



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SAHA-ALUEEN JAKELUVER- KON SUOJAUSTEN TAR- KASTELU

TEKIJÄ: Jani Moilanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Jani Moilanen			
Työn nimi Saha-alueen jakeluverkon suojausten tarkastelu			
Päiväys	24.5.2017	Sivumäärä/Liitteet	32/61
Ohjaaja(t) yliopettaja Juhani Rouvali, lehtori Timo Savallampi			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuhmo Oy, kunnossapitopäällikkö Heikki Soinen			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua Kuhmo Oy:n saha-alueen sähkönjakeluverkkoon sen rakenteeseen, komponentteihin ja verkossa mahdollisesti tapahtuviin vika- ja häiriötilanteisiin. Tavoitteena oli myös selvittää jakeluverkon suojalaitteiden toimivuus erilaisissa jakelutilanteissa ja mallintaa jakeluverkko ABB:n tarjoaman DOC-ohjelmiston avulla. Suojalaitteiden toimivuutta tarkasteltiin työssä saha-alueen Loisteen jakeluverkon syöttöpisteestä ryhmäkeskus tasolle.</p> <p>Jakeluverkon mallintaminen mallinnettiin kahdessa eri tilanteessa: jakeluverkon ollessa kytkettyneenä Loisteen verkkoon ja jakeluverkon syötön tapahtuessa generaattorilla saarekekäytössä. Työtä varten kerättiin tiedot jakeluverkon kaapeleista, suojalaitteista ja komponenteista, sekä päivitetty tiedot liittymän oikosulkuvirroista. Kerättyjen tietojen pohjalta tehtiin ABB DOC -ohjelmistolla mallinnos, jonka avulla selvitettiin, oliko suojalaitteiden valinnat tehty alun perin oikein.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin selvitettyä jakeluverkon suojalaitteiden toimivuus molemmissa jakelutilanteissa. Lisäksi tuloksena saatiin listaukset Kuhmo Oy:n jakeluverkon kaapeleista, suojalaitteista, muuntajista ja generaattorista, sekä toimiva jakeluverkon mallinnus, jota työnantajalla on mahdollista hyödyntää tulevaisuudessa esimerkiksi tehojakolaskennassa. Työn pohjalta tehtiin suojalaitteiden toimivuudesta raportti, joka luovutettiin työnantajalle.</p>			
Avainsanat Kuhmo Oy, ABB DOC, jakeluverkko, suojalaite			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Jani Moilanen			
Title of Thesis Inspection of the Electric Distribution System of the Sawmill area			
Date	24 May 2017	Pages/Appendices	32/61
Supervisor(s) Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer, Mr. Timo Savallampi, Lecturer			
Client Organisation /Partners Kuhmo Oy, Mr. Heikki Soininen, Maintenance Manager,			
<p>Abstract</p> <p>The subject of this thesis was to get acquainted with the electrical distribution network of the Kuhmo Oy's sawmill area and to its structure, components and to its possible fault and disruption situations. The goal was also to find out functionality of the protective devices in the distribution network in different kinds of distribution situations by modeling the distribution network by using ABB's DOC program. The functionality of protective devices was inspected from the feed point of the Loiste distribution grid to the distribution board level.</p> <p>The modeling of the distribution network was done in two phases, first when the sawmill's distribution grid was connected to the Loiste's distribution network and when the saw mill's distribution grid was fed by generator in island operation. Information on the cables, components and protective devices was gathered as well as updated information on the short circuit currents of the feeding points was collected for in an order to do the work. A model of the distribution network was made based on the gathered information, which was used to find out if the choice of the protective device had initially been made right.</p> <p>As a result of the thesis, the functionality of the protective devices was clarified in both distribution situations. An additional result was listings of cables, protective devices, transformers and the generator which are included in Kuhmo Oy's grid. Also, a working model of the electrical distribution network of the sawmill was made, and it can be used later for example in load flow calculations. The report on the functionality of the protective devices was made on based on the calculations which was given to the commissioner.</p>			
Keywords Kuhmo Oy, ABB DOC, electrical distribution network, protective device			

ESIPUHE

Opinnäytetyöni aiheena oli saha-alueen jakeluverkon suojausten tarkastelu, jonka tein Kuhmo Oy:lle. Työn ohjaajana toimi yliopettaja Juhani Rouvali. Hänelle kuuluvat kiitokset hyvästä ohjauksesta ja neuvoista työn suorituksen aikana. Työnaiheen sain Kuhmo Oy:n kunnossapitopäälliköltä Heikki Soiniselta, häntä haluan kiittää mielenkiintoisesta työnaiheesta ja vaivannäöstä työn mahdollistamiseksi.

Haluan kiittää myös perhettäni ja avopuolisoani tuesta työn aikana. Lisäksi isot kiitokset koko Kuhmo Oy:n henkilökunnalle kuluneista vuosista, erityisesti sähköpuolen välle.

Kuopiossa 24.05.2017

Jani Moilanen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	KUHMO OY	8
3	KUHMO OY: N SÄHKÖNJAKELUVERKKO.....	9
3.1	Kuhmo Oy: n verkon rakenne	9
3.2	Keskijänniteverkko	10
3.2.1	Muuntajat.....	10
3.2.2	Saarekekäyttö.....	12
3.2.3	Generaattori	12
3.2.4	Johdot.....	13
3.2.5	Katkaisijat.....	14
3.2.6	Suojareleet	15
3.3	Pienjänniteverkko	16
3.3.1	Keskukset ja kompensointilaitteistot	17
3.4	Pienjänniteverkon suojalaitteet	19
3.4.1	Sulakkeet	19
3.4.2	Kompaktikatkaisijat	21
4	SÄHKÖNJAKELUVERKON OIKOSULKUSUOJAUS	23
4.1	Oikosulkuvirran laskenta.....	23
4.2	Suojauksen perusteet.....	26
4.3	Jakeluverkon vikatilanteet	27
4.4	Oikosulkusuojaus	27
5	KUHMO OY: N JAKELUVERKON MALLINTAMINEN.....	28
5.1	ABB DOC.....	28
5.1.1	Standardit.....	28
5.1.2	Verkon mallinnus	28
6	TULOSTEN TARKASTELU.....	30
7	YHTEENVETO.....	31
	LIITE 1: JAKELUVERKON SOLMUPISTEET	33
	LIITE 2: GENERAATTORI JA MUUNTAJAT	38
	LIITE 3: ABB DOC LYHYT KÄYTTÖOHJE	39

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena oli Saha-alueen jakeluverkon suojausten tarkastelu. Työn tilaajana oli Kuhmo Oy.

