the end node of the line section without fault impedance (kA)
11	Percentage ratio between the two-phase short-circuit current and the relay setting. If the value is higher than 100 %, the relay will trip. (%)
12	An asterisk (*) appears here, if the short-circuit capacity of the conductor will be exceeded and/or the relay will not start due to the fault current.

LIITE 8. DMS 600 INTEGRA -OHJELMAN MAASULKUTULOKSET

Laskennan vikaresistanssi 500 ohm

***** PÄÄMUUNTAJA PM_01 (Laskentajännite:11.0 kV) *****

VIKARESISTANSSI MAASULKUVIRTA

0 OHM 26.1 A
500 OHM 11.4 A

Lähtö	JOHTOPITUUS TYYPEITTÄIN							VIKA MUU		OMA VIKA		ASETTELUARVOT						HAVAHTUMINEN						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23
NIMI	YHT	Avo	PAS	IlmK	MaaK	VesiK	I0	Ires	I0	Ires	U0	U0>	I0>	U0>>	I0>>	P0	Q0	T>	T>>	U0>	I0>	U0>>	I0>>	M
	km	km	km	km	km	km	A	A	A	A	kV	kV	A	kV	A	kW	kVar	s	s	%	%	%	%	%
Pääkäyttö	1.5	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	3.5	1.5	22.6	9.9	2.8	1.2	1.0	0.0	1.0	--	--	0.3	0.3	240	987	--	987	--
Maakapasita	9.7	0.0	0.0	0.0	9.7	0.0	22.6	9.9	3.5	1.5	2.8	5.8	50.0	6.9	60.0	--	--	0.0	0.0	48	3	40	2	--

Lähtö MAADOITUSRESISTANSSI (OHM)

	A	B	D	2	4	5
Pääkäyttö	57	153	38	0	0	0
Maakapasitanssinkuv	28	76	19	0	0	0

LIITE 9. MAASULKUTULOSTEN TULKITSEMISOHJE

Column	Description
1	Feeder name
2	Total length of the feeder (km)
3	Total length of the bare overhead line (km)
4	Total length of the insulated overhead line (km)
5	Total length of the underground cable (km)
6	Share of each feeder of the total earth-fault current when the fault resistance is 0 Ω. This figure tells how much the earth-fault current will be reduced if the feeder in question is disconnected from the network. (A)
7	Same as above but the fault resistance will be greater than 0 Ω as defined by the user. (A)
8	Zero sequence current energizing protective relay at the supply point. (A)
9	Same as above but the fault resistance will be greater than 0 Ω as defined by the user. (A)
10	Lowest neutral point voltage during the fault (kV)
11	Protective relay's voltage setting (kV)
12	Protective relay's current setting (A)
13	Mechanical protective relay's active power setting (kW)
14	Mechanical protective relay's reactive power setting (kVar)
15	Protective relay's time delay setting (s)
16	Percentage ratio between the neutral point voltage and the voltage setting of the relay. If the value is higher than 100 %, the relay will trip. (%)
17	Percentage ratio of the zero sequence current and the current setting of the relay. If the value is higher than 100 %, the relay will trip. (%)
18	Percentage ratio of the feeder powers and mechanical protective relay's power settings. If the value is higher than 100 %, the relay will trip. (%)
	Data of the fault resistance, the corresponding earth-fault currents and grounding resistances of the feeders are at the end of the result listing.