

SAIMAAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikka Imatra  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

Jukka Häkkinen

## **LAAJAN MAADOITUSJÄRJESTELMÄN SOVEL- TAMINEN HONKALAHDEN SAHAN 6,3KV:N JA- KELUVERKOSSA**

Opinnäytetyö 2011

## TIIVISTELMÄ

Jukka Häkkinen

Laajan maadoitusverkon soveltaminen Honkalahden sahan 6,3kV:n jakeluverkossa, 41 sivua, 5 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Imatra

Tekniikka, Sähkötekniikan koulutusohjelma

Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

Ohjaajat: lehtori DI Kari Manninen Saimaan AMK, osastoinsinööri Pauli Keränen

Stora Enso Wood Products Oy Ltd.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää laajan maadoitusverkon toteutuminen Storaenso wood products Oy Ltd:n Honkalahden sahalla. Selvitystyön osana maadoitusverkko dokumentoitiin, laajan maadoitusverkon jatkuvuus todettiin mittauksin sekä järjestelmän liitoskohdat tarkastettiin silmämääräisesti. Dokumentointiin kuuluu asemakuva tehdasalueesta, kaksi versiota maadoituskaavista sekä mittauspöytäkirja.

Työn teoriaosuudessa käydään läpi SFS6001-standardin laajalle maadoitusjärjestelmälle asettamat vaatimukset sekä maadoitusjärjestelmän mitoituksen perusteet. Teoriaosuudessa on myös käsitelty maasulkuja sekä maakapasitanssia ja sitä kautta maasulkuvirtaan vaikuttavia tekijöitä.

Nykyisen laajan maadoitusverkon todettiin olevan kunnossa. Siellä missä laaja maadoitusverkko ei toteutunut, esitetään työssä toimenpiteitä, joilla SFS6001-standardin vaatimukset jakelumuuntajien maadoituksille täytetään. Laajaan maadoitusverkkoon pyritään sekä paremman turvallisuustason että kustannussäästöjen vuoksi.

Parempi turvallisuustaso ja kustannussäästöt saavutetaan, koska laajan maadoitusverkon alueella katsotaan kosketus- ja askeljännitevaatimuksien toteutuvan. Lisäksi alueella olevien paikallisten maadoituselektrodien maadoitusvastusta ei tarvitse standardin SFS6001 edellyttämin määrävälein mitata.

Asiasanat: laaja maadoitus, maasulku, maakapasitanssi

## **ABSTRACT**

Jukka Häkkinen

Application of the Global Earthing System in 6.3 kV Distribution Network of Honkalahti Sawmill, 41 pages, 5 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Imatra

Technology, Electrical Engineering

Electrical Power Engineering

Inspector: Mr Kari Manninen, MSc, Senior Lecturer, Saimaa UAS, Mr Pauli

Keränen, Department Engineer, Stora Enso Wood Products Oy Ltd.

The purpose of this final year project was to inspect and document the global earthing system of Stora Enso Wood Products' Honkalahti sawmill 6.3 kV distribution network. Grounding busbars were inspected visually and continuity of grounding conductors was measured. Documentation includes general layout of sawmill, inspection record and two grounding diagrams. The first diagram is simplified and the other one is more detailed.

Theoretical part explains the SFS6001-standard requirements for global earthing system. The theoretical part also deals with earth fault and earth fault current in different ways.

Where the global earthing system did not reach, actions should be taken to conform to the demands of SFS6001 standard. Actions would be either expanding the global earthing system or measuring those transformers' earthing resistances. Benefits of the global earthing are reduced maintenance costs and enhanced safety level.

**Key Words:** Global Earthing, Earth Fault, Capacitance to the Ground

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	MAADOITTAMINEN .....	8
2.1	Laaja maadoitusjärjestelmä .....	10
2.2	Paikallinen maadoitus .....	11
2.3	Maadoitusverkon dokumentointi .....	12
3	MAADOITUSJÄRJESTELMÄN MITOITUS.....	13
3.1	Mitoitus korroosionkestävyyden ja mekaanisen lujuuden perusteella..	13
3.2	Mitoitus termisen lujuuden perusteella.....	14
3.3	Mitoitus kosketus- ja askeljännitteiden mukaan .....	18
4	MAASULKU MAASTA EROTETUSSA VERKOSSA .....	20
4.1	Maasulku .....	20
4.2	Maasulkuvirta.....	22
5	STORA ENSO WOOD PRODUCTS OY LTD HONKALAHDEN SAHA .....	27
5.1	Honkalahden 6,3 kV:n jakeluverkko.....	29
6	MAADOITUSVERKON JATKUVUUSMITTAUKSET .....	32
6.1	Mittausmenetelmä .....	33
6.2	Mittaustulokset.....	35
7	YHTEENVETO .....	37
	KUVAT .....	40
	TAULUKOT.....	40
	LÄHTEET.....	41

## LIITTEET

Liite 1 Yksinkertaistettu maadoituskaavio

Liite 2 Yksityiskohtainen maadoituskaavio

Liite 3 Maadoitusverkon asemakuva

Liite 4 Jakelukaavio

Liite 5 Mittauspöytäkirja

## SYMBOLIT JA KÄSITTEET

PJ	pienjännite
KJ	keskijännite
SJ	suurjännite
A	poikkipinta ][mm <sup>2</sup> ]
C	kapasitanssi [F]
C <sub>0</sub>	kaapelin maakapasitanssi/vaihe [F]
I	johtimen virran tehollisarvo [A]
K	virrallisen osan materiaalista riippuva vakio
R <sub>f</sub>	vikapaikan resistanssi [R]
t	vikavirran kesto aika [s]
U	verkon pääjännite [V]
U <sub>TP</sub>	kosketusjännite [V]
α	resistanssin lämpötilakerroin [°C <sup>-1</sup> ]
β	virrallisen osan resistanssin lämpötilakertoimen käänteisarvo lämpötilassa 0 °C
θ <sub>i</sub>	alkulämpötila [°C]
θ <sub>f</sub>	loppulämpötila [°C]
ε <sub>0</sub>	tyhjiön permittiivisyys [F/m]
ε <sub>r</sub>	eristeaineen suhteellinen permittiivisyys, dielektrisyysvakio
ω	verkon kulmataajuus [rad/s]
Δt	lämpötilan muutos [°C]

SFS-EN 60204	Määrittelee koneiden sähkölaitteistoille vaatimukset ja suositukset.
SFS-6001+A1	Sisältää nimellisjännitteeltään yli 1 kV vaihtojännitteisten sähköasennusten suunnittelua ja rakentamista koskevat vaatimukset. Standardin vaatimukset eivät kuitenkaan ole taannehtivia, käytössä olevia asennuksia saa edelleen käyttää jos ne täyttävät rakentamisajankohtana voimassa olleet vaatimukset, eikä niiden käytöstä aiheudu vaaraa.

# 1 JOHDANTO

Työ on tehty Stora Enso Wood Products Oy Ltd:n Honkalahden sahalle alkuvuodesta 2011. Työn tarkoituksena oli laajan maadoitusverkon määrittely ja dokumentointi Honkalahden sahan 6,3kV:n jakeluverkossa. Sahan päämuuntoasema on 110/6,3kV:n muuntaja, jota syötetään kantaverkosta ilmajohtolla. Sahalla on 12 kappaletta 6,3/0,4kV:n jakelumuuntajia. Sahan 6,3kV:n jakeluverkko on maasta erotettu ja kokonaan maakaapeilla toteutettu. Verkko on muodoltaan säteittäinen ja johtopituutta on ainoastaan noin 3,9 km. Maasta erotetun rakenteen ja vähäisen kaapelipituuden vuoksi verkon yksivaiheinen maasulkuvirta on melko pieni.

Maadoitusjärjestelmä on kartoitettu ja maadoituselektrodit on mitattu edellisen kerran 1990. Maadoitusjärjestelmään on sen jälkeen tehty jonkin verran muutoksia, kuten uusia pressuhalleja sekä uudet kuivaamot 01, 03 ja 05. Sahan jakelumuuntajat ovat tähän asti olleet paikallisesti maadoitettuja, joten niiden maadoituselektrodien maadoitusresistanssit sekä kosketusjännitevaatimusten toteutuminen olisi tullut tarkastaa kuuden tai kahdentoista vuoden välein, riippuen maadoituksen toteutuksesta. Laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluvien jakelumuuntajien maadoitusresistanssia ei tarvitse määrajoin mitata. Järjestelmää käyttöönotettaessa luotettava liittyminen laajaan maadoitusjärjestelmään tulee todeta mittauksin.

Tiedot KJ-kaapelien tyypeistä, pituuksista ja sähköisistä ominaisuuksista perustuvat KMJ engineering Oy:n vuonna 2006 Honkalahden sahalle tekemään verkostolaskentaan sekä ABB Oy:n TTT-kirjaan. Kaapelit ovat osittain hyvinkin vanhoja, mistä syystä kosketussuojajohtimien poikkipinta-alojen sekä sähköisten ominaisuuksien selvittäminen vaati jonkin verran selvitystyötä. Selvitystyössä auttoi Prysmian Cables Oy:n markkinointi- ja myyntipäällikkö Hannu Sulkumäki.

Työhön kuului teoriaosuuden lisäksi maadoitusverkon rakenteen dokumentointi sekä selvitys siitä täyttääkö maadoitusjärjestelmä laajan maadoituksen vaatimukset.

## 2 MAADOITTAMINEN

Sähköturvallisuuden kannalta maadoitusten ensisijaisena tarkoituksena on rajoittaa vikatapauksissa esiintyvää kosketusjännitettä ja askeljäännitteitä. Vika voi liittyä rakennuksen sähköasennuksiin tai rakennusta syöttävään keskijännitejärjestelmään. Maadoitusjärjestelmiin liittyy varsinaisen maadoituselektrodin lisäksi myös potentiaalintasausjärjestelmä. (STUL ry 2007, 25.) Suurjännitteelle alttiit osat on maadoitettava omalla maadoitusjohtimella muuntajan maadoituskiskoon. Hajamagneettikenttien syntyminen sekä herkkien laitteiden vioittumisen estämiseksi rakennusten maadoitettavat rakenteet ja putkistot yhdistetään päämaadoituskiskoon eikä suoraan muuntajan maadoituskiskoon. Suoraan muuntajan maadoituskiskoon yhdistäminen aiheuttaisi nollavirralla rinnakkaisen reitin. (STUL ry 2007, 87.)

Jakelumuntajalla pienjännitejärjestelmän tähtipiste tai PEN-johdin maadoitetaan suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmään, jos seuraavat ehdot täyttyvät suurjänniteasennuksessa tapahtuvan maasulun aikana. (SFS6001+A1 2005, 76.)

- *Pienjännitejakeluverkossa tai siihen liitetyissä sähkön käyttäjän laitteistoissa ei esiinny vaarallisia kosketusjännitteitä.*
- *Sähkön käyttäjän pienjännitteisessä laitteistossa esiintyvä pienjännitejärjestelmän tähtipisteen potentiaalinen noususta johtuva käyttötaajuuden rasitusjännitteen suuruus ei ylitä sallittuja arvoja.*

*Edellä mainittujen ehtojen katsotaan toteutuvan jos:*

- *suurjänniteasennuksen maadoitusjärjestelmä kytketään **laajaan maadoitusjärjestelmään***

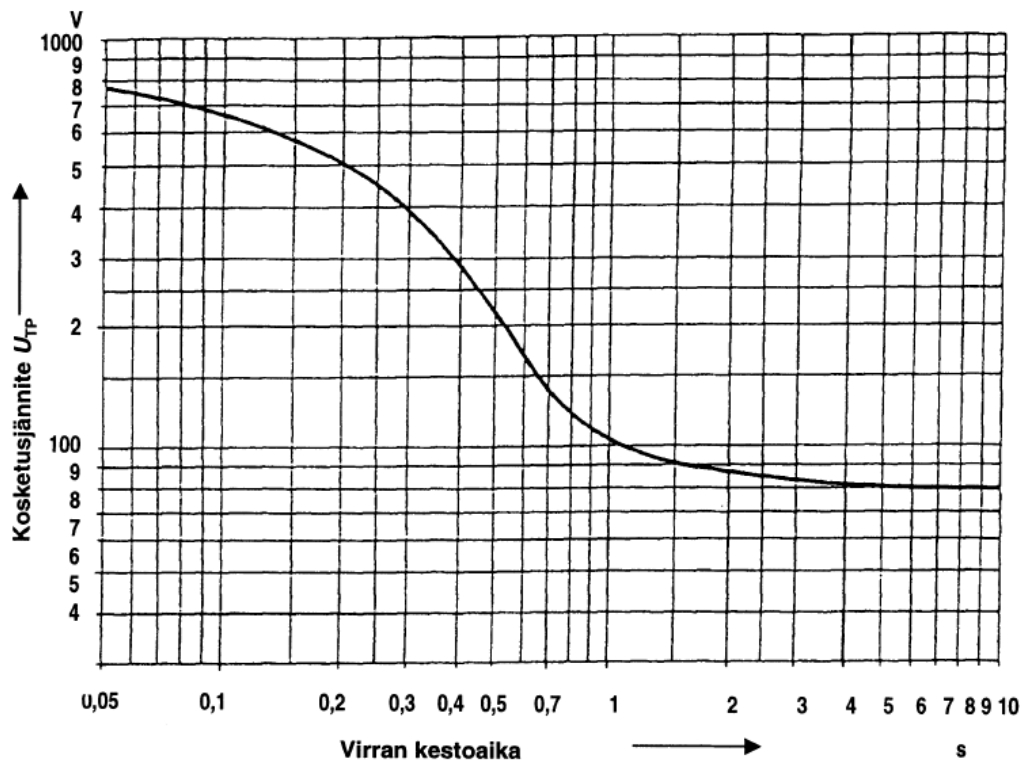
*tai*

- *seuraavat ehdot pienjännitejärjestelmän suojajohtimen maadoitustavasta ja vian kestoajasta riippuvat ehdot toteutuvat.*

Jos PJ-järjestelmä on maadoitettu vain syöttöpisteessä, maadoitusjännite  $U_E$  saa olla enintään kuvan 1 mukaisen arvon  $U_{TP}$  suuruinen.



Jos PJ-verkon PEN-johdin tai suojamaadoitusjohdin on maadoitettu useassa paikassa tähtipisteessä vaikuttavan jännitteen rajoittamiseksi, voi maadoitusjännite  $U_E$  olla kaksinkertainen verrattuna arvoon  $U_{TP}$ . Jos erityistapauksissa teknisistä tai taloudellisista syistä em. kaksinkertaista arvoa ei voida saavuttaa, voidaan soveltaa muita tapoja, joilla voidaan saavuttaa riittävä turvallisuus. Maadoitusjännite  $U_E$  saa erityistapauksissa olla nelinkertainen  $U_{TP}$  arvoon verrattun. (SFS6001+A1 2005, 76)



Kuva 1. Sallitut kosketusjännitteet  $U_{TP}$  vikavirran kestoajan funktiona, kun maasulku tapahtuu suurjännitejärjestelmässä. (SFS6001+A1 2005, 78)

Standardi SFS 6001+A1 määrittelee maadoitusjärjestelmän osille pienimmät poikkipinta-alat sekä mekaanisen kestävyuden, korroosionkestävyyden että termisen mitoituksen perusteella.