Työn päämääränä oli tutustua saha-alueen sähköjakeluverkon rakenteeseen, komponentteihin, vika- ja häiriötilanteisiin ja selvittää saha-alueen sähköjakeluverkon nykytila oikosulkusuojausten osalta. Jakeluverkko sisältää sekä pien- että keskijänniteverkon osia ja oman generaattorin, jolla jakeluverkkoa pidetään yllä saarekekäytössä. Työn aihe on saatu Heikki Soiniselta, sahan kunnossapitopäälliköltä.

Tavoitteena oli mallintaa nykyinen jakeluverkko ABB:n DOC-ohjelmiston avulla ja suorittaa verkostolaskelmat ja tehdä sen pohjalta raportti, joista selviää sahan sähköjakeluverkon nykytilanne ja ratkaisuehdotukset mahdollisille puutteille. Työn lopputulokset sovittiin työn alkaessa luottamukselliseksi. Verkon kaikille osille ei ole aikemmin tehty vastaavia laskelmia ja siksi oli tärkeää selvittää, oliko suojalaitteiden valinnat tehty alun perin oikein.

2 KUHMO OY



KUVA 1. Näkymä Kuhmo Oy:n kentältä pienpuulinjalle päin (Moilanen 2017.)

Kuhmo Oy, kuvassa 1 on vuonna 1955 vuonna perustettu yritys, joka harjoittaa sahaustoimintaa Kuhmossa. Sahaustoimintaa Kuhmo Oy on harjoittanut vuodesta 1955 ja toimintapiste sijaitsee Lammajärven rannalla, Kuhmon keskustan tuntumassa. Kuhmo Oy:n perustajat ovat olleet kaikki paikallisia ja yritys on säilynyt aikojen saatossa paikallisten omistuksessa huolimatta omistajamuutoksista. Kuhmo Oy on harjoittanut sahaustoimintaa historiansa aikana kolmella eri paikkakunnalla Kuhmossa, Valtimolla ja Hyrynsalmella; nykyisin toimintaa on enää vain Kuhmon toimipisteellä. (Kuhmo Oy, 2017)

Sahalaitoksen tuotantokapasiteetti on noin 400 000 m³ sahatavaraa vuodessa. Investointeja Kuhmossa on tehty yli 100 miljoonan euron edestä. Investointeja ovat olleet mm. kaksi erillistä sahalinjaa, sahatavaran käsittelylaitokset, kuivaus, lämmön- ja sähköntuotanto ja kiinteän biopolttoaineen valmistus. (Kuhmo Oy, 2017)

Paikallisesti Kuhmo Oy on hyvin merkittävä yritys työllistäen vakituisesti noin 140 henkilöä. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2016 noin 84 miljoonaa euroa, tehden sen liikevaihdolla mitattuna yhdeksi Suomen suurimmista yksityisessä omistuksessa olevista alansa toimijoista. (CM Partner AB, 2017)

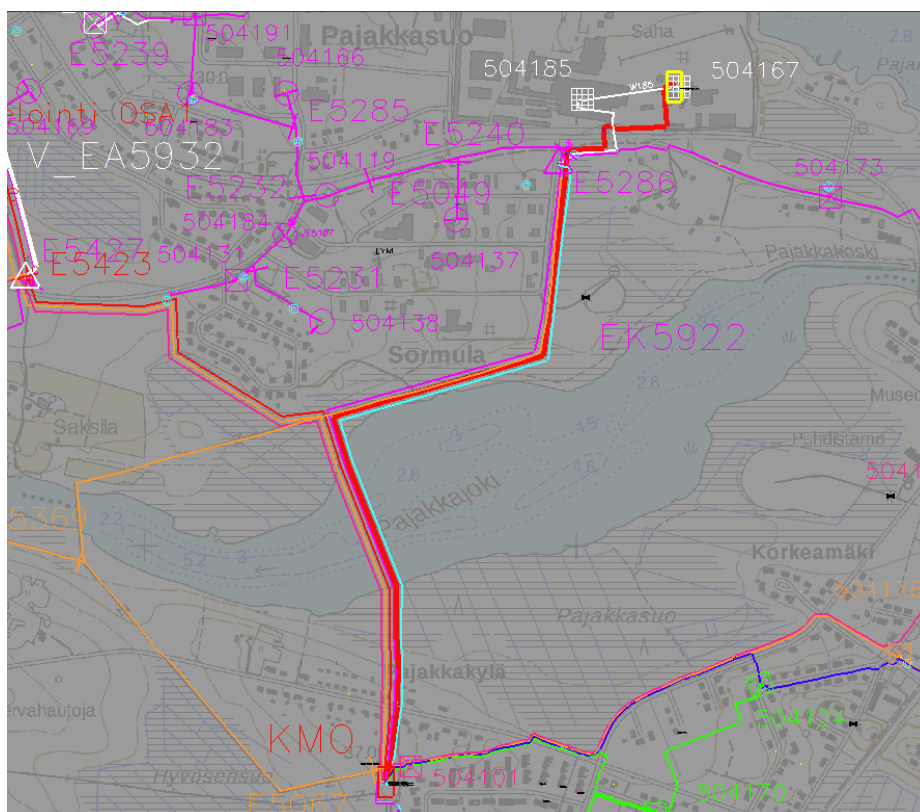
Kainuu toimii pääasiallisena raaka-aineen hankinta alueena sahalle ja pää raakaaineena toimii mänty. Männen osuus tuotannosta on noin 80 %. Sahaukseen tulevat tukit lajitellaan lopputuotteiden mukaan ja sahaus tapahtuu pyörösahaustekniikalla. Kuhmo Oy:llä on kaksi sahalinjaa, joista päälinjalla sahataan suuremmat ja laadultaan paremmat tukit. Päälinjan sahaamista tukeista valmistetaan tuotteita huonekalu- ja puusepänteollisuuteen, mutta suurikokoisimmat tuotteet menevät rakennusteollisuuteen. Pienpuulinja valmistaa pääasiassa pakkaus- ja rakennusalan tuotteita. (Kuhmo Oy, 2017)

3 KUHMO OY: N SÄHKÖNJAKELUVERKKO

3.1 Kuhmo Oy: n verkon rakenne

Saha-alueen keskijänniteverkon syöttö saadaan Kuhmon Lämpö Oy:n muuntamon kautta, jonka 20 kV:n syöttö tulee Loiste Sähköverkko Oy:n Kuhmon sähköasemalta (Kuva 2). Kuhmo Oy:n kaikki tuotantoon liittyvät rakennukset sijaitsevat samalla alueella Hyyrintien varressa. Tuotantolaitosten syöttö tapahtuu Loiste Sähköverkko Oy:n 20 kV:n keskijänniteverkon kautta. Liityntäpiste Loisteen sähköverkkoon sijaitsee Kuhmon Lämpö Oy:n tiloissa sijaitsevassa muuntamossa, josta keskijänniteverkko ohjataan myös Kuhmo Oy:n muuntamoille.

Kuhmo Oy:n jakeluverkossa on tällä hetkellä neljä muuntamoa, joissa on yhteensä seitsemän 20kV/0,4kV muuntajaa. Muuntajien avulla muunnetaan keskijänniteverkon suurempi jännite pienjänniteverkolle sopivaksi. Saarekekäytössä Kuhmo Oy:n jakeluverkko saa syöttönsä Kuhmon lämpölaitoksen tiloissa sijaitsevan 6 kV:n 6125 kVA:n generaattorin avulla. Generaattorin jännite muunnetaan lämpölaitoksen tiloissa sijaitsevan 6/20kV BAT10 -muuntajan avulla, keskijännitejakeluun sopivaksi.



KUVA 2. Syöttö Kuhmon sähköasemalta. (Loiste 2017.)

Kuhmo Oy:n jakeluverkko on muodoltaan säteittäinen, jonka toimintavarmuutta ja luotettavuutta on pyritty lisäämään generaattorin avulla toteutetulla varavoimajärjestelmällä. Verkon mitoittaminen ja suojaus on ollut helposti toteutettavissa säteittäisen rakenteen ansiosta; myös verkon käyttäminen on yksinkertaista samasta syystä. Säteittäisyys takaa myös verkon selkeän rakenteen verrattuna rengasverkkoon.

3.2 Keskijänniteverkko

Kuhmo Oy:n keskijänniteverkko koostuu neljästä muuntamosta, joihin on liitetty seitsemän muuntajaa. Niiden nimellistehot vaihtelevat 1000-2500 kVA:n välillä. Keskijännitekojeistot ovat rakenteeltaan ilmaeristeisiä kennokojeistoja. Uusimmat kojeistot ovat ABB:n Unisec-sarjaa, vanhempien ollessa Strömbergin valmistamia.

Keskijänniteverkon suojaus on toteutettu pääasiassa SF₆-katkaisijoiden ja ABB:n SPAJsarjan ylivirtareleiden avulla. Osassa Kuhmo Oy:n muuntajasyöttöjen suojauksessa on käytetty keskijännitesulakkeita ja kuormanerotin yhdistelmiä.

Verkon kaapelointi on toteutettu pääasiassa maakaapeloimalla, mutta esimerkiksi Briketöinnin AAA -kojeiston ja Tasaamon muuntamon välinen AHXAMK-kaapeli on asennettu lähes koko matkaltaan kaapeliarinalle. Keskusten kennojen välillä yhteydet on rakennettu yleisesti ottaen kiskosiltojen avulla.

Saha-alueen sähkönjakelu on varmennettu lämpölaitoksen tiloissa sijaitsevalla generaattorilla, jota käytetään sähkökatkon tapahtuessa saarekkeena. Normaalisissa tilanteissa generaattori on tahdistettuna verkkoon tarjoten saha-alueelle osan sen tarvitsemasta energiasta. Häiriötilanteissa varavoi-majärjestelmä havahtuu automaattisesti ja kytkee saha-alueen sähköverkon saarekkeeseen pitäen sähkösaannin yllä turvallisuuden ja tuotannon kannalta tärkeimmille kulutusasteille.

3.2.1 Muuntajat

Muuntaja on sähkökone, jolla muutetaan jännitteen suuruutta. Muuntajat ovat käyttökustannuksiltaan varsin edullisia, koska ne eivät tarvitse aktiivista huoltamista. Tämä on mahdollista, koska muuntajan perusrakenteessa ei ole liikkuvia osia pois lukien muuntajien käämi- ja väliottokytkimet. Sähkönsiirtotekniikassa muuntajan tärkeimpiä tehtäviä ovat jännitteen asettaminen jakelun ja voimansiirron kannalta edulliseen arvoon sähköverkon eri osissa sekä jänniteportaiden galvaaninen erottaminen toisistaan. (Korpinen)

Sähkönsiirrossa on yleisesti käytössä kolmivaihejärjestelmä, jossa sähköenergia siirretään kuluttajalle käyttäen kolmivaihemuuntajia. Kolmivaihejärjestelmässä jännitteet ovat 120 asteen vaiheensiirtokulmassa toisiinsa nähden. Kolmivaihemuuntajien käämit voivat olla kytkettynä joko kolmio-, tähti- tai hakatähtikytkentään, joista hakatähtikytkentää käytetään vain toisiokäämityksessä. Näistä kytkennöistä on muodostettu standardisoidut muuntajakytkennät. (Korpinen)

Sähköverkossa tapahtuvien jännitteenvaihteluiden rajoittamiseksi muuntajan jännitettä on kyettävä säätämään. Jännitteen säätäminen on mahdollista muuntajan muuntosuhdetta muuttamalla. Ensio-käämin virta on pienempi kuin toisiokäämissä, siksi yleensä muuntajan ensio-käämin johdinkierros-lua muutetaan jännitteen säätämiseksi. Tämä on mahdollista väliottokytkimen tai käämikytkimen

avulla. Käämikytkimellä muuntajan muuntosuhdetta voidaan muuttaa muuntajan ollessa jännitteiden. Käämikytkin soveltuu tästä johtuen hyvin jatkuvaan jännitteen säätämiseen, jolloin jännitteen mittaukseen yhdistettynä se voi ylläpitää sähköverkon jännitteen jatkuvasti halutussa arvossa. (Korpinen)



KUVA 3. Kuhmo Oy:n muuntaja T1 (Moilanen 2017.)

Kuhmo Oy:n muuntajat ovat kaikki rakenteeltaan käämikytkimellä varustettuja Strömbergin tai ABB:n valmistamia kolmivaiheisia öljymuuntajia, joissa käämien kytkentä on Dyn11 (Kuva 3). Poikkeuksena lämpölaitoksen päämuuntaja BAT10, jonka kytkentä on YNd11. Muuntajat on sijoitettu saha-alueella lähelle lopullista jakelupistettä, yleisesti muuntamoiden läheisyyteen erillisiin muuntajahuoneisiin.

Jakeluverkon eri pisteiden oikosulkuvirran määrittämisen kannalta muuntaja on erityisen tärkeässä roolissa, sillä muuntajan oikosulkuimpedanssin ja johtimen impedanssin avulla on mahdollista laskea oikosulkuvirrat verkon eri pisteissä. Muuntajan oikosulkuimpedanssi on mahdollista selvittää muuntajan tyyppikilven arvojen avulla.