Opinnäytetyössä tarkoituksena on tunnistaa alueet, joissa laajan maadoituksen määritelmä toteutuu. Alueilla joilla määritelmä ei toteudu, on mietittävä tapauskohtaisesti jatkotoimenpiteet. Joko jakelumuuntajan maadoituselektrodit mita-

taan standardin SFS 6001 osion 9.8 mukaisesti tai tehdään tarvittavat toimenpiteet muuntajan liittämiseksi laajaan maadoitusjärjestelmään.

## 2.1 Laaja maadoitusjärjestelmä

SFS 6001 määrittelee laajan maadoitusverkon osiossa 2.7.14.5 seuraavasti:

*Maadoitusjärjestelmä on tehty liittämällä useat paikalliset lähellä toisiaan olevat maadoitusjärjestelmät verkkomaisesti yhteen siten, että järjestelmä muodostaa lähes tasapotentiaalipinnan. Järjestelmän laajuus ja maadoitusverkon tiheys varmistavat sen, ettei kyseisellä alueella esiinny vaarallisia kosketusjännitteitä. Laajassa maadoitusjärjestelmässä yhdistetään kaikki lähellä toisiaan olevat eri jännitetasojen (syöttöasemien ja jakelumuuntamoiden) maadoitusverkot useasta eri kohdasta. Tyypillisiä esimerkkejä laajoista maadoitusjärjestelmistä ovat taajamat ja teollisuusalueet, joissa on lähellä toisiaan useita muuntamoita. (SFS 6001+A1 2005, 17.)*

Rakennettaessa uusi tai liitettäessä laajaan maadoitusverkkoon aiemmin kuulumaton jakelumuuntaja laajaan maadoitusverkkoon on sen luotettava liittymisen maadoitusverkkoon todettava jatkuvuusmittauksin.

Laajan maadoitusjärjestelmän yhdistysjohtimina toimivat (STUL ry 2007, 96.)

- *suurjännitekaapeleiden vaipat ja keskusköydet.pienjänniteverkon PEN-johtimet sekä maakaapeleissa että ilmajohdoissa*
- *erilliset muuntamoita yhdistävät maadoitusjohtimet sekä elektrodit*
- *maadoitusjärjestelmään liitetyt teräsputkistot sekä rakennusten teräsrungot toimivat maadoitusjärjestelmän luonnollisena osana osana*

Laajan maadoitusjärjestelmän tasapotentiaalipinnasta huolimatta voi vaaratilanteita syntyä siirtyvästä potentiaalista. Samanaikaisesti kosketeltavissa olevien kaukana olevan maadoituksen potentiaaliin kytkettyjen eristettyjen putkien ja kaapelien johtavat osat ja suurjänniteasennuksen maadoitetut johtavat osat voivat olla eri potentiaalissa.

## 2.2 Paikallinen maadoitus

Paikallisesti maadoitettuna jakelumuuntajalla on oma, noin 50 metrin pituinen elektrodi upotettuna maahan muuntajan lähelle. Elektrodi liitetään päämaadoituskiskoon muuntaja- tai PK-huoneessa.

Standardin SFS6001+A1 mukaan *suositeltavia ohjearvoja maadoitusresistanssien mittaussväleiksi ovat:*

- *6 vuotta, kun maadoitus on yhden maadoitusjohtimen varassa*
- *12 vuotta, kun maadoitus on useamman kuin yhden maadoitusjohtimen varassa.*

*Laajan maadoitusjärjestelmän tai potentiaalinhjaukseen käytetyn elektrodin impedanssia ei tarvitse mitata, vaan maadoituksen riittävyys ja kunto voidaan todeta muulla tavalla.*

Yksinkertaisin menetelmä maadoitusresistanssin mittaamiseen olisi käännepistemenetelmä. Mutta luotettavien mittaustulosten saavuttamiseksi käännepistemenetelmällä mittauksen tulisi tapahtua ns. neutraalimaan alueella, jolloin alueella ei ole muiden järjestelmien maadoituksia. Lisäksi maaperän tulisi olla mahdollisimman homogeeninen.

Maaperän homogeenisyyden voi rikkoa esimerkiksi metallinen vaijeri tai putki. Tällöin mittaustulosten kuvaajassa ei välttämättä ilmene tasaantumisvaihetta. Paras likiarvo saadaan tällöin 62 %:n menetelmällä, jossa jännitepiikin etäisyys on 62 % virtapiikin etäisyydestä. Tehdasalueella maassa risteilee kaapeleita, vesi-, viemäri- ja höyryputkia sekä mahdollisesti vanhoja rakenteita. Voidaan olettaa ettei maaperä ole riittävän homogeeninen luotettavien mittaustulosten saamiseksi.

Tämä ongelma poistuu ottamalla tehdasalueella käyttöön laaja maadoitusjärjestelmä. Tällöin yksittäisen jakelumuuntajan maadoitus ei ole ainoastaan oman maadoituselektrodin varassa, vaan maadoitusjärjestelmä muodostaa koko tehdasalueen kattavan verkon.

### 2.3 Maadoitusverkon dokumentointi

SFS 6001+A1 standardin opastavan liitteen P mukaan maadoitusjärjestelmästä tulisi olla käytettävissä asemapiirros, josta selviää maadoituselektrodien materiaali ja sijainti, elektrodien haaroituspisteet sekä asennussyvyys. Laajan maadoitusjärjestelmän syntyminen tulisi osoittaa piirtämällä kaavio maadoitusjärjestelmien yhteyksistä. (STUL ry 2007, 96.)

Suoja-, maadoitus- ja potentiaalintasausjohtimet tulisi merkitä päämaadoituskeskion päästä yksiselitteisillä merkinnöillä. Merkintä ei ole aivan välttämätön, jos sekaantumisen vaaraa ei ole mutta suositeltavaa. Standardi SFS 2668 antaa ohjeet sähkölaitteiden liittimien merkinnöistä. (STUL ry 2007, 23.)

Maadoitusverkon dokumentointiin kuuluu viisi liitettä. Liitteenä 1 on maadoituskaavion yksinkertaistettu versio, josta saa yleiskäsityksen maadoitusverkosta, sekä liitteenä 2 toinen versio, jossa esitetään maadoitusjärjestelmä yksityiskohteisesti. Liitteenä 3 on asemakuva sekä liitteenä 4 keskijänniteverkon jakelukaa-  
vio. Laajan maadoitusverkon jatkuvuusmittauspöytäkirja liitteenä 5.

Asemakuvassa esitetään:

- maadoitusjohtimet
- KJ-kaapelit
- muuntajat
- pääkeskukset
- maadoituselektrodit
- PJ-kaapelit joiden PEN-johtimet toimivat laajan maadoitusverkon osana
- rakennukset.

### 3 MAADOITUSJÄRJESTELMÄN MITOITUS

Työssä selvitettiin, soveltuisivatko jakelumuuntajien syöttökaapelien vaipat sekä muut maadoitusjohtimet laajan maadoitusjärjestelmän osaksi. Standardin SFS 6001+A1 osa 9.2.2.2 määrittelee maadoituselektrodeille sekä -johtimille vähimmäispoikkipinta-alat eri materiaaleille sekä mekaanisen lujuuden ja korroosionkestävyyden että suurimman vikavirran kestävyyden kannalta.

*Maadoitusjärjestelmän rakenteen on täytettävä neljä vaatimusta:*

*a) Riittävä mekaanisen lujuus ja korroosionkestävyys.*

*b) Suurimman vikavirran kestävyys termisesti (suurin vikavirta saadaan tavallisesti laskemalla).*

*c) Omaisuuden ja laitteiden vaurioitumisen estäminen.*

*d) Henkilöiden turvallisuuden varmistaminen suurimman maasulkuvirran aikana maadoitusjärjestelmissä esiintyvien jännitteiden suhteen. (SFS 6001+A1 2005, 70)*

*Jos asennuksessa on eri jännitetasoja, kunkin suurjännitejärjestelmän on täytettävä edellä mainitut neljä vaatimusta. Samanaikaisia vikoja eri jännitetasoilla ei tarvitse ottaa huomioon. (SFS 6001+A1 2005, 71.)*

#### 3.1 Mitoitus korroosionkestävyyden ja mekaanisen lujuuden perusteella

Maadoituselektrodit, jotka ovat suoraan maan kanssa kosketuksissa, on valmistettava korroosion (kemiallinen tai biologinen syöpyminen, hapettuminen, elektrolyttiparin muodostuminen, elektrolyysi jne.) kestävästä materiaaleista. Niiden täytyy kestää mekaanisia rasituksia asennuksen ja normaalin käytön aikana. Betoniperustuksiin upotettua terästä ja teräsraudoituksia tai muita luonnollisia maadoituselektrodeja voidaan käyttää maadoitusjärjestelmän osana.

Mekaaninen lujuus ja korroosion huomioon ottaminen määritellään SFS 6001+A1:n velvoittavassa liitteessä A maadoituselektrodien vähimmäismitat. Jos käytetään muuta materiaalia, esimerkiksi ruostumatonta terästä, tämän materiaalin ja sen mittojen on täytettävä SFS 6001 standardin kohdan 9.2.1 vaatimukset a) ja b) (SFS 6001+A1 2005, 71.) Paljaalle kupariköydelle poikkiala on

25 mm<sup>2</sup>. Kuitenkin olosuhteissa, joissa kokemuksen mukaan korroosioriski ja mekaanisen vaurion riski on alhainen, voidaan käyttää poikkipintaa 16 mm<sup>2</sup>. (SFS 6001+A1 2005, 81.) Maadoituskirjassa suositellaan, että maakaapeliojissa ja taajama- sekä teollisuusalueilla tulee aina käyttää vähintään 25mm<sup>2</sup> kupari- käyttöä vaikka standardi ei sitä vaadi. (STUL ry 2007, 80.)

Maadoitusjohtimille mekaanisen lujuuden ja korroosionkestävyyden takia vähimmäispoikkipinnat ovat:

- Kupari: 16 mm<sup>2</sup>
- Alumiini: 35 mm<sup>2</sup>
- Teräs: 50 mm<sup>2</sup>

Potentiaalintasausjohtimille suositellaan SFS 6001-standardissa vastaavaa mitoitusta kuin maadoitusjohtimille.

### **3.2 Mitoitus termisen lujuuden perusteella**

Maadoitusjärjestelmän termisen mitoituksen olennaiset tekijät ovat:

- vikavirtojen arvot
- vian kesto aika
- maaperän ominaisuudet.

Maadoitusjohtimen- tai elektrodin poikkipinta-ala riippuu vikavirran suuruudesta ja sen kestoajasta. Maadoituselektrodi tai maadoitusjohdin mitoitetaan SFS 6001+A1 standardin velvoittavan liitteen B mukaan.

Alle 5 sekuntia kestäväälle vikavirralla maadoitusjohtimen tai maadoituselektrodin poikkipinta lasketaan kaavalla 1. (SFS6001+A1 2005, 82.)

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}} \quad (1)$$

missä:

- A poikkipinta mm<sup>2</sup>
- I johtimen virran tehollisarvo (A)
- t vikavirran kesto aika (s)
- K virrallisen osan materiaalista riippuva vakio; taulukossa 1 esitetty arvot yleisimmille materiaaleille olettaen alkulämpötilaksi 20 °C
- β virrallisen osan resistanssin lämpötilakertoimen käänteisarvo lämpötilassa 0 °C (ks. taulukko 1)
- θ<sub>i</sub> alkulämpötila (°C). Alkulämpötilana käytetään yleensä 20 °C. Suomessa voidaan käyttää standardin IEC 60287-3-1 mukaan myös arvoa 15 °C
- θ<sub>f</sub> loppulämpötila (°C)
- ln luonnollinen logaritmfunktio, kantaluku Neperin luku e

Taulukko 1. Materiaaleista riippuvien vakioiden arvot. (SFS6001+A1 2005, 82)

Materiaali	β (°C)	K (A x √S/mm <sup>2</sup> )
Kupari	234,5	226
Alumiini	228	148
Teräs	202	78

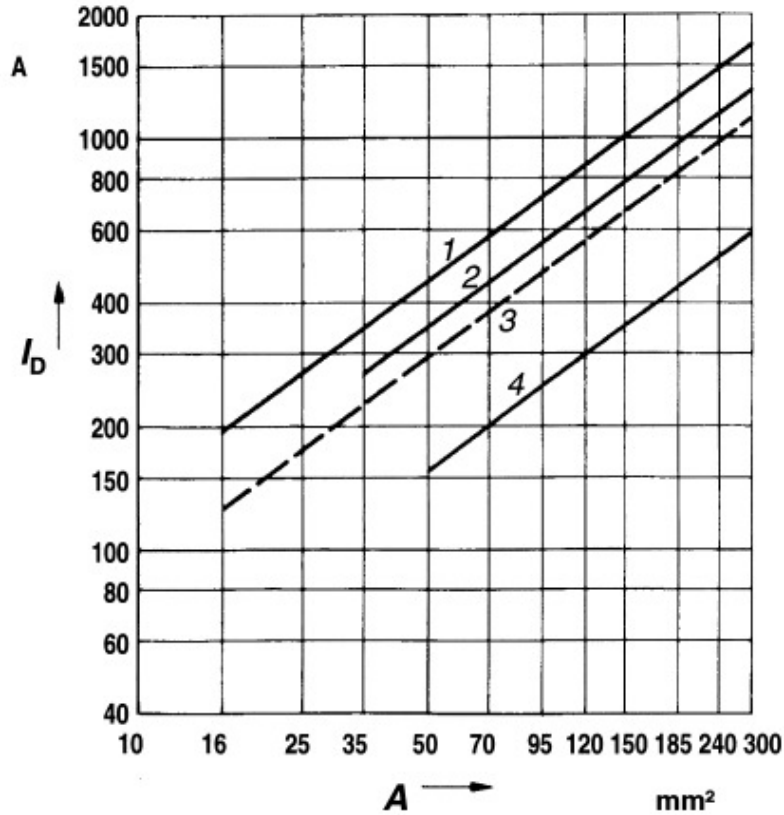
Yli 5 sekuntia kestäville vikavirroille sallitut poikkipinnat esitetään SFS6001+A1 standardin velvoittavassa liitteessä B. Jos maadoitusjohtimien terminen mitoitus on 300 °C loppulämpötilalle, tulee maadoitusjohtimien olla paljaita. Jos maadoitusjohtimet ovat eristettyjä, tulee johtimen laskenta suorittaa johdineristeen mukaiselle loppulämpötilalle. MK-johtimet ovat PVC-eristeisiä ja niille suurin sallittu

loppulämpötila on 160 °C. Maadoitusjohtimen poikkipinnan mitoitus jatkuvan virran  $I_D$  perusteella on esitetty kuvassa 2. (STUL ry 2007, 84.) Taulukossa 2 on esitetty muunnoskertoimet muille loppulämpötiloille.