3.2.2 Saarekekäyttö

Saarekekäytössä osa verkosta irrottautuu yleisestä sähköverkosta ja sitä syöttää jokin laite, esimerkiksi generaattori, joka on erillään ulkopuolisesta verkosta. Saarekekäytössä on tärkeää, että tuotettu ja kulutettu teho ovat yhtä suuret, koska ylijäämää ei pystytä syöttämään yleiseen sähköverkkoon. (Holopainen, 2014)

Kuhmo Oy:n sähkönjakeluverkko on normaalisti liitettynä Loisteen 20 kV:n jakeluverkkoon. Sähkökatkon tapahtuessa verkkoa voidaan käyttää lämpölaitoksen höyryturbiiniin kytkeytyneen generaattorin avulla. Tällöin verkon liityntäpisteen oikosulkuvirran luonne muuttuu, koska Loisteen jakeluverkon tarjoama oikosulkuvirta korvautuu generaattorin tuottamalla oikosulkuvirralla. Tällöin verkon suojalaitteet voivat toimia vikatilanteessa muulla kuin yleisen verkon pohjalta suunnitellulla tavalla.

3.2.3 Generaattori

Lämpölaitoksen tuottama sähköenergia tuotetaan generaattorin avulla, joka muuntaa siihen kytkeytyneenä olevan höyryturbiinin kehittämän mekaanisen energian sähköenergiaksi. (Huuhtinen;Korhonen;Pimiä;& Urpalainen, 2013)

Voimalaitoksissa käytettävät generaattorit voidaan jakaa hitaasti- ja nopeasti pyöriviin tahtigeneraattoreihin. Hitaasti pyöriviä generaattoreita käytetään yleensä vesivoimalan vesiturbiineissa, kun taas nopeasti pyöriviä generaattoreita lämpölaitosten höyryturbiineissa. Suomessa sähköverkon taajuus on 50 Hz, jolloin generaattori pyörii tyypillisesti 3000 kierrosta minuutissa. Tällaisen generaattorin napapariluku on yksi ja roottorin kierroksella syntyy yksi jakso vaihtojännitettä.

(Huuhtinen;Korhonen;Pimiä;& Urpalainen, 2013)



KUVA 4. Kuhmon Lämpö Oy:n Generaattori (Moilanen 2017.)

Kuhmon lämpölaitoksen generaattorin pyörintänopeus on 1500 kierrosta minuutissa (Kuva 4). Tämä tarkoittaa sitä, että generaattori on käämitty normaalisti poiketen napapariluvulle 2, mikä on mahdollista selvittää seuraavan kaavan avulla.

$$f = n * p = \frac{1500 \text{ r/min}}{60s} * 2 = 50 \text{ Hz} \quad (1)$$

Pienemmän kierrosluvun avulla generaattorin keskipakovoimia saadaan pienennettyä, mikä helpottaa generaattorin pyörittämistä. (Huuhtinen;Korhonen;Pimiä;& Urpalainen, 2013)

Generaattorin kolmivaiheisen oikosulun vikavirta kiskostossa generaattorin jälkeen on mahdollista selvittää standardin IEC 60909-0 antamalla kaavalla

$$I''k = \frac{cUn}{\sqrt{3} * Xg} \quad (2)$$

missä U_n on nimellisjännite ja X_g generaattorin oikosulkuimpedanssi. Muuntajan reaktanssia ei tässä tilanteessa oteta huomioon, koska oikosulku tapahtuu generaattorin ja muuntajan välisessä kiskostossa. (Rantaniemi, 2013)

Generaattorin oikosulkuimpedanssin ratkaisemiseksi tarvittaisiin valmistajan ilmoittama suhteellisen oikosulkuimpedanssin. Sitä ei mainita Kuhmon lämpölaitoksen generaattorin tyyppikilvessä, mistä syystä oikosulkuvirran arvo joudutaan arvioimaan:

“Varavoimageneraattorin syöttämä jatkuva oikosulkuvirta on maksimissaan noin 3 - 3,5 kertaa nimellisvirta. Oikosulkuvirran syöttökyky riippuu generaattorissa käytetystä magnetoinnista.” (Källi, 2012)

3.2.4 Johdot

Keskijänniteverkossa johtoja suojataan maasulkujen ja oikosulkujen varalta. Ylikuormituksen varalta johtoja ei yleensä suojata. Pitkät johdot ovat usein lämpenemisen suhteen ylimitoitettuja ja generaattoreiden, muuntajien ylikuormitussuojat estävät tavallisesti myös johtojen ylikuorman. (Elovaara & Laiho, Sähkölaitostekniikan perusteet, 2007)

Oikosulkusuojina käytetään yleensä erilaisia ylivirtareleitä sekä distanssi- ja differentiaalireleitä. Maasulkuvirran ollessa riittävä voidaan maasulkusuojana käyttää järjestelmän oikosulkusuojia. Yleensä erillinen maasulkusuoja on tarpeen myös suoraan maadoitetussa järjestelmässä. Maadoitetuissa järjestelmissä vikapaikan resistanssi voi olla niin suuri, että oikosulkusuoja ei siihen havahdu, erityisesti jos maasulku syntyy maan ja johtimen tai maadoittamattoman metalliosan ja johtimen välille. (Elovaara & Laiho, Sähkölaitostekniikan perusteet, 2007)

3.2.5 Katkaisijat

Katkaisijoita käytetään virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen. Ne voidaan asettaa toimimaan käsioh-
jauksesta ja automaattisesti. Automaattinen katkaisutoiminto tapahtuu yleensä oiko- tai maasulun
aiheuttamasta ylivirrasta. Avautumiskäskyn antaa tällöin katkaisijan virtapiiriin kytketty suojarеле,
tavallisimmin ylivirtarele. Katkaisijan automaattiset jälleen kytkennät tapahtuvat myös erityisen jäl-
leenkytkentäreleistyksen avulla. Katkaisija kykenee avaamaan ja sulkemaan oikosulkuvirtapiiriin, il-
man että se vaurioituu. Oikosulkuvirtapiirille on ominaista moninkertainen virta katkaisijan nimellis-
virtaan verrattuna. Tätä samaa ominaisuutta ei ole kytkimellä, joka pystyy katkaisemaan vain nimel-
lisvirtansa. (Elovaara & Laiho, Sähkölaitostekniikan perusteet, 2007)

Virtapiirin katkaisussa virta ei katkea heti katkaisijan koskettimien avauduttua, vaan virtapiiri pysyy
suljettuna valokaaren välityksellä. Virran katkaisussa suuren virran aikana valokaarella on hyvä joh-
tavuus, mikä sallii koskettimien avautumisen sellaisen etäisyyden päähän toisistaan, että avausväli
kestää virtapiirin nimellisjännitteen valokaaren sammuttua. Virran nollakohdassa valokaaren resis-
tanssi kasvaa hyvin nopeasti, jos valokaarta jäähdytetään samalla. Valokaari toimii katkaisijassa kyt-
kimen tavoin, muutos eristeestä tapahtuu vaihtovirralla virran nollakohdassa. (Elovaara & Laiho,
Sähkölaitostekniikan perusteet, 2007)

Katkaisun onnistumiseksi ja vaurioiden välttämiseksi katkaisutyö on pidettävä mahdollisimman pie-
nenä. Katkaisun helpottamiseksi hyödynnetään siis virran luonnollisia nollakohtia, valokaari jaetaan
useampaan osaan ja pidennetään, samalla valokaarta jäähdyttäen. Lisäksi valokaarta ympäröivä
aine valitaan siten, että se auttaa valokaaren sammumista. Näiden yhteisvaikutuksesta valokaari
muuttuu virran nollakohdassa nopeasti eristeeksi. (Elovaara & Laiho, Sähkölaitostekniikan perusteet,
2007)

Katkaisijat jaetaan katkaisukammion väliaineen mukaan seuraaviin ryhmiin, öljy-, vähäöljy-, pai-
neilma-, tyhjiö- ja SF₆-kaasukatkaisijat. SF₆-katkaisijat ovat syrjäyttäneet lähes kaikki muut katkaisi-
jat suurjännitealueella. Keskijännitealueella SF₆-, tyhjiö- ja vähäöljykatkaisijat kilpailevat vielä ko-
vasti. (Elovaara & Laiho, Sähkölaitostekniikan perusteet, 2007)

SF₆- katkaisijan etuja ovat mm. palamattomuus, valokaaren jäähdytyskyky, vähäinen huollon tarve,
pienet katkaisu ylijännitteet ja yhdellä katkaisuyksiköllä saavutettava suurempi palaavan jännitteen
kestokyky. Jälkimmäisimmistä johtuu myös suurempi katkaisukyky kuin kilpailevilla periaatteilla.
(Elovaara & Laiho, Sähkölaitostekniikan perusteet, 2007)

Keskijännitteellä SF₆-katkaisijan kuoret voidaan valmistaa valuhartsista ja jännitteelliset osat suojata,
mikä mahdollistaa pienet vaihevälit ja verrattain pienet kojeistot. SF₆-katkaisijassa käytetään moot-
tori- tai käsiviritteisiäjousiohjaimia. SF₆-katkaisijat soveltuvat lähes kaikkiin katkaisutilanteisiin, tosin
esim. muuntajan syöttävän vikavirran katkaisussa täytyy palaavan virran jyrkkyyteen kiinnittää hu-
miota. (Elovaara & Laiho, Sähkölaitostekniikan perusteet, 2007)



KUVA 5. Kuhmon Lämpö Oy:n Generaattorin katkaisija (Moilanen 2017.)

Kuhmo Oy:n keskijänniteverkon katkaisijat ovat kaikki SF₆-kaasukatkaisijoita, joissa on moottorilla tai käsin ohjattavat jousivirittimet (Kuva 5). Katkaisijat ovat ABB:n tai Strömbergin valmistamia. Katkaisijat ovat releistetty kolmivaiheisilla ylivirtareleillä, joissa on myös pikalaukaisut. Generaattorin katkaisijan ohjauksessa on käytetty myös nollavirtareleitä.

3.2.6 Suojareleet

Keskijänniteverkon suojareleet ovat osa sähköjakeluautomaatiota. Sähköjakeluautomaatiolla tarkoitetaan keskijänniteverkon sähköjakelun valvontaa, ohjausta, optimointia ja suojausta. Sähköjakeluautomaation avulla lisätään sähköjakeluprosessin turvallisuutta, luotettavuutta ja suorituskykyä. (ABB, Mitä on sähköjakeluautomaatio, 2005)

Suojarele on laite, jota käytetään jakeluverkoissa sähköjakeluverkon suojaamiseksi ja käyttöturvallisuuden lisäämiseksi. Suojareleen tehtäviä ovat henkilövahingoilta suojaaminen ja laitteiden ja järjestelmien suojaaminen vaurioitumiselta häiriötilanteissa. Häiriötilanteessa katkaisija kytkee suojareleen avustamana viallisen verkon osan pois jakeluverkosta. (ABB, Mitä on sähköjakeluautomaatio, 2005)



KUVA 6. Strömbergin valmistama SPAJ-sarjan suojarele (Moilanen 2017.)

ABB:n SPJA-sarjan ylivirtareleet ovat tarkoitettu käytettäväksi aika- ja virtaselektiivisyyteen perustuvissa oikosulku- ja ylikuormitussuojissa sekä keskijänniteverkon että generaattorien ja muuntajien suojana (Kuva 6). Suojarele muodostaa kokonaisuuden, joka sisältää kaksipuolaisen ylivirtasuojan sekä joustavat hälytys- ja laukaisuotoiminnot. (ABB, SPAJ 131 C Ylivirtarele, 2002)

SPAJ-ylivirtarele on toisiorele, joka liitetään suojattavan kohteen virtamuuntajiin. Suojattavan kohteen vaihevirtamittaukset tulevat jatkuvasti ylivirtareleelle. Häiriötilanteessa suojarele ohjaa katkaisijan auki ja hälyttää, tai käynnistää ulkoiset jälleenkytkentätoiminnot. (ABB, SPAJ 131 C Ylivirtarele, 2002)

3.3 Pienjänniteverkko

Saha-alueella pienjänniteverkkoa syöttävillä muuntamoilla muunnetaan suurempi 20 kV:n jännite 400 V:n tasolle. Muuntamoita on sahan alueella yhteensä seitsemän kappaletta ja niiden nimellistehot vaihtelevat 1000 – 2500 kVA:n välillä. Pienjänniteverkko koostuu muuntajien lisäksi pää-, ohjaus- ja ryhmäkeskuksista. Pienjänniteverkon suojaus on toteutettu sahan jakeluverkossa pääosin sulakkeilla, mutta myös pienjännitekatkaisijoiden avulla.

Pienjänniteverkon jakelujärjestelmänä toimii TN-C-S -järjestelmä. Vanhemmat kesukset saavat syöttönsä perinteisellä nelijohdinjärjestelmällä toteutetulla kaapeloinnilla. Uudemmissa laitteistoissa syöttö on pyritty toteuttamaan viisijohdinjärjestelmällä muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta.

Pienjänniteverkko on myös rakenteeltaan säteittäinen, eikä verkkoa ole myöskään varmennettu esim. pääkeskusten välisillä kiskokatkaisijoilla muuntajarikkojen varalta. Tällainen rakenne helpottaa vikavirtasuojauksen suunnittelua ja osaltaan myös verkonmallintamista, koska jakelun kannalta verkon rakenne pysyy aina samana, eikä erikoistilanteita tarvitse huomioida.

3.3.1 Keskukset ja kompensointilaitteistot

Saha-alueen sähkönjakeluverkko koostuu lähinnä seuraavista keskustasoista: pää-, ohjaus-, ryhmä- ja jakokeskuksista. Lisäksi sähkön jakeluverkkoon on liitettyä kompensointikojeistoja.

Pääkeskukset saavat syöttönsä suoraan muuntajalta kiskosillan avulla (Kuva 7). Pääkeskukset ovat rakenteeltaan kennokeskuksia ja niiden tehtävänä on jakaa sähkö saha-alueen jakeluverkon ohjaus-, ryhmä- ja jakokeskuksille.