Maadoituselektrodin ja maadoitusjohtimien poikkipinnan määrittämiseksi on ensin selvítettävä mitoitusvirta. Maasta erotetulle järjestelmälle, jossa vikavirran kestoaika on yli 1 sekunti, saadaan termiseen kuormitukseen liittyvä vikavirta standardista. (SFS6001+A1 2005, 73.) Maadoituselektrodille ei tässä tapauksessa ole vaatimuksia, vaan mitoitus mekaanisen ja korroosionkestävyyden sekä kosketusjännitteen mukaan on riittävä.

Maadoitusjohtimen vaadittu mitoitusvirta on kaksoismaasulkuvirta  $I''_{KEE}$ , joka on laskettu standardin HD 533 mukaisesti. Virralle  $I''_{KEE}$  voidaan käyttää maksimiarvona 85 % symmetrisestä alkuoikosulkuvirrasta. Kuitenkin jos kaksivaiheisen maasulun kestoaika on alle 1 sekunti, voidaan käyttää laskettua tai mitattua kapasitiivista maasulkuvirtaa  $I_C$  tai maasulun jäännösvirtaa  $I_{RES}$ . (SFS6001+A1 2005, 73.)





Kuva 2. Poikkipinnaltaan pyöreän maadoitusjohtimen jatkuva virta  $I_D$  poikkipinnan  $A$  funktiona. (SFS6001+A1 2005, 84)

1. kupari, paljas tai sinkkipäällysteinen (300 °C loppulämpötila)
2. kupari, tinattu tai lyijyvaipallinen (150 °C loppulämpötila)
3. alumiini (300 °C loppulämpötila)
4. sinkitty teräs (300 °C loppulämpötila)

Taulukko 2. Muunnoskerroimet pyöreään maadoitusjohtimen eri loppulämpötiloille. (SFS6001+A1 2005, 82)

Loppulämpötila (°C)	Muunnoskerroin
400	1,2
350	1,1
300	1,0
250	0,9
200	0,8
150	0,7
100	0,6

Mitoitettaessa 16 mm<sup>2</sup>:n pyöreää kuparista maadoitusjohdinta 150 °C:een loppulämpötilalle katsotaan kuvasta 2 suoraa 1. Suora osoittaa 16 mm<sup>2</sup> johtimen mitoitusvirraksi 200 A. Tämä korjataan taulukon 2 antamalla 150 °C:een muunnoskerroimella 0,7. Näin saadaan 16 mm<sup>2</sup> johtimen mitoitusvirraksi 140 A.

### 3.3 Mitoitus kosketus- ja askeljännitteiden mukaan

Ihmiskehon kautta kulkeva virta aiheuttaa vaaran, jonka vaikutukset riippuvat virran suuruudesta ja kestoajasta. Sallitut raja-arvot maasuluista johtuville kosketusjännitteille esitetään kuvassa 1. Kuvan 1 käyrä esittää jännitteen arvoa, joka voi esiintyä ihmiskehon yli paljaasta kädestä paljaisiin jalkoihin.

Standardin SFS 6001 vaatimukset sallittujen kosketusjännitteiden arvoista toteutuvat, jos

• ehto C1 **tai** C2 toteutuu:

- *asennus on osa laajaa maadoitusjärjestelmää (C1)*
- *mittauksilla tai laskemalla määritetty maadoitusjännite ei ole suurempi kuin kuvan 1 mukaisen sallitun kosketusjännitteen arvo kaksinkertaisena (C2)*

*tai*

• *toteutetaan standardin SFS 6001 velvoittavassa liitteessä D kuvatut erityistoimenpiteet M, jotka riippuvat maadoitusjännitteen suuruudesta ja vian kestoajasta.*

Askeljännitteille ei ole välttämätöntä määritellä sallittuja arvoja, koska askeljännitteiden sallitut arvot ovat vähän suurempia kuin sallitut kosketusjännitteet. Jos maadoitusjärjestelmässä toteutuvat kosketusjännitevaatimukset, voidaan olettaa, että vaarallisia askeljännitteitä ei esiinny. (SFS6001+A1 2005, 72-73.)

Honkalahden tapauksessa maasulusta tulee hälytys voimalaitoksen valvomoon ja maasulku kytketään pois käsin. Siten pitkäaikaista kosketusjännitteitä ei esiinny maasulkujen seurauksena. Maasulusta aiheutuvaa hälytystä ja käsin tapahtuvaa poiskytkentää käytetään silloin, kun verkon käytön luonteen takia maasulun aiheuttama keskeytys on tarpeen siirtää sopivampaan ajankohtaan.

SFS6001+A1 edellyttää, että hälytystä ja käsin tapahtuvaa poiskytkentää käytettäessä on täytettävä seuraavat ehdot:

- Verkon rakenne on sellainen, että valokaarimaasulun todennäköisyys on pieni.
- Maasulusta on tullava hälytys, joka saatetaan verkon käyttöä valvovan henkilön tietoon. Vian selvittämiseen on ryhdyttävä välittömästi. Käyttöä maasulussa voidaan jatkaa yleensä enintään kahden tunnin ajan, ellei ole ilmeistä, että maasulusta aiheutuu välitöntä vaaraa ihmisille tai omaisuudelle tai kohtuutonta häiriötä toiselle laitteistolle. Käyttöä maasulussa voidaan jatkaa pitempään vain, jos maasulun sijaintikohta on löydetty ja varmistetaan, ettei siitä aiheudu vaaraa.
- Jos maasulku sijaitsee jakelumuuntamolla, joka **ei** ole laajan maadoitusjärjestelmän alueella, **ei** käyttöä saa jatkaa.
- Jatkuvässä maasulussa esiintyvä maadoitusjännite saa olla korkeintaan pitkäaikaisesti sallitun maadoitusjännitteen suuruinen, kuitenkin korkeintaan 150 V.
- Televerkon asettamat vaatimukset on otettava huomioon.

## 4 MAASULKU MAASTA EROTETUSSA VERKOSSA

### 4.1 Maasulku

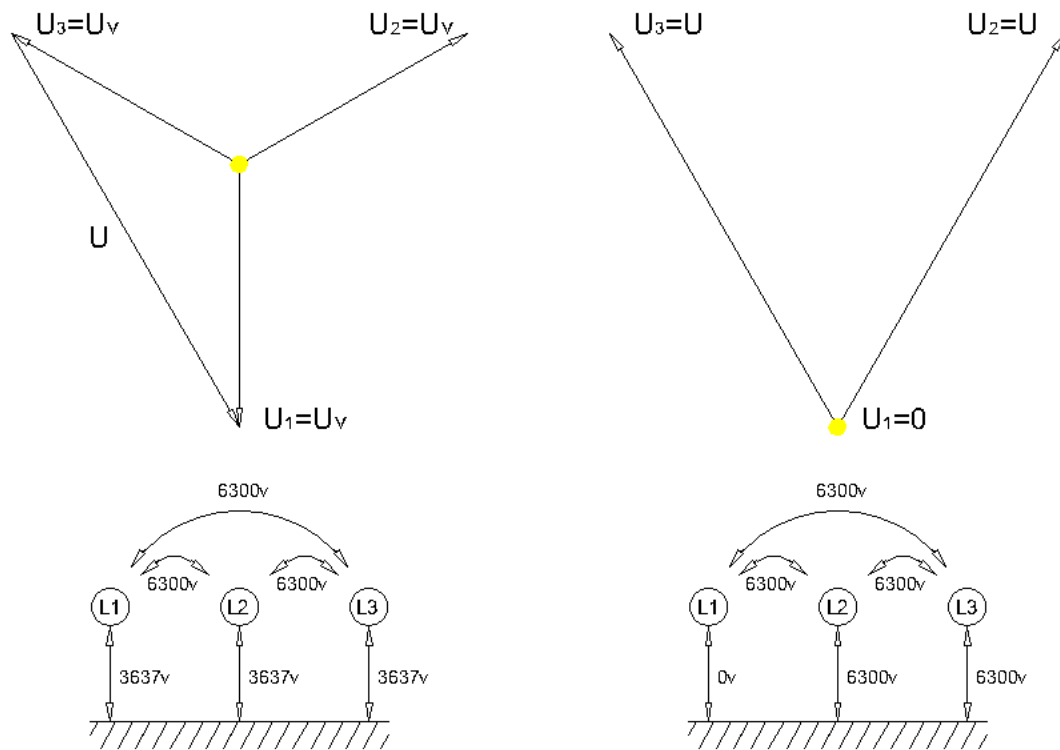
Maasulku on käyttömaadoittamattoman virtajohtimen ja maan tai maahan yhteydessä olevan johtavan osan välinen eristysvika. Kaksoismaasulku on verkon kahdessa eri vaiheessa, eri kohdissa verkkoa esiintyvä samanaikainen eristysvika. Maasulkuvirran suuruus riippuu verkon maadoitustavasta, kaapelityypistä ja päämuuntajan syöttämästä galvaanisesti yhteenkytketystä kaapelipituudesta.

Kaikki verkon vikatapaukset voidaan laskea käyttäen ns. symmetrisiä komponentteja. Symmetrisiä komponentteja käytettäessä verkosta muodostetaan sijaiskytkentä, jossa vikatapauksesta riippuen kytkeytyvät myötä-, vasta- ja nol-laverkot. Maasta erotetun verkon tapauksessa laskenta on hieman mutkikkaampaa. Symmetristen komponenttien käyttö käsin tapahtuvassa laskennassa on työläs ja virhealtis tapa.

Maasta erotetussa verkossa yksivaiheinen maasulkuvirta on melko pieni. Pienen maasulkuvirran ansiosta maadoitukselle asetetut kosketus- ja askeljännitevaatimukset on helppo saavuttaa. Lisäksi laajaan maadoitusverkon tapauksessa kosketus- ja askeljännitevaatimusten toteutumista ei tarvitse erikseen tarkastaa. Pienivirtainen maasulkuvalokaari sammuu myös usein itsestään.

Terveen verkon vaihejännitteet ovat symmetriset, ja niiden summa on nolla. Samoin terveen verkon maakapasitanssien kautta kulkevat virrat ovat symmetrisiä summutuen nollassa. Joutuessaan yksivaiheiseen maasulkuun viallisen vaiheen jännite putoaa. Vastaavasti terveiden vaiheiden vaihejännitteet nousevat. Jos maasulku on vastukseton, putoaa viallisen vaiheen jännite nolnaan ja terveiden vaiheiden jännitteet nousevat pääjännitteen suuruiseksi. Tämä tulee huomioida eristysvahvuuksia ja ilmavälejä mitoittaessa. Kuvassa 3 vasemmanpuoleinen osoitinkuva on terveessä tilanteessa. Terveessä tilanteessa vaihejännitteiden osoittimet ovat itseisarvoltaan yhtä suuret. Osoitinkuvan alapuolella havainnekuva osoittaa jännitteiden suhteet toisiinsa ja maahan. Kuvassa 3 oikeanpuoleinen osoitinkuva on vastuksettomassa maasulussa ja nollapiste on

siirtynyt. Havainnekuva osoitinkuvan alla osoittaa vaihejännitteiden suhteen toisiinsa pysyneen muuttumattomana, mutta suhde maahan on muuttunut.

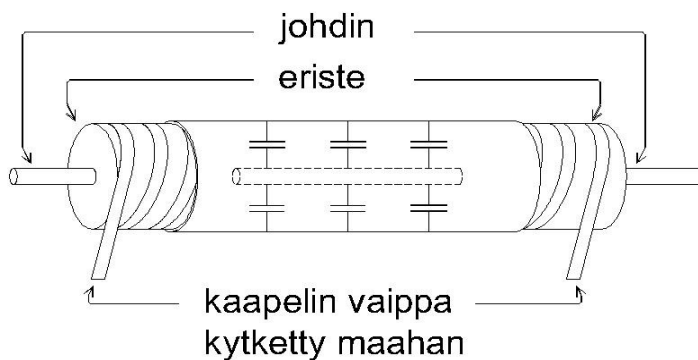


Kuva 3. Osoitinkuvat ja havainnekuvat sekä terveestä tilasta että vastuksettomasta maasulusta.

Terveen vaiheen vaihejännitteen nouseminen pääjännitteen suuruiseksi johtaa pahimmassa tapauksessa terveiden vaiheiden eristysten pettämiseen ja yksi-vaiheisen maasulun kehittymiseen kaksivaiheiseksi maasulukuksi. Epäsymmetrisessä tilanteessa maakapasitanssien virrat eivät enää kumoja toisiaan, vaan maasulkuvirta alkaa kulkea kapasitanssien kautta. Maasulkuvirta on aina kapasitiivista. Tätä käytetään hyväksi sammutuskuristimella varustetuissa verkoissa. Kuormitukset eivät häiriinny maasulusta, ennen kuin katkaisija avataan. (TTT-kirja 2000, 248.)

## 4.2 Maasulkuvirta

Maasta erotetun verkon maasulkuvirta on suhteellisen pieni, mutta sen aikaansaamat kosketusjännitteet voivat olla hyvin suuria. Hyvä maadoitusverkko varmistaa, ettei vaarallisia kosketus- ja askeljäännitteitä esiinny. Maasta erotetussa verkossa ei yksivaiheinen maasulkuvirta pysty kasvamaan niin suureksi, että ylivirtareleet havahtuisivat siihen, mistä syystä maasulkureleiden oikea asettelu on tärkeää. Maasulkuvirta riippuu päämuuntajan syöttämästä johtopituudesta ja kaapelityyppien maakapasitansseista. Maasulku voi tapahtua suoraan maahan tai vikaresistanssin kautta. Vikatapauksessa virtapiiri vikapaikasta sulkeutuu vain johtojen maakapasitanssien kautta. Kuvassa 4 kaapelin virtajohdin ja suojavaippa toimivat kondensaattorin elektrodeina, joiden välissä on eriste, ja siten ne muodostavat periaatteessa lieriökondensaattorin. Tätä ominaisuutta kutsutaan maakapasitanssiksi.



Kuva 4. Maakaapelin johtimen ja vaipan välillä kapasitanssi.

Kapasitanssiin vaikuttavat tekijät on esitetty kuvassa 5. Lieriökondensaattorin kapasitanssi lasketaan kaavalla 2. (Partanen 2009.)

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{2\pi L}{\ln \frac{r_u}{r_s}} \quad (2)$$

missä:

C kapasitanssi [F]

$\epsilon_0$  tyhjiön permittiivisyys [ $8,854187817 \cdot 10^{-12}$  F/m]

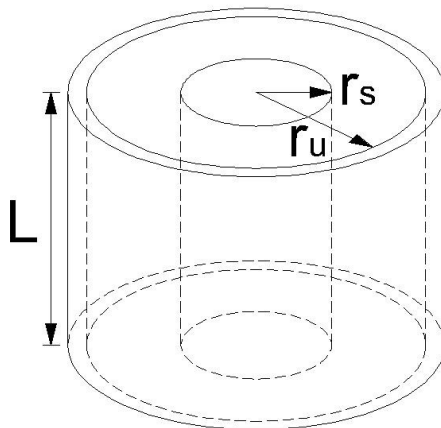
$\epsilon_r$  eristeaineen suhteellinen permittiivisyys

L kondensaattorilieriön pituus [m]

ln luonnollinen logaritmifunktio, kantaluku Neperin luku e

$r_u$  ulkoelektrodin säde [mm]

$r_s$  sisäelektrodin säde [mm]



Kuva 5. Lieriökondensaattorin periaatekuva.

Maasulkuvirta voidaan 20kV verkossa laskea hyvällä tarkkuudella ilmajohdoille (3) ja maakaapeleille (4) likiarvokaavoilla, jos kaapeleiden sähköisiä ominaisuuksia ei tunneta tarkasti. (Partanen 2011.)

$$I_e \approx \frac{U \cdot l}{200} A \quad (3)$$

$$I_e \approx \frac{U \cdot l}{5} A \quad (4)$$

missä:

U           verkon pääjännite [kV]

l           galvaanisesti yhteen kytkettyjen kaapelien pituus [km]

$I_e$        maasulkuvirta [A]

Maasulkuvirran itseisarvo saadaan laskettua tarkasti kaavalla (5), jos kaapelien maakapasitanssit tunnetaan eikä vikapaikassa ole resistanssia. (Partanen 2011, 6.)

$$I_e = \omega \cdot 3C_0 \cdot U_v \quad (5)$$

missä:

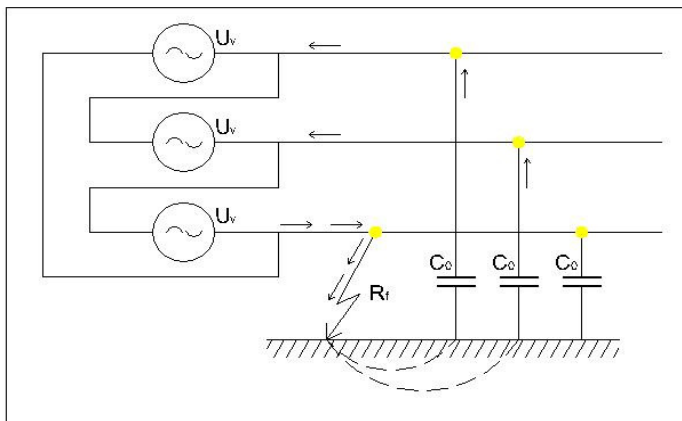
$\omega$        verkon kulmataajuus [rad/s]

$C_0$        kaapelien maakapasitanssi/vaihe [F]

U       verkon pääjännite [V]

$I_e$        maasulkuvirta [A]

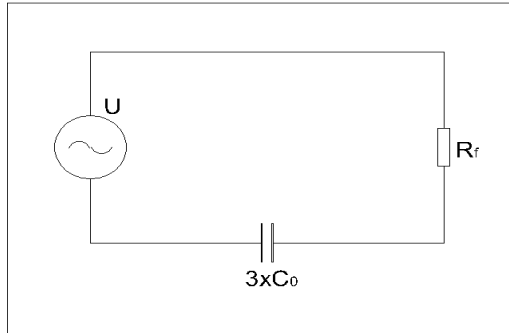
Kuvassa 6 on esitetty yksivaiheinen maasulku jossa kolme maakapasitanssia. vaihejännitteet sekä yhteys maahan vikaresistanssin kautta.



Kuva 6. Yksivaiheinen maasulku.



Kolmivaiheinen verkko voidaan johtaa yksivaiheiseksi sijaiskytkennäksi. Kuvassa 7 on yksivaiheinen ekvivalenttinen sijaiskytkentä, jossa vaihejännitteet on korvattu pääjännitteellä sekä maakapasitanssit laskettu yhteen.



Kuva 7. Yksivaiheinen sijaiskytkentä.

Kaava 5 voidaan kuvan 7 sijaiskytkennän perusteella johtaa muotoon:

$$I_e = \omega \cdot 3C_0 \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} = \sqrt{3}\omega C_0 U$$

Mikäli vikapaikassa on resistanssi jonka kautta vikavirta kulkee, saadaan maasulkuvirta kaavalla 6. (Partanen 2011.)

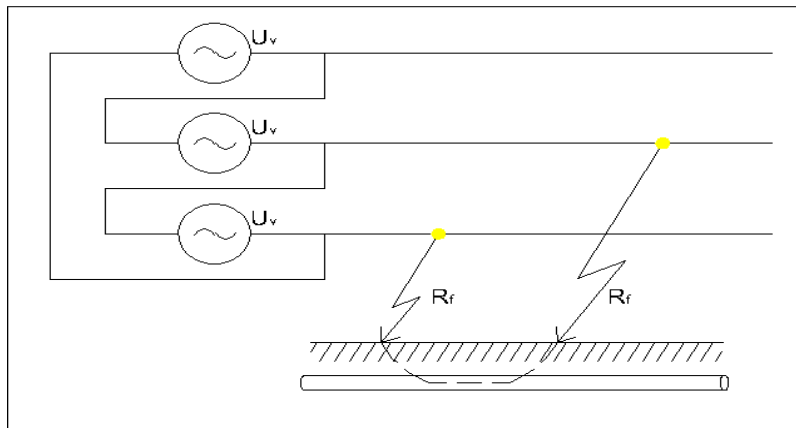
$$I_e = \frac{3\omega C_0}{\sqrt{1 + (3\omega C_0 R_f)^2}} U \quad (6)$$

missä:

$R_f$	vikapaikan resistanssi [ $\Omega$ ]
$\omega$	verkon kulmataajuus [rad/s]
$C_0$	kaapelien maakapasitanssi/vaihe [F]
$U$	verkon pääjännite [V]
$I_e$	maasulkuvirta [A]

Maasulku voi olla vaikea havaita, mikäli vikapaikan resistanssi  $R_f$  on suuri.

Kaksivaiheinen maasulku tai maaokosulku voi syntyä joko yhdessä kohdassa tai verkon eri kohdissa, ja tällöin vikavirta kulkee vikapaikasta toiseen maan kautta. Kuvassa 8 virran reitti kulkee siellä, missä resistanssi on pienin, kuten vesiputkissa ja kaapelien vaipoissa. Tämä saattaa aiheuttaa vaarallisia kosketusjännitteitä sekä läpilyöntejä ja uusia vaurioita. SFS6001+A1 standardin mukaan kaksivaiheisen oikosulkuvirran laskennallinen suuruus on 85 % symmetrisestä alkuoikosulkuvirrasta. Suuren vikavirran vuoksi ylivirtareleistyksen on helppo havaita ja poistaa kaksivaiheinen maasulku. Kaksivaiheinen maasulku, jossa vikapaikat ovat verkon eri kohdissa, on vaikeasti laskettavissa. Maaperän johtavuus voi vaihdella hyvin paljon maassa olevien rakenteiden ja putkien vuoksi.



Kuva 8. Kaksivaiheinen maasulku.

Lasketaan APYAKMM 3x70-tyyppisen kaapelin maasulkuvirta kilometrille kaavoja 2 ja 5 johtaen. Tarvitaan tieto kaapelin eristeen materiaalista ja sen suhteellisesta dielektrisyysvakiosta  $\epsilon_r$  sekä eristeen sisäsäde  $r_s$  ja ulkosäde  $r_u$ . APYAKMM on öljypaperieristeinen alumiinivoimakaapeli jolla on vaihekohtainen alumiininen suojavaippa. Eristeen ulkosäteenä toimivan suojavaipan sisäsäde  $r_u$  on 8,25mm (sähköpostiviesti Hannu Sulkumäki 23.02.2011. Prysmian Cables). Eristeen sisäsäde lasketaan kaapelin vaihejohtimen poikkialasta kaavalla 7.

$$r_s = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (7)$$

$$r_s = \sqrt{\frac{70\text{mm}^2}{\pi}} = 4,72$$

Kaapelin vaihejohdin on monisäikeinen, ja siksi voidaan olettaa, että vaihejohdinten ulkosäde ja eristeen sisäsäde on hieman edellä laskettua sädettä suurempi. Oletetaan eristeen sisäsäde  $r_s$  hieman suuremmaksi,  $r_s$  on 5,00mm. Öljypaperieristeen suhteellinen dielektrisyysvakio on 5 (TTT-kirja 2005, 38) Sijoitetaan arvot kaavaan 2.

$$C_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m} \cdot 5 \frac{2\pi \cdot 1000m}{\ln \frac{8,25mm}{5,00mm}}$$

$$C_0 = 0,555\mu F$$

Sijoitetaan laskettu maakapasitanssin arvo kaavaan 5.

$$I_e = 2\pi 50 \frac{1}{s} \cdot 3 \cdot 0,555\mu F \cdot \frac{6300V}{\sqrt{3}}$$

$$I_e = 1,903A$$

Maasulkuvirran taulukkoarvo on TTT-kirjan mukaan 1,9A/km. Laskennallinen maasulkuvirta on 1,903A/km.

## 5 STORA ENSO WOOD PRODUCTS OY LTD HONKALAHDEN SAHA

Honkalahden saha on perustettu vuonna 1906. Sahalla tuotetaan lankkuja ja lautoja vuosittain 420 000 kuutiota, jalosteita 130 000 kuutiota, haketta 315 000 kuutiota ja purua 115 000 kuutiota. Honkalahdessa on sahaamon lisäksi voimalaitos, kuorimo, tasaamo, dimensiolajittelu, rimoittamo, kuivaamot -65, -74, -87, -88, -88B, -01 -03 ja -05, neljä jalostuslinjaa, pääkonttori sekä useita suuria varastohalleja. Tehdasalueella toimii myös Joutsenon purupaali Oy.

Voimalaitos on tyypiltään vastapainevoimalaitos väliotolla. Toisin kuin sähkön tuotantoon optimoitu lauhdevoimalaitos, vastapainevoimalaitos tuottaa sähkön lisäksi myös korkea- ja matalapaineista prosessihöyryä. Tämän vuoksi vastapainevoimalaitoksen hyötysuhde voi olla jopa 80 %. (Elovaara & Laiho 2001, 26.) Voimalaitos on valmistunut vuonna 1967. Kattila on Rosenlew'in valmistama pakettikattila. Voimalaitoksen polttoaineena käytetään puun kuorta, haketta, maakaasua ja tarvittaessa polttoöljyä. Höyryn energiasta suurin osa käytetään kuivaamoissa. Energian tuotannon lisäksi generaattoria käytetään varavoimana kantaverkon häiriöiden aikana. Lisäksi tahtigeneraattoria käytetään laitoksen loistehon kompensointiin magnetointivirtaa säätämällä. Voimalaitoksen kattilan käyttöpaine on 62 bar ja tulistetun höyryn lämpötila 480 °C. Höyryntuotto on 32 t/h ja kattilan lämpöteho on 29 MW. Sahan kulutettu-, tuotettu- ja ostettu sähköteho vuonna 2009 on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Sahan sähkön ostoteho ja oman voimalaitoksen tuotanto vuonna 2009.

kuukausi	ostoteho/MWh	tuotanto/MWh	yhteensä/MWh
tammi	1450	970,42	2420,42
helmi	1271,3	873,29	2144,59
maalis	1666,4	1264,54	2930,94
huhti	1969,9	770,11	2740,01
touko	1977,1	812,3	2789,4
kesä	997,9	99,36	1097,26
heinä	1930,7	1216,51	3147,21
elo	1959	1187,71	3146,71
syys	2046,2	1519,49	3565,69
loka	1791,3	1588,97	3380,27
marras	1697,4	1429,92	3127,32
joulu	1561,43	977,72	2539,15
ka.	1693,22	1059,2	2752,41
yhteensä	20318,63	12710,34	33028,97

Oman sähköntuotannon osuus kokonaiskulutuksesta on taulukon 3 mukaan 28...47 % kun kesän seisokkikuukausi jätetään huomioimatta.

Sahan 110 kV päämuuntajan maadoitusjännite on määritetty vuonna 2010. Maadoitusjännite alittaa SFS6001-standardin sekä viestintäviraston määräyksen 43C/2004 M asettamat raja-arvot. Raja-arvot sekä todetut maadoitusjännitteet on esitetty taulukossa 4. Suurjännitejärjestelmän maadoitusjännitteen ei todettu aiheuttavan vaaraa tehtaalla tai sen ympäristössä. Sähköasemaa syötetään kahdesta suunnasta, Imatralta sekä Lappeenrannasta. Sähköaseman maasulkuvirta laukeaa portaittain, ensin Imatran suunnasta 0,4 s:n laukaisuajalla. Lopuksi Lappeenrannan suunnasta 5 s:n laukaisuajalla. Maadoitusimpedanssi  $Z_e$  on 0,40Ω.

Taulukko 4. SJ-järjestelmän maadoitusjännitteet maasulun kestoajan mukaan.

110kV		raja-arvot U/V		
$U_{e/V}$	t/s	SFS6001	viestintäv.	huom!
340	0 ... 0,4	1120	900	ok
242	0,4 ... 0,5	840	650	ok


### 5.1 Honkalahden 6,3 kV:n jakeluverkko

Sahan 6,3 kV:n jakeluverkko on rakenteeltaan maasta erotettu. Päämuuntajan kytkentäryhmä on YNd 11. Kaikkien 6,3/0,4kV jakelumuntajien kytkentäryhmä on Dyn 11. Verkossa ei kytkennästä johtuen ole tähtipistettä. Keskijänniteverkon jakelukaavio on esitetty liitteessä 4.

Maasulkurele sijaitsee vanhan voimalaitoksen kytkinlaitoksella A-kojeiston 4. kennossa, johon syöttö 110/6,3 kV päämuuntajalta tulee. Maasulkurele on staattinen suojarele malliltaan Strömberg SPAS 1F1 J3. Rele soveltuu aika- ja suuntaselektiivisyyteen perustuviin suojauksiin impedanssin kautta maadoituissa, sammutetuissa tai maasta erotetuissa verkoissa. Releen asettelu on 1,5 A ja laukaisu aika 1,5 s. Rele havahtuu kun virta, jännite ja tehon suunta täyttävät havahtumiskriteeriot. Releen havahduttua havahtumisrele toimii ja havahdusmerkki syttyy. Aikapiiri käynnistyy ja laukaisurele toimii asetellun hidastuksen jälkeen, jolloin myös toimintamerkki syttyy. (Strömberg 1979, 143.) Taulukossa 5 on esitetty maasulkureleen tyyppi sekä asettelut. Honkalahden tapauk-

nessa maasulkureleen laukaisu johtaa hälytykseen voimalaitoksen valvomossa. Toimenpiteet maasulun paikantamiseksi ja poistamiseksi on tehtävä käsin.

Taulukko 5. Maasulkureleen asetellut.

ABB SPAS 1F1 J3	
$I_0 >$	10 mA (1.50 A)
	1.50 s
$U_0 >$	$0.20 \times 100$ V (1.26 kV)
$I_x$	$0.2 \times$ [Sisääntulo 5.0 A]
$t_x$	$5 \times$ [Asento 0.30 s]
fii	$-90^\circ$

Jakeluverkkoon kuuluu:

- päämuuntaja EBG 10MVA110/6,3 kV
- tahtigeneraattori Elin 6,3 kV 6300KVA
- 12 kappaletta 6,3 kV 300-2000 kVA jakelumuuntajia
- 3,9 km KJ-kaapelia.

Taulukossa 6 on luettelo sahan KJ-verkon kaapeleista ja niiden aikaansaamista maasulkuvirroista. Taulukossa on laskettuna verkon maasulkuvirta kaavalla 3 laskettuna. Maasulkuvirran tarkka arvo poikkeaa jonkin verran likiarvokaavalla 1 lasketusta. Tämä johtunee siitä, että sahalla käytössä olevilla vanhoilla maakaapeleilla on nykyisiä, likiarvokaavan 3 olettamia kaapelityyppejä, suurempi maakapasitanssi. Taulukossa 6 ilmoitetut maakapasitanssiarvot ovat ABB:n TTT-kirjan sivun 250 taulukosta 8.2b.

Taulukko 6. Luettelo Honkalahden KJ-verkon kaapeleista.

Mistä - Mihin		Kaapeli	kV	m	kpl	A/km	A
PM	A4	AHXCMK 3×1×800	6,3	400	2	4,1	3,28
A2	M4	HXCMK 3×1×70	6,3	200	1	1,4	0,28
C2	M2	AHXCMKM 3×185	6,3	215	1	2,1	0,45
C3	G2	APAKM 3×150	6,3	65	3	1,3	0,25
C5	M3	AHXCMKM 3×185	6,3	110	1	1,4	0,15
C6	M14	PLKVJ 3×50	6,3	70	1	0,9	0,06
C7	M10	PLKVJ 3×25	6,3	535	1	0,6	0,32
C8	M12	PLKVJ 3×50	6,3	330	1	0,9	0,30
C9	M11	APYAKMM 3×185	6,3	400	1	3	1,20
C10	M6	PLKVJ 3×50	6,3	180	1	0,9	0,16
C12	M9	PLKVJ 3×95	6,3	125	1	1,1	0,14
C13	M15	AHMCMK 3×150	6,3	175	1	1,37	0,24
C14	M18	APYAKMM 3×120	6,3	215	1	2,5	0,54
C15	M17	APYAKMM 3×70	6,3	345	1	1,9	0,66
Yhteensä							8,03

Honkalahden KJ-verkossa ei ole muita keskijännitekojeita kuin generaattori. Näin ollen kaksoismaasulun virta on likimain yhtä suuri kuin kaksivaiheisen oikosulun. A-kojeiston kaksivaiheisen oikosulun symmetrinen alkuoikosulkuvirta arvo on 10,7kA. (Grönlund 2006, 10.) Kuitenkin standardissa mainitaan, että mitoitusvirta  $I''_{KEE}$  on 85% symmetrisestä alkuoikosulkuvirrasta. (SFS6001+A1 2005, 73.)

Tämä virta on kuitenkin niin suuri, että kaksoismaasulun sattuesssa ylivirtareleet havahtuvat ja laukaisu tapahtuu 0,1 – 1,0 sekunnissa. Kaksoismaasulun kestäessä alle 1 sekunnin voidaan mitoitusvirtana käyttää virtaa  $I_C$  eli laskettua tai mitattua kapasitiivista maasulkuvirtaa. (SFS6001+A1 2005, 73.)

Kaikki PVC-eristeiset laajan maadoituksen yhdistysjohtimet ovat poikkipinnaltaan 50mm<sup>2</sup>. Näiden johtimien terminen mitoitus tehdään 150 °C:n loppulämpötilalla. Paljaiden kuparisten laajan maadoitusverkon yhdistysjohtimien terminen mitoitus voidaan tehdä 300 °C:n loppulämpötilalla, ei kuitenkaan jos vieressä on eristettyjä johtimia. (STUL ry 2007, 84.) Poikkipinnaltaan pienin johdin on muuntajalta M6 puistokeskukselle johtava 25 mm<sup>2</sup>:n yhdistysjohdin. Maadoituselektrodien pienin poikkipinta on 16 mm<sup>2</sup>.

Maadoitusjohtimien jatkuva virta ei maasulussa pääse kasvamaan lähellekään kuvassa 2 esitettyjä mitoitusvirtoja. Honkalahden KJ-verkon tapauksessa kapasitiivinen maasulkuvirta  $I_C$  on vain 8,03 A ja siksi merkityksetön maadoitusjohtimien termisen mitoituksen kannalta.

Askel- ja kosketusjännitevaatimusten katsotaan toteutuvan, jos suurjänniteasennus on osa laajaa maadoitusjärjestelmää. Niinpä laajaan maadoitusverkkoon kuuluvien maadoitusten mitoituksen perusteeksi jää mitoitus mekaanisen lujuuden ja korroosionkestävyyden kannalta. Kaikki maadoitusjohtimet täyttävät korroosionkestävyyden ja mekaanisen lujuuden asettamat vaatimukset. Sahalla ei käsitellä kuparia korroosiolle altistavia kemikaaleja.

## **6 MAADOITUSVERKON JATKUVUUSMITTAUKSET**

Laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluvien muuntajien elektrodien maadoitusresistanssia ei tarvitse mitata, mutta maadoitusverkon eheys tulee todeta mittauksin. Mittausten ja kartoituksen yhteydessä maadoituskiskot ja liitokset tarkastettiin myös silmämääräisesti. Jatkuvuusmittauksen vuoksi maadoitusjohdin joudutaan irrottamaan toisesta päästä. Ennen irrottamista varmistetaan pihtivirtamittarilla, ettei maadoitusjohtimessa kulje virta. Huonossa tapauksessa maadoituskiskon ja maadoitusjohtimen väliin nousee jännite, kun johdin irrotetaan kiskosta. Kaikkia päämaadoituskiskon puoleisia johtimen päitä ei ollut merkitty, joten oikean johtimen löytäminen oli melko hankalaa. Johtimien tunnistamisessa käytettiin menetelmää, jossa mittausvirta laitettiin kiertämään johtimesta päämaadoituskiskoon ja oikeaa johdinta etsittiin pihtivirtamittarin avulla. Oikeat päät löytyivät ja ne merkittiin asianmukaisesti.



## 6.1 Mittausmenetelmä

Maadoitusverkon eheys todettiin yksinkertaisella  $V/A$  menetelmällä. Koska mitattavat resistanssit ovat pieniä, on mittalaitteen oltava hyvin tarkka. Mitattava maadoitusjohdin irrotetaan toisesta päästä ja mittausvirta syötetään johtimeen. Mittausvirralle on järjestettävä tilapäinen paluujohdin, esimerkiksi MKEM 2,5 mm<sup>2</sup>. Tilapäisen paluujohtimen vuoksi auto- ja työkoneliikenne tehdasalueella tulee olla mahdollisimman vähäistä. Mittaukseen käytetään noin vikavirran suuruisista mittausvirtaa. Tämä mittaustapa voi paljastaa maadoitusjohtimessa vaurion, jossa johdin on poikki paria säiettä lukuun ottamatta. Mittaustapa, jossa käytetään pientä virtaa, ei välttämättä paljasta tämän tyyppistä vikaa. Mittalaite lainattiin Kuusitunturi Oy:ltä Lappeenrannasta.

Mittalaitteena käytettiin Beha Unitest Machinemaster 9050E-konetesteriä. Laite on monipuolinen, ja sitä voidaan käyttää asennetustesterinä sekä SFS-EN60204-standardin mukaisena konetesterinä.

Mittaukset suoritettiin PE-mittauksella 10 A:n nimellisellä testivirralla. Mittalaitteen tarkkuus resistanssin ollessa välillä 0,012-0,999 Ω on 1 mΩ ja välillä 1-9,9 Ω on 10 mΩ. Ennen mittauksia mittalaite kompensoidaan käytettävän paluujohdinten ja mittapäiden resistanssille. Mittalaite sijoitettiin vanhan voimalaitoksen päämaadoituskiskon luo. Näin mittausten edetessä mittalaitetta ei tarvinnut siirtää. Ainoastaan paluujohdin käytiin kiinnittämässä mitattavaan johtimeen.

Mittaustulosten käsittelyä varten tarvitaan tieto maadoitusjohtimen materiaalista, sen ominaisresistanssista sekä johtopituudesta. Nämä tiedot olivat melko hyvin selvillä, sillä muuntajille menevät maadoitusjohtimet kulkevat KJ-kaapeleiden läheisyydessä. Muiden maadoitusjohtimien pituudet oli arvioitava asemapiirroksista. Kuparin ominaisresistanssi +20 °C lämpötilassa on  $0,0172 \cdot 10^{-6}$  Ωm. (TTT-kirja 2000, 35.) Maadoitusjohtimen resistanssi laskettiin kaavalla 7.

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (7)$$

missä:

R johtimen resistanssi [ $\Omega$ ]

$\rho$  johdinmateriaalin resistiivisyys [ $10^{-6} \Omega m = \Omega \cdot mm^2/m$ ]

l johtimen pituus [m]

A johtimen poikkiala [ $m^2$ ]

Lasketaan päämaadoituskiskolta muuntajalle M2 johtavan maadoitusjohtimen resistanssi kaavaa 7 johtamalla. Kaikkien päämaadoituskiskoon liittyvien maadoitusjohtimien resistanssit on laskettuna taulukossa 7. Mitatuista tuloksista täytyy vähentää paluujohtimen resistanssi.

$$R = \frac{0,0172 \frac{\Omega mm^2}{m} \cdot 215m}{50mm^2} = 0,0740\Omega$$

Taulukko 7. Laajan maadoitusverkon johtimien resistanssit kaavalla 6 laskettuna.

mistä	mihin	tyyppi	arvioitu johtopituus/m	laskennallinen resistanssi/ $\Omega$
Päämaadoituskisko	- Sampo	Cu 50	215	0,07
Sampo	- Rim	Cu 50	120	0,04
Rim	- Dim	MK 50	154	0,05
Dim	- Saha 1	Cu 50	92	0,03
Päämaadoituskisko	- Saha 2	Cu 120	111	0,02
Päämaadoituskisko	- Voimalaitos	Cu 50	61	0,02
Päämaadoituskisko	- Jalostus 3	MK 50	175	0,06
Päämaadoituskisko	- Tukinsyöttö	Cu 50	68	0,02
Tukinsyöttö	- Kuorimo	Cu 50	328	0,11
Päämaadoituskisko	- kytkinlaitos alakerta	Cu 25	25	0,02
Päämaadoituskisko	- kytkinlaitos yläkerta	Cu 50	25	0,01

Mittausvirran paluujohtimen MKEM 2,5 mm<sup>2</sup> valmistajan ilmoittama resistanssi +20 °C:n lämpötilassa on 7,98  $\Omega/km$ . (Reka kaapeli OY 2011.) Johtimen resis-

tanssin muutos lämpötilan funktiona lasketaan kaavalla 8. Kuparin resistanssin lämpötilakerroin  $\alpha$  on  $4 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . (TTT-kirja 2005, 35.)

$$R_2 = R_1(1 + \alpha\Delta t) \quad (8)$$

Missä:

$R_1$           alkulämpötila [ $^\circ\text{C}$ ]

$R_2$           loppulämpötila [ $^\circ\text{C}$ ]

$\alpha$           resistanssin lämpötilakerroin [ $^\circ\text{C}^{-1}$ ]

$\Delta t$           lämpötilan muutos [ $^\circ\text{C}$ ]

Johdinvalmistajat ilmoittavat johtimien resistanssit  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ :n lämpötilassa. Mittausten aikana ulkolämpötilat olivat huomattavasti kylmempiä. Lasketaan 200 m:n paluujohtimen resistanssi  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ :n lämpötilassa kaavalla 8.

$$R_2 = 1,596\Omega(1 + 0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot -20^\circ\text{C})$$

$$R_2 = 1,468\Omega$$

## 6.2 Mittaustulokset

Mittausten valmisteluvaiheessa kalibroidaan mittausjohtojen ja –liittimien resistanssit mittalaitteeseen. Suurin mittalaitteeseen kalibroitava resistanssi on kuitenkin  $1 \text{ } \Omega$ , joten mittausjohdon resistanssi oli vähennettävä mittaustuloksesta itse. Paluujohtimen resistanssin ollessa  $>1 \text{ } \Omega$  mittaustarkkuudeksi tulee  $10 \text{ m}\Omega$ . Viimeisessä mittauksessa paluujohtin oli lyhennetty niin lyhyeksi, että tarkkuudeksi saatiin  $1 \text{ m}\Omega$ .

Ensimmäistä mittausta varten määritettiin 200 m:n paluujohtimen sekä liittimien resistanssiksi 1,47 Ω ulkolämpötilan ollessa 0 °C. Ero valmistajan ilmoittamaan ominaisresistanssiin on melko suuri. Mitattu tulos 1,47 Ω vastaa kaavaa 8 johtamalla laskettua tulosta 1,468 Ω. Ulkolämpötilan vaikutus mittaustulokseen on siis merkittävä. Paluujohtimen resistanssi oli tarkistettava parin tunnin välein ulkolämpötilan muuttuessa.

Maadoitusjohtimien lämpötilan arviointi on vaikeampaa, sillä johtimet voivat kulkea eri lämpötiloissa ulkona, sisällä, maassa tai kanaaleissa. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 8. Mitattu resistanssi on maadoitusjohtimen, paluujohtimen ja liittimien yhteisresistanssi. Paluujohtimen resistanssi on paluujohtimen ja liittimien resistanssi. Maadoitusjohtimen resistanssi on laskettu erotus mitatusta ja paluujohtimen resistansseista. Resistanssien erotusta verrataan laskennalliseen resistanssiin, joka on laskettu taulukossa 7 kaavalla 7.

Taulukko 8. Laajan maadoitusverkon mittaustulokset.

mistä	mihin	mitattu kokonaisresistanssi/Ω	mitattu paluujohtimen resistanssi/Ω	maadoitusjohtimen resistanssi/Ω	laskennallinen resistanssi/Ω	Huom!
Päämaadoituskisko	- Sampo	2,96	2,95	0,01	0,07	ok
Sampo	- Rim	1,99	1,95	0,04	0,04	ok
Rim	- Dim	2,03	1,95	0,08	0,05	ok
Dim	- Saha 1	1,98	1,95	0,03	0,03	ok
Päämaadoituskisko	- Saha 2	1,48	1,47	0,01	0,02	ok
Päämaadoituskisko	- Jalostus 3	1,56	1,47	0,09	0,06	ok
Päämaadoituskisko	- Tukinsyöttö	1,49	1,47	0,02	0,02	ok
Tukinsyöttö	- Kuorimo	1,63	1,48	0,15	0,11	ok
Päämaadoituskisko	- kytkinlaitos alakerta	1,55	1,54	0,01	0,02	ok
Päämaadoituskisko	- kytkinlaitos yläkerta	0,794	0,792	0,002	0,01	ok

Mittaustulosten perusteella maadoitusjohtimien jatkuvuus on kunnossa. Mitatut tulokset vastaavat laskettuja tuloksia hyvällä tarkkuudella. Ainoastaan päämaadoituskiskolta muuntajalle M2 johtavan maadoitusjohtimen resistanssi oli huomattavasti pienempi kuin laskettu arvo. Maadoitusjohtin on paljas kuparijohtin, joka kulkee ilmeisen hyvin johtavassa maassa Saimaan rannalla. Tämä voi selittää pienen resistanssin.

## 7 YHTEENVETO

Selvitystyön perusteella laaja maadoitusverkko siltä osin kuin se toteutuu täyttää SFS6001-standardin verkon mitoitukselle ja rakenteelle asettamat vaatimukset. Mittaustulosten perusteella laajan maadoitusverkon resistanssit ovat pieniä. Laajaa maadoitusverkkoa tulisi suunnitelmallisesti laajentaa siten, että se lopulta kattaisi koko tehdasalueen. Tässä työssä ei ole huomioitu tele- ym. kaapeleiden eikä putkien tai teräsrakenteiden osuutta laajaan maadoitusverkkoon. Ne eivät ole varsinaisia laajan maadoitusverkon johtimia, mutta niiden tulee kuitenkin olla siihen liitettynä ja ne toimivat osana verkkoa.

Muuntajien M2, M3, M9, M11 ja M15 kohdalla kaikki laajan maadoitusverkon edellytykset täyttyvät. Yhteyksinä laajaan maadoitusverkkoon toimivat maadoitusjohtimet vanhan voimalaitoksen päämaadoituskiskoon, KJ-kaapelien kosketussuojavaipat sekä PJ-kaapeleiden PEN-johtimet.

Muuntajien M5, M6, M12, M14 ja M17 voidaan katsoa kuuluvan laajaan maadoitusverkkoon, mutta nekin olisi syytä yhdistää vanhan voimalaitoksen päämaadoituskiskoon erillisellä maadoitusjohtimella. Muuntajat liittyvät laajaan maadoitusverkkoon PJ-kaapeleiden PEN-johtimilla sekä KJ-kaapeleiden kosketussuojavaipoilla. Jalostus 4:n alakerrassa, muuntajan M5 alapuolella, on vesiputkea käytetty maadoituskiskona. Putken pinta on kostea kondenssivedestä, ja siitä aiheutuvan korroosion vaikutus näkyy selvästi putken pinnassa sekä siihen liitetyissä maadoitusjohtimissa. Putken tilalla tulisi käyttää asianmukaista maadoituskiskoa. Jalostus 4:n muuntajan M5 ovesa on harhaanjohtavasti kilpi ”Jalostus 1 erotin: vanha voimalaitos C10”. Oikea teksti kilvessä olisi ”Jalostus 4 erotin: vanha voimalaitos A2”.

Muuntajat M10 ja M18 ovat selkeästi laajan maadoitusverkon ulkopuolella, sillä niiden maadoituksista ei ole yhteyksiä muihin maadoitusverkkoihin, eikä niitä ole yhdistetty vanhan voimalaitoksen päämaadoituskiskoon erillisellä maadoitusjohtimella. Muuntajan M10 kohdalla tilanne on huonoin. Syöttökaapelin suojavaipan materiaali on lyijyä ja siksi huonosti johtavaa, eikä erillistä maadoitusjohdinta ole. Muuntajan M10 kaapelit ovat maahan kaivettuina kaapeliojissa ja

muuntaja on asfalttikentän keskellä, joten muuntajan liittäminen laajaan maadoitusjärjestelmään ei välttämättä ole taloudellisesti kannattavaa. Jos muuntajan ympärillä olevaa asfalttia kuitenkin joskus avataan, kannattaa maadoitus samalla asentaa.

Muuntajan M18 syöttökaapeli tulee voimalaitokselta kanaalissa, johon voidaan kohtuullisella työllä lisätä maadoitusjohdin. Maadoitusjohtimen asentaminen tulee ajankohtaiseksi vuosien 2011 ja 2012 välillä höyryputkien asennustyön yhteydessä. Samassa yhteydessä uudet maadoitusjohtimet tulisi asentaa myös muuntajille M5 ja M6.

Laajan maadoitusverkon verkkomaista rakennetta olisi helppo parantaa yhdistämällä sahan jakelumuuntajien M3 ja M9 maadoitukset. Yhteys on mahdollisesti jo olemassa vesiputkien, teräsrakenteiden ja PJ-puolen PEN-johtimien kautta. Näiden yhteyksien luotettava toteaminen on hankalaa. Luotettavuuden kannalta esimerkiksi MK 50 -kaapeli olisi paras.

Kuivaamon -87 maadoituskisko tulisi yhdistää "sampo-muuntajan" M2 maadoitukseen, esimerkiksi kuivaamo 88:n sähkötilassa. Nykyisin kuivaamo -87:n maadoitus on syöttökaapelin PEN-johtimella ja omalla paikallisella maadoituselektrodilla. Kaikki muutosehdotukset laajan maadoitusverkon parantamiseksi on esitetty liitteen 1 sivulla 2 sekä liitteessä 4 sinisellä ehyellä viivalla tasolla "saha ehdotus".

Muutosten jälkeen uusien maadoitusjohtimien jatkuvuus sekä muuntajien luotettava liittyminen laajaan maadoitusverkkoon tulee todeta vastaavilla mittauksilla kuin nykyisenkin verkon mittaus.

Yleissääntönä KJ-kaapeleiden suojajohtimille on, että kaapelien vaipat maadoitetaan kummastakin päästä. Tällöin nekin toimivat osana laajaa maadoitusverkkoa. (STUL ry 2007, 97.) Kuitenkaan tehtaan KJ-verkoissa kaapelien kosketussuojajohtimia ei voida pitää riittävän luotettavina ainoaksi yhteydeksi laajaan maadoitusverkkoon. Kaapelin vaipan maadoitus voidaan joutua irrottamaan toisesta päästä, jotta kaapelin täysi kuormitettavuus voidaan hyödyntää (Puhelin keskustelu Jari Käyhty, 28.2.2011.) Näin toimittaessa voidaan tahattomasti purkaa ainoa yhteys laajaan maadoitusjärjestelmään.

KJ-verkon maasulkuvirrat ovat vielä nykyisellään melko pieniä eivätkä aiheuta toimenpiteitä. Vanhojen APYAKMM-tyyppisten öljypaperieristeisten maakaapeleiden korvaaminen nykyaikaisilla PEX- tai XLPE-eristeisillä kaapeleilla olisi helpoin tapa maasulkuvirtojen pienentämiseksi.

Standardi SFS6001 edellyttää että muuntajien KJ- ja PJ-puolten maadoitukset yhdistetään. Näin on kaikkien muuntajien kohdalla toimittu, mutta kaikissa yhdistystä ei ole tehty muuntajan kannella, vaan pääkeskuksessa. Maadoitusjoh-  
timien merkkauksissa oli myös hieman puutteita.

## **KUVAT**

Kuva 1. Sallitut kosketusjännitteet  $U_{TP}$  vikavirran kestoajan funktiona, s. 9

Kuva 2. Poikkipinnaltaan pyöreään maadoitusjohtimen jatkuva virta, s. 17

Kuva 3. Osoitinkuvat ja havainnekuvat sekä terveestä tilasta että vastuksettomasta maasulusta, s. 21

Kuva 4. Maakaapelin johtimen ja vaipan välillä kapasitanssi, s. 22

Kuva 5. Lieriökondensaattorin periaatekuva, s. 23

Kuva 6. Yksivaiheinen maasulku, s. 25

Kuva 7. Yksivaiheinen sijaiskytkentä, s.25

Kuva 8. Kaksivaiheinen maasulku, s. 26

## **TAULUKOT**

Taulukko 1. Materiaaleista riippuvien vakioiden arvot, s.15

Taulukko 2. Muunnoskertoimet pyöreään maadoitusjohtimen eri loppulämpötiloille, s.18

Taulukko 3. Sahan sähkön ostoteho ja voimalaitoksen tuotanto vuonna 2009, s. 29

Taulukko 4. SJ-järjestelmän maadoitusjännitteet maasulun kestoajan mukaan, s. 29

Taulukko 5. Maasulkureleen asettelut, s. 30

Taulukko 6. Luettelo sahan KJ-verkon kaapeleista, s. 31

Taulukko 7. Laajan maadoitusverkon johtimien resistanssit kaavalla 6 laskettuna, s. 35

Taulukko 8. Laajan maadoitusverkon mittaustulokset, s. 38



## LÄHTEET

ABB Oy. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita TTT-kirja. 9. painos.

Elovaara, J. Laiho, Y. 2001. Sähkölaitostekniikan perusteet. 4. painos. Helsinki: Oy Yliopistokustannus Press Finland Ltd.

Grönlund, E. 2006. Verkostolaskenta Stora Enso Timber Oy Honkalahden saha. Pori: KMJ-engineering.

Käyhty, J. 1991. Tehtaan maadoitusverkon selvitys ja mitoitus. Helsingin teknillinen oppilaitos. Sähkövoimatekniikan koulutusohjelma. Insinööriyö.

Nokia Kaapeli Oy. 1989. Tuoteluettelo.

Partanen, J. Maasulkusuojaus. 2011. Luentomateriaali.  
[https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0500/luennot/maasulkusuojaus\\_2.pdf](https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0500/luennot/maasulkusuojaus_2.pdf)  
(Luettu 7.2.2011)

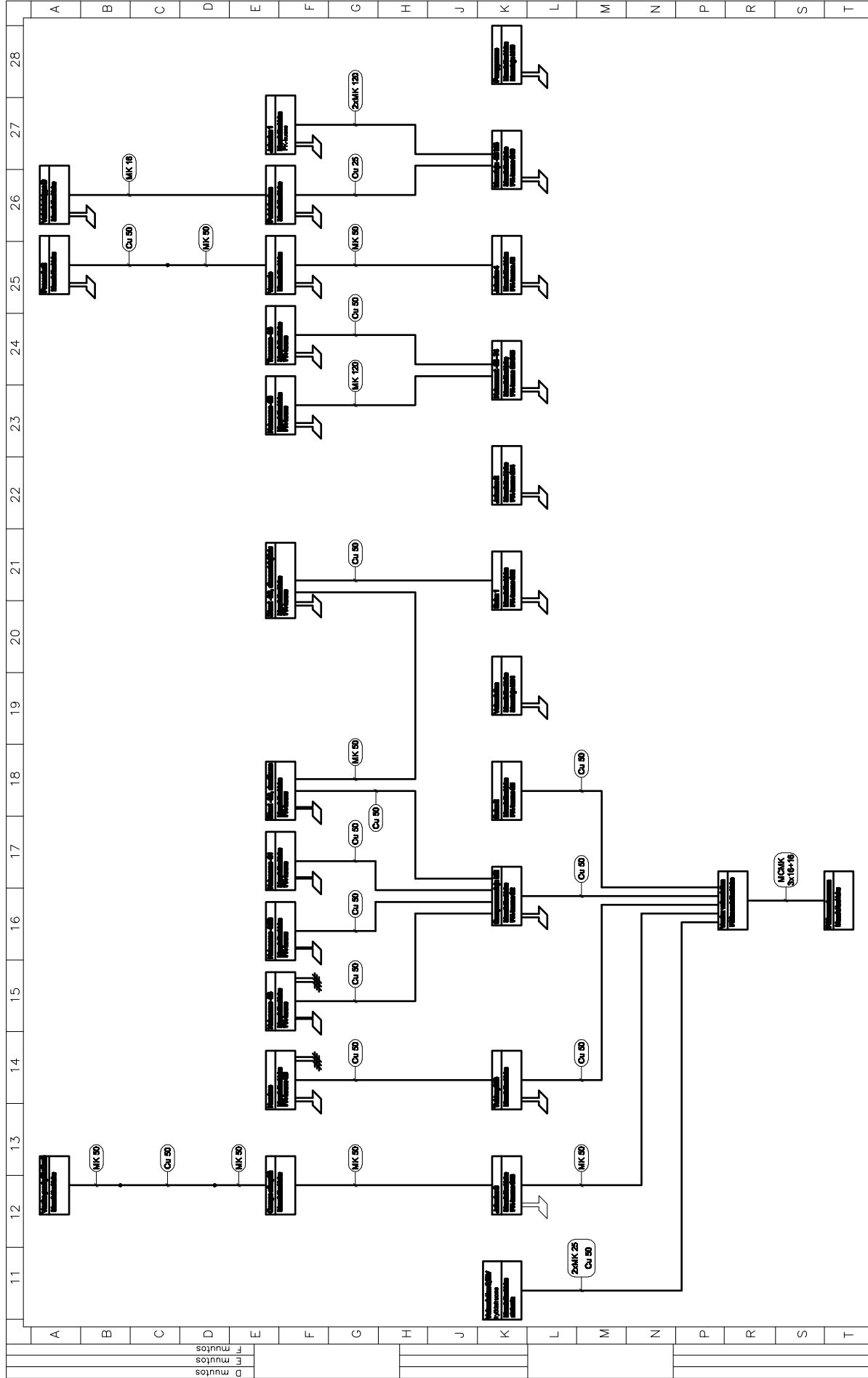
Partanen, J. Suurjännitetekniikka. 2009. Luentomateriaali.  
<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0300/luennot/johdanto.pdf> (Luettu 22.2.2011)

Reka Kaapeli Oy. 2011. Tuotteet.  
[http://www.reka.fi/products/reko/MKEM%2B90\\_450\\_Asenusjohdin](http://www.reka.fi/products/reko/MKEM%2B90_450_Asenusjohdin) (Luettu 30.03.2011)

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2007. Maadoituskirja. 5. painos. Espoo: Sähköinfo Oy.

Suomen Standardisoimisliitto. 2005. SFS 6001 +A1 Suurjännitesähköasennukset.

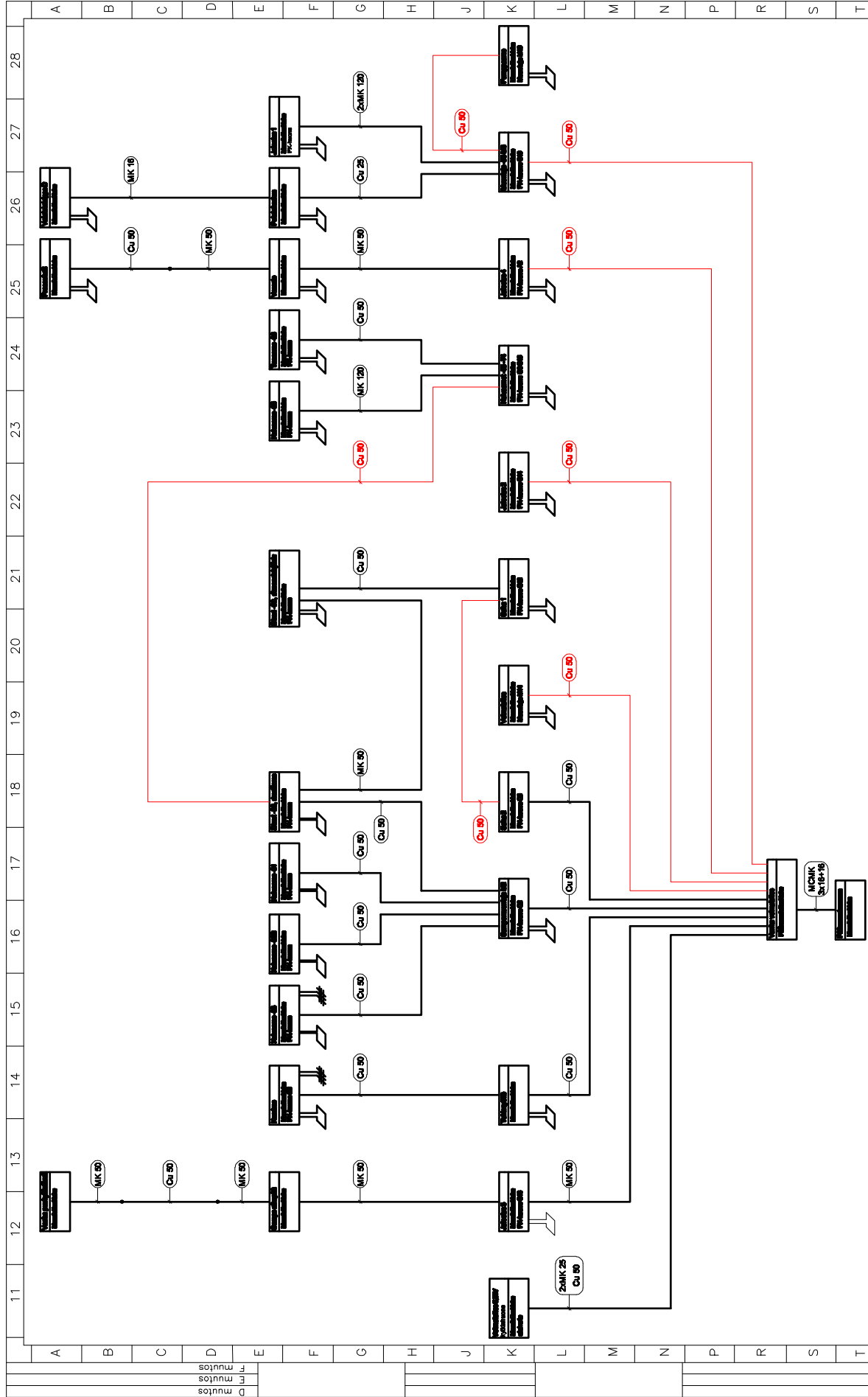
Oy Strömberg Ab. 1979. Suuntarele SPAS 1F1 J3 asennus- ja käyttöohje.



A muutos		Ponu		Sijaintikoodi		Laitteisto		Pirustusloji		YKSINKERTAISTETTU		Lehti/Lehtiä		Muutos	
B muutos		7		02		02		02		STORA ENSO		1/2		1	
C muutos		Pölytyö		Suunn.		Piirt.		Terä.		WOOD PRODUCTS		Pirustusnumero/teostonimi		25543	
D muutos		23.03.2011		JH		JH		JH		HONKALAHDEN SAHA		Lenti		013	
E muutos		Lisärieto								HONKALAHDEN SAHA		Koko		013	

LIITE 1  
1 (2)

STORA ENSO  
Stora Enso Wood Products Oy Ltd  
HONKALAHDEN SAHA  
PL12 54101 Joutseno puh. 02046113



LIITE 1  
2

Muutos  
Lehti/Lehtiä  
1/2  
Pirustusnumero/tiedostonimi Lehti | Koko  
25543 013

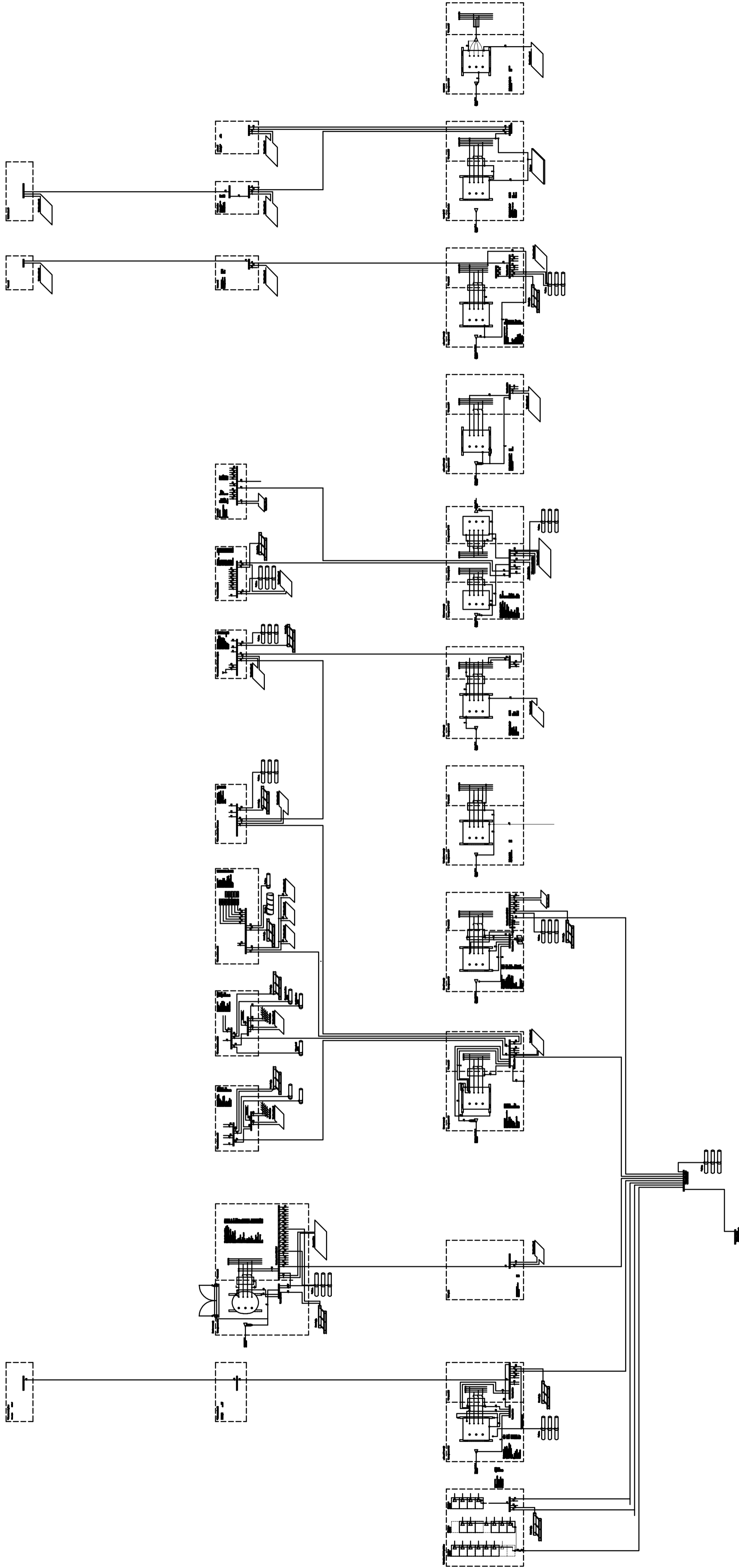
YKSINKERTAISTETTU  
MAADOITUSKAAVIO  
EHDOTETUT MUUTOKSET

STORA ENSO  
WOOD PRODUCTS  
HONKALAHDEN SAHA

Panu 7  
Päiväys 23.03.2011  
Lisäinfo  
Sijaintikoodi Suunn. JH  
Laitteisto JH  
Pirustusloji O2  
Tark.

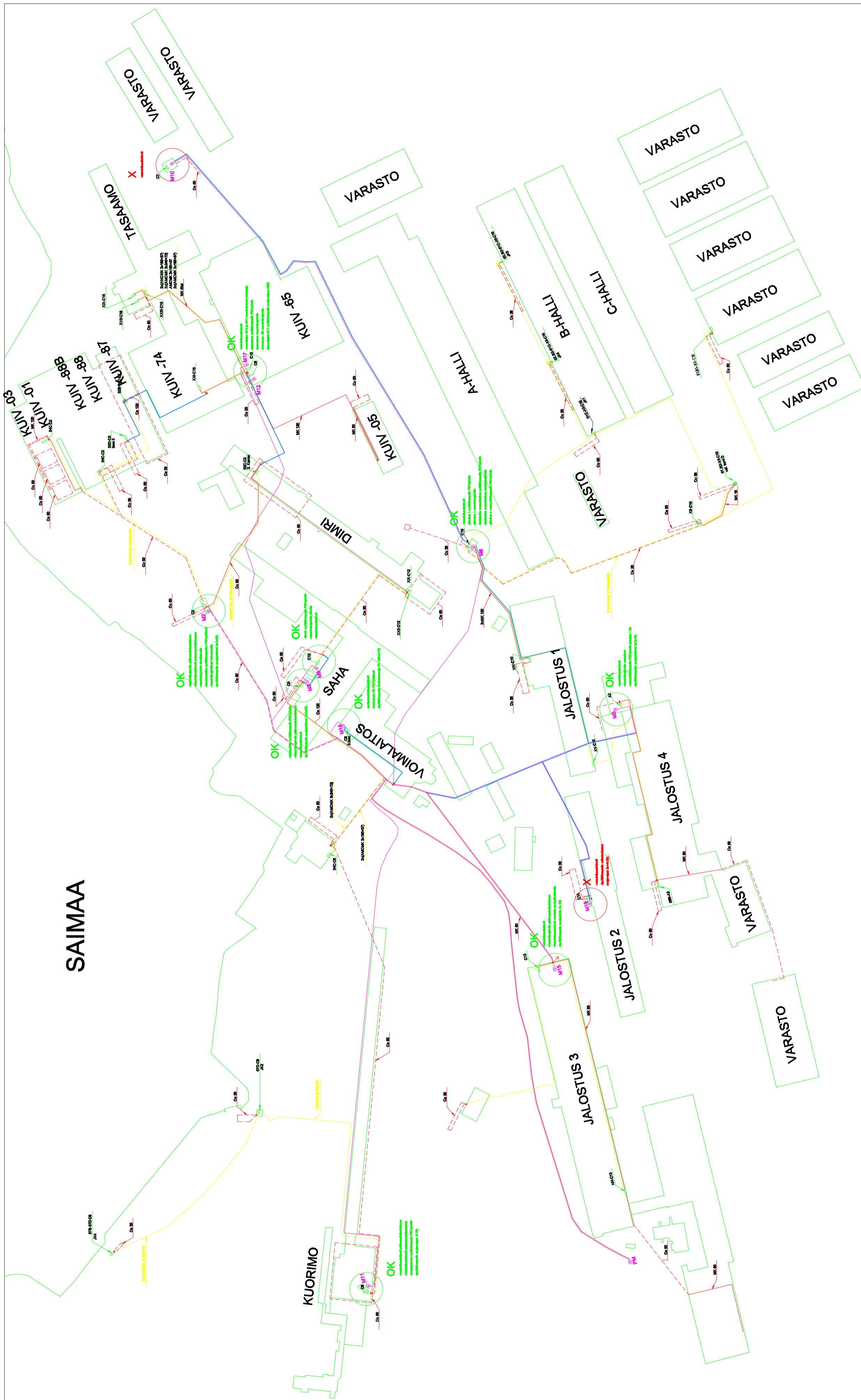
**STORA ENSO**  
Stora Enso Wood Products Oy Ltd  
HONKALAHDEN SAHA  
PL12 54101 Joutseno puh. 02046113

↖ muutos  
↗ muutos  
↘ muutos  
↙ muutos



<b>STORAENSO</b> Suomen Kone- ja Metalliteollisuus Oy KONKALAHDEN SAHA P.O. Box 54101, Jyväskylä, puh. 02046113	Paru: 7	Sijaintikoodi: 7	Laitteisto: 02	Piirustaja: 02	Lehti/lehtiä: 2/2	Muutos: 02.1
	Päiväys: 26.05.2011	Suunn: JH	Piir: JH	Tark: JH	Projekti: 25543	02.1

YKSITYISKOHTAINEN  
MAADOITUSKAAVIO



SAIMAA

- Endotettu maadoitusjohdin
- Maadoitusjohdin
- - - Maadoituselektrodi
- Pienjännitekaapelin PEN-johdin
- Keskijännitekaapeli

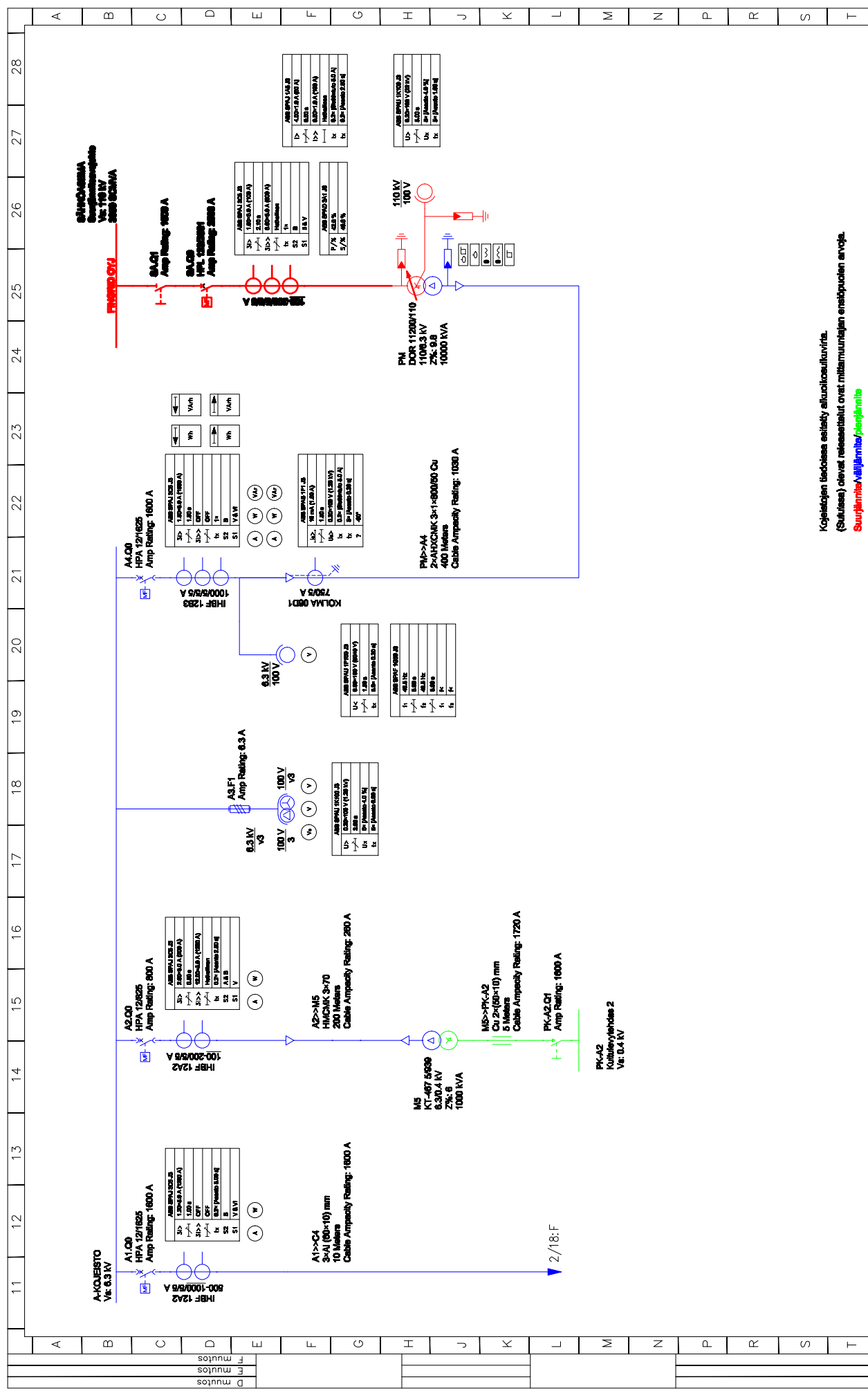


STORAENSO  
Sähkö, Verkko, Putkisto, Oik. IM  
HONKALAHDEN SAHA  
PLZ 5101, Järvenpää, puh. 02046113

Paru	Sijainti	Laite	Projekti	Yhtiö
7	7	02	04.04.2011	JH
Revisio	Suunn.	PII.	JH	Tark.
04.04.2011	JH	JH		
Esitieto				

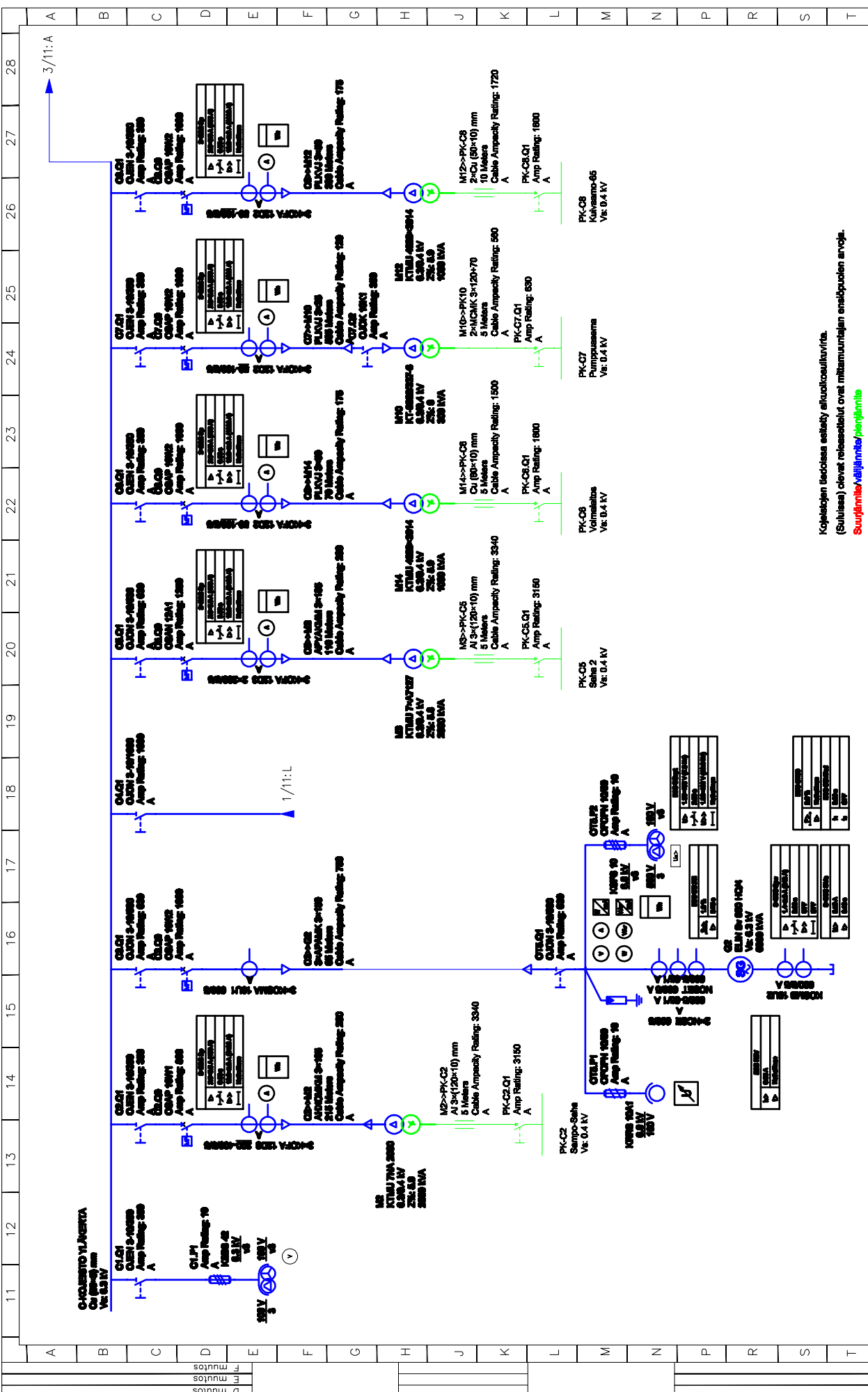
KESKIJÄNNITIVERKKO  
ASEMAKUVA

Lehti/Nähti	Muutos
1/1	
Projekti	01 1



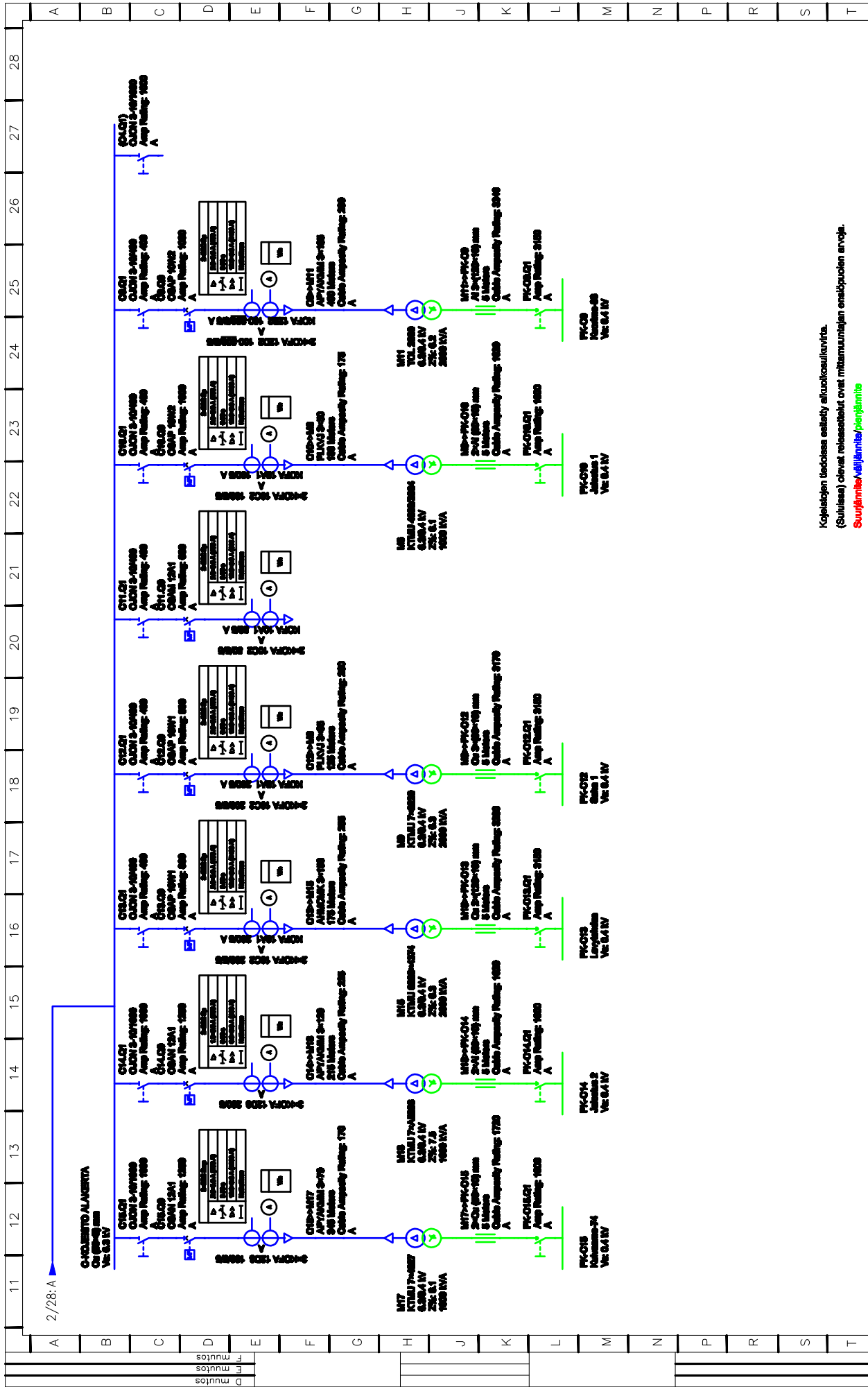
Kajastajan tiedoissa esiintyvä alkucircuitointivirta.  
(Suulissa) olevat releasetilat ovat mittamuunnajan ensispuolien arvoja.  
**Suurjänniteväljänniteohjelmisto**

Muutos		Lehti/Lehtiä	Muutos
		1/3	
		Piirustusnumero/tiedostonimi	Lehti/Koko
			01 3
<b>Pääkaavo 110/6,3/0,4 kV</b> <b>Oikosulkuvirrat ja suojarieleet</b>			
Päiväys		Suunn.	
23.03.2011		Piir.	
Lisätieto		Tark.	
Pöytä	Sijaintikoodi	Laitepositio	Piirustuslaji
7			02
<b>STORAENSO</b> Stora Enso Wood Products Oy Ltd HONKALAHDEN SAHA PL12 54101 Joutseno puh. 02046113			
KML-Engineering Oy		KML-Engineering Oy	
Tiedustelu 4A 26260 PORI		Tiedustelu 4A 26260 PORI	
Tel. +358 2626 3762 Fax. +358 2626 3770		Tel. +358 2626 3762 Fax. +358 2626 3770	
www.kml-engineering.com		www.kml-engineering.com	



Kopeteiden luokissa esitetyt erikoisuudet.  
(Sulussa) olevat releasetelit ovat mitaamattajan ensispuolien arvoja.  
Suojajärjestelmä/kuvaus/kuvaus

Muutos		Lehti/Lehtiä	Muutos
		2/3	
		Piirustusnumero/tiedostonimi	Lehti/Koko
			02 3
<p><b>Pääkaaivo 110/6,3/0,4 kV</b> <b>Oikosulkuvirrat ja suojareleet</b></p>			
Pöytäkirja		KML-Engineering Oy Tuusulanpolku 4A 20000 PORI Tel. +358 2020 3752 Fax +358 2020 3770 www.kml-engineering.com	
KML engineering			
Pöytäkirja	Sijaintikoodi	Lähtöpaikka	Piirustaja
7			02
Pöytäkirja	Päiväys	Suunn.	Piirt.
	23.03.2011		Tork.
Pöytäkirja	Lisätieto		
<p><b>STORAENSO</b> Stora Enso Wood Products Oy Ltd HONKALAHDEN SAHA PL12 54101 Joutseno puh. 02046113</p>			



Kopioiden tiedossa esitetty sähkösuojalaitte.  
 (Sulussa) olevat releasetelit ovat mittamuuntajien ensispuolen ervoja.  
**Suojajärjestelmävalmistaja/Projektointi**

<p>STORAENSO          Stora Enso Wood Products Oy Ltd          HONKALAHDEN SAHA          PL12 54101 Joutseno puh. 02046113</p>	<p>Panu 7          Päiväys 23.03.2011          Lisätieto</p>	<p>Sijaintikoodi Laitepositio Piirustalojoki          Suunn. Piirt. Tork.</p>	<p>KML-Engineering Oy          Tuusulanpolku 4A 20000 PORI          Tel. +358 2828 3752 Fax +358 2828 3778          www.kml-engineering.com</p>	<p><b>kml</b>          engineering</p>	<p>Pääkaivo 110/6,3/0,4 kV          Oikosulkuvirrat ja suojareleet</p>	<p>Muutos          Lehti/Lehtiä 3/3          Piirustusnumero/tiedostonimi Lehti/Koko 03 3</p>
--	--	---	---	--	--	---



## LAAJAN MAADOITUSVERKON MITTAUSPÖYTÄKIRJA

LIITE 5

11.4.2011

mistä	mihin	tyyppi	mitattu kokonais-resistanssi/ $\Omega$	mitattu paluujohtimen resistanssi/ $\Omega$	maadoitus-johtimen resistanssi/ $\Omega$	laskennallinen resistanssi/ $\Omega$	arvioitu johtopituus/m
Päämaadoituskisko	- Sampo	Cu 50	2,96	2,95	0,01	0,07	197
Sampo	- Rimoitus	Cu 50	1,99	1,95	0,04	0,04	120
Rimoitus	- Dimensiolajittelu	MK 50	2,03	1,95	0,08	0,05	154
Dimensiolajittelu	- Saha 1	Cu 50	1,98	1,95	0,03	0,03	92
Päämaadoituskisko	- Saha 1				0,16	0,19	563
Päämaadoituskisko	- Saha 2	Cu 120	1,48	1,47	0,01	0,02	111
Päämaadoituskisko	- Jalostus 3	MK 50	1,56	1,47	0,09	0,06	175
Päämaadoituskisko	- Tukinsyöttö	Cu 50	1,49	1,47	0,02	0,02	68
Tukinsyöttö	- Kuorimo	Cu 50	1,63	1,48	0,15	0,11	328
Päämaadoituskisko	- Kuorimo				0,17	0,14	396
Päämaadoituskisko	- kytkinlaitos alakerta	Cu 25	1,55	1,54	0,01	0,02	25
Päämaadoituskisko	- kytkinlaitos yläkerta	Cu 50	0,794	0,792	0,002	0,01	25

Kaikki mitatut resistanssit ovat hyväksyttäviä. Aistinvaraisessa tarkastuksessa johtimien ja liitosten kunnossa ei ilmennyt huomautettavaa.

Mittalaite:  
Beha Machinemaster 9050E

Mittaustapa:  
Rpe-mittaus  
nimellinen testivirta 10A

Mittaaja:  
Jukka Häkkinen

Mittauspäivämäärä:  
02-03.04.2011