Pääkytkiminä pääkeskuksissa on käytetty kompaktikatkaisijoita ja niiden tehtävänä on suojata syöttömuuntajaa keskuksen kiskostossa tapahtuvien yli- ja vikavirtojen varalta. Pääkeskukselta lähtevien syöttöjen ylivirta ja oikosulkusuojaukseen on käytetty pääasiassa kahvasulakkeita ja kompaktikatkaisijoita.



KUVA 7. Kuhmo Oy:n pääkeskus 5H (Moilanen 2017.)

Ohjauskeskukset ovat tuotannon prosessien ohjauksessa käytettäviä keskuksia. Ohjauskeskuksiin on tyypillisesti liitettyä moottorilähtöjen komponentteja, automatiikkaa ja taajuusmuuttajia. Ohjauskeskusten tärkein tehtävä on jännitteenjakelu prosessin vaatimiin tarpeisiin.



KUVA 8. Ryhmäkeskus 505H, josta tulee mm. valaistussyöttöjä (Moilanen 2017.)

Ryhmäkeskusten tehtävänä on jakaa sähköä saha-alueen kiinteistöjen tarpeisiin, mm. valaistukseen, pistorasioille, lämmitykseen ja ilmanvaihtoon. Ryhmäkeskuksessa yksittäisten ryhmien oikosulkusuojana käytetään yleensä johdonsuojakatkaisijoita tai tulppavarokkeita (Kuva 8).



KUVA 9. Jakokeskus lähellä saha-alueen parkkipaikkaa (Moilanen 2017.)

Kaapelinjakokeskuksia Kuhmo Oy:llä on käytetty kiinteistöjen piha-alueiden laitteiden sähköistämiseen, tästä hyvänä esimerkkinä ovat autolämmitystolpat ja pihojen valaistusmastot (Kuva 9). Kaapelin jakokeskuksissa ylivirta- ja oikosulkusuojaus on toteutettu jonovarokkeiden avulla.



KUVA 10. 7H kompensointilaitteisto (Moilanen 2017.)

Kuhmo Oy:n loistehon kompensointi on toteutettu pääkeskusten yhteyteen liitettyjen kompensointilaitteistojen avulla (Kuva 10). Kuhmon Oy:n jakeluverkossa on paljon moottorikuormaa, joka tarvitsee toimiakseen myös loistehoa. Verkon tarvitsema loisteho on päädytty tuottamaan paikan päällä kompensointikondensaattorien avulla. Näin säästytään mm. verkkoyhtiön perimiltä loistehon siirtomaksuilta.

3.4 Pienjänniteverkon suojalaitteet

Pienjännitejakeluverkon oikosulkusuojauksessa käytetään yleensä sulakkeita. Suomessa yleisimmin käytössä olevat sulakkemallit ovat tulppa- tai kahvasulakkeet. Kahvasulakkeiden asentamiseen keskukseen on olemassa monenlaisia ratkaisuja. Kuhmo Oy:n verkossa on yleisesti käytössä kytkinvarokkeet ja jonovarokkeet. Sama suojalaite käy molempiin sulakepohjiin, mutta niiden käytössä on hieman eroavaisuuksia. Saha-alueen jakeluverkossa on käytössä myös kompaktikatkaisijat.

3.4.1 Sulakkeet

Sulakkeen toimintaperiaate perustuu sulakkeen sisällä olevaan metallinauhaan tai -lankaan, joka sulaa vikavirtapiirin virran vaikutuksesta samalla aiheuttaen virtapiirin katkeamisen. Sulakkeiden vahvuuksia ovat vähäinen huollontarve ja luotettavan erotuskohdan tekeminen poistamalla sulake. (Ensto, 2017)

Sulakkeen kuoreen merkityillä kirjaimilla kuvataan sulakkeen käyttöluokkaa ja katkaisualuetta. Ensimmäinen kirjain tarkoittaa sulakkeen katkaisualuetta. Sen kuvaamiseen käytetään kirjaimia g ja a. Merkinnällä g varustetun sulakkeen katkaisukyky käsittää koko virta-alueen ja a sulakkeen katkaisukyky tietyn osa-alueen. (Tiainen, 2010)

Käyttöluokan osoittaa sulakkeen runkoon merkitty toinen kirjain. Tämä kirjain määrittelee sulakkeen virta-aikaominaisuudet. Merkintä Gg tarkoittaa yleiskäyttöön tarkoitettua sulaketta. aM-sulake on tarkoitettu moottoripiirien suojaukseen, jonka katkaisukyky käsittää tietyn osa-alueen. (Tiainen, 2010)

Tulppasulakkeet soveltuvat hyvin sekä oikosulkusuojaukseen että ylikuormitussuojaukseen. 500V tulppasulakkeen katkaisukyky on standardien mukaan 20 kA, mikä rajoittaa hieman tulppasulakkeen katkaisukykyä. (Tiainen, 2010)

Kahvasulakkeet soveltuvat parhaiten oikosulkusuojausiksi niiden hyvien katkaisuominaisuuksien ansiosta. Mikäli valmistaja ei ole ilmoittanut suurempaa katkaisukykyä on kahvasulakkeen katkaisukyky vähintään 50 kA. Kahvasulakkeiden katkaisukyky on useimmiten suuruusluokassa 100 kA. (Tiainen, 2010)



KUVA 11. 1H jonovarokelähtöjä (Moilanen 2017.)

Jonovarokkeen rungot ovat valmistettu muovista ja ne sisältävät kolme kahvasulaketta pystysuorassa jonossa (Kuva 11). Jonovarokkeiden yleisiä asennuspaikkoja ovat jakelumuuntamot, kaapelinjakokaapit ja teollisuuslaitosten jakokeskukset. Jonovarokepohja asennetaan suoraan virtakiskon päälle. Jonovarokkeen alareunassa on sarana ja yläreunan kahvasta vetämällä jonovaroke aukeaa,

jolloin samalla johto erotetaan verkosta. Jonovarokkeen aukaisu mahdollistaa myös kahvasulakkeiden vaihtamisen laitteeseen. Jonovarokkeen etuja ovat sen kompaktius ja jonovarokelähtöjä on mahdollista sijoittaa useita samaan riviin verrattain pienelle alueelle.



KUVA 12. Pumppaamon moottorin kytkinvarokelähtö (Moilanen 2017.)

Kytkinvarokkeita käytetään yleensä etukojeina teollisuuden pienjänniteverkon sähkönjakelussa (Kuva 12). Kytkinvarokkeen tehtävänä on suojata siihen liitettyjä laitteita, esimerkiksi moottoreita ja kaapeleita. Kytkinvaroketta voidaan käyttää myös laitteen pääkytkimenä sen sisäänrakennetun kytkentäominaisuuden vuoksi.

3.4.2 Kompaktikatkaisijat

Kompaktikatkaisijan runko ja kotelo on valettu eristeaineesta, esim. muovista, muodostaen kiinteän osan katkaisijan rakenteesta. Yleensä kompaktikatkaisijan pääkoskettimia käytetään suoraan käyttövivun avulla mekaanisesti. Kytkinlaitteiden ominaisuudet on määritelty standardissa SFS EN 60947-1 ja standardi SFS EN 60947-2 käsittelee katkaisijoita alle 1000 VAC sovelluksissa. (Tiainen, 2010)

Kompaktikatkaisijoille ei ilmoiteta vastaavia laukaisukäyriä kuin johdonsuojakatkaisijoille. Kompaktikatkaisijan laukaisun arvot asetellaan yleensä kompaktikatkaisijassa olevien kytkimien avulla. Termiselle ylikuormitussuojaukselle annetaan standardissa seuraavat raja-arvot. Laukaisuvirta on 30 % suurempi kuin aseteltu arvo ja kestorajavirta on 5 % suurempi kuin aseteltu arvo. (Tiainen, 2010)



KUVA 13. ABB:n valmistama kompaktikatkaisija (Moilanen 2017.)

Kuhmo Oy:n pienjännitejakeluverkossa on muutamia erimerkkisiä kompaktikatkaisijoita, yleisimpänä näistä kuitenkin on ABB:n Sace -sarjan katkaisijat (Kuva 13).

Tmax-kompaktikatkaisijoiden sarja täyttää standardin IEC 60947-2 vaatimukset. Vaihtojänniteverkkojen suojauksessa käytettävät katkaisijat on varustettu termomagneettisilla suojarleillä ja säädettävillä magneettisuojuilla. Sarjan katkaisijat, joissa on termomagneettiset tai elektroniset suojarleet, on myös määritetty yksivaiheinen laukaisuvirta. (ABB, 2017)

Katkaisijat, jotka ovat varustettu elektronisella ylivirtareleellä, eivät reagoi lämpötilaan tai sähkömagneettisiin osiin. Katkaisijan toiminta perustuu sisäänrakennettuihin virtamuuntajiin, jotka asetellaan ohjaamaan laukaisuyksikköä halutulla tavalla. Tällä tavoin toteutettu laukaisu on varmatoimintainen myös yksivaihekuormatilanteessa ja minimiasetuksilla. Katkaisijoissa on sekä oikosulkusuojaus viiveellä että pikalaukaisulla. (ABB, 2017)

4 SÄHKÖNJAKELUVERKON OIKOSULKUSUOJAUS

4.1 Oikosulkuvirran laskenta

Kun tiedetään Kuhmon sähköaseman syöttämä kolmivaiheinen oikosulkuvirta Kuhmon lämmön syöttöpisteessä, voidaan kolmivaiheisen oikosulun minimi- ja maksimiarvot ratkaista standardin IEC60909 mukaan Kuhmo Oy:n sähköjakeluverkossa missä pisteessä tahansa.

Ensin on ratkaistava oikosulkuvirtaa vastaava verkkosyötön oikosulkuimpedanssi.

$$Z''_Q = \frac{c \cdot U_n^2}{S''_{kQ}} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I''_{kQ}}, \quad (3)$$

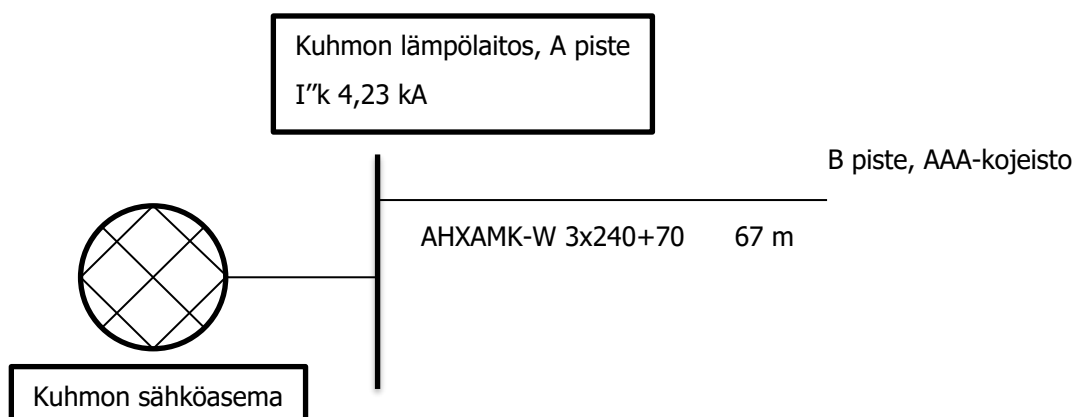
jossa c = standardin mukainen jännitekerroin, keskiarvolla $c_{\max} = 1.1$ ja $c_{\min} = 1.0$

U_n = syöttävän verkon jännite

S''_{kQ} = alkuoikosulkuteho

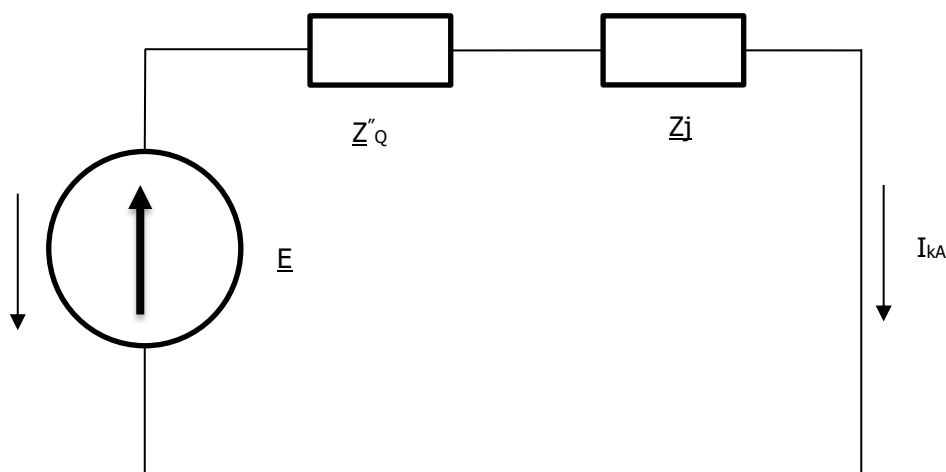
I''_{kQ} = alkuoikosulkuvirta

Kolmivaiheinen oikosulku Kuhmon Lämmön syöttöpisteen kiskostossa on 4,32 kA. Z''_Q :n arvoksi saadaan lähtöarvot kaavaan sijoitettuna 2,94 Ω , kun jännitekerroin on 1,1 (maksimiarvo).



KUVA 14. Esimerkki kaavio. (Moilanen 2017.)

Kuvan 14 kaavion pohjalta saadaan tehtyä seuraavanlainen sijaiskytkentä.



KUVA 15. Sijaiskytkentä (Moilanen 2017.)

Kuvan 15 sijaiskytkennän lähdejännite \underline{E} ratkaistaan kaavalla:

$$E = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}}, \quad (4)$$

sijoittamalla arvot kaavaan saadaan vastaukseksi $\underline{E}_{\min} = 11547 \angle 0^\circ$ V ja $\underline{E}_{\max} = 12702 \angle 0^\circ$ V.

Johdon impedanssia varten tarvitaan johtimen vaiheresistanssi ja -reaktanssi (+40°C). Nämä tiedot löytyvät valmistajan taulukoista ja AHXAMK-W 3x240+70 kaapelilla ne ovat $R_v = 0,140 \Omega/\text{km}$ ja $X_v = 0,116 \Omega/\text{km}$. $\underline{Z}_{AB} = (0,140 + j \cdot 0,116) \Omega/\text{km} \cdot 0,067 \text{ km} = 0,0094 + j \cdot 0,0077 \Omega = 0,0121 \angle 39,3^\circ \Omega$

Lasketaan minimi- ja maksimioikosulkuvirta:

$$I_k = \frac{E}{Z_Q + Z_J} \quad (5)$$

Tuloksiksi saadaan $I_{k\min} = 3,917 \angle -89,8^\circ$ kA ja $I_{k\max} = 4,309 \angle -89,8^\circ$ kA.

Pienjänniteverkon tapauksessa tutkitaan pienintä mahdollista oikosulkuvirtaa, jolloin standardi määrittelee jännitekerroimeksi $c = 0,95$. Pienjänniteverkon puolella standardin mukainen oikosulkuvirta lasketaan seuraavasti.

$$1_{kl} = \frac{0,95 \times 3U_v}{\sqrt{(2 \cdot R_m + R_{m0} + 3L(R_v + R_o))^2 + (2 \cdot X_m + X_{m0} + L(2 \cdot X_v + X_{v0} + 3 \cdot X_o))^2}} \quad (6)$$

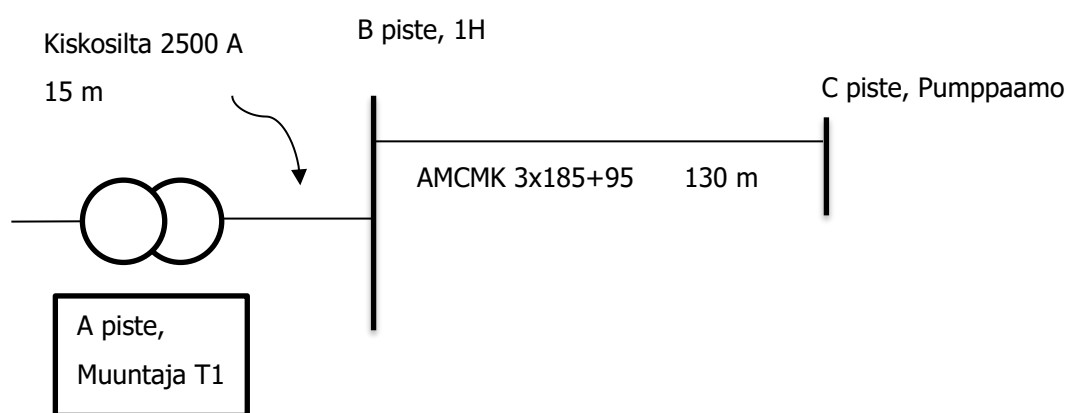
jossa

- U_v = Verkon vaihejännite
- R_m = muuntajan oikosulkuresistanssi
- X_m = muuntajan oikosulkureaktanssi
- R_{m0} = muuntajan nolaresistanssi
- X_{m0} = muuntajan nolareaktanssi
- R_v = vaihejohtimen myötäresistanssi

X_v = vaihejohtimen myötäreaktanssi
 X_{v0} = vaihejohtimen nolloreaktanssi
 R_0 = nollassuhtimen resistanssi
 X_0 = nollassuhtimen reaktanssi
 L = johdonpituus

Johtojen resistanssit + 40°C lämpötilassa.

Lasketaan esimerkkinä kuvan 16 mukainen muuntajan T1 syöttö pääkeskukselle 1H ja sen syöttö numero 1 pumppaamon ohjauskeskukselle.



KUVA 16. Esimerkkikytkentä pienjänniteverkosta (Moilanen 2017.)

Ensin lasketaan muuntajan impedanssi tyypikilvenarvojen avulla $S_n = 1600$ kVA, U_1/U_2 20 kV/0,4 kV. Muuntajan lähtötiedot saadaan esim. verkostosuosituksen muuntajien teknisiä tietoja liitteestä (Taulukko 1).

TAULUKKO 1. Muuntajan häviöt (Anjala, 2008)

Lähtötiedot:		
$S_n = 1600$ kVA	R_m	0,0008
	R_{m0}	0,0011
	X_m	0,006
	X_{m0}	0,0064
	U_v	230 V

Muuntajan pienin mahdollinen yksivaiheinen oikosulkuvirta ennen kiskosiltaa voidaan laskea kaavalla,

$$Ik1 = \frac{c \cdot 3 \cdot U_v}{\sqrt{(2 \cdot R_m + R_{m0})^2 + (2 \cdot X_m + X_{m0})^2}} \quad (7)$$

Sijoittamalla arvot kaavaan saadaan yksivaiheiseksi oikosulkuvirraksi $I_{k1} = 35,2$ kA. Pumppaamon yksivaiheista oikosulkuvirtaa laskettaessa lausekkeeseen täytyy lisätä myös kiskosillan ja AMCMK -kaapelin impedanssit (Taulukko 2).

TAULUKKO 2. Johdinten resistanssit ja reaktanssit (Anjala, 2008)

Resistanssit ja reaktanssit		2500A Kiskosto	AMCMK 3x187+95
	Rv	0,358	181 Ω /km
	Ro	0,358	0,345 Ω /km
	Xv	0,18	0,072 Ω /km
	Xvo	0,18	0,072 Ω /km
	Xo	0,18	-
	s/km	0,015	0,13 km

Sijoittamalla arvot yksivaiheisen oikosulkuvirran kaavaan saadaan pumppaamon ohjauskeskuksen yksivaiheiseksi oikosulkuvirraksi 2641 A. Pumppaamon syöttökaapelin suojana on 315 A:n kahvasu-lake ja se vaatii verkostosuosituksen SA2:08 mukaan 2200 ampeerin oikosulkuvirran toimiakseen 5 sekunnin laukaisuajalla. Suojaus on siis toimiva.

4.2 Suojauksen perusteet

Oikosululla tarkoitetaan pieni-impedanssista vikaa eri potentiaalissa olevien jännitteisten osien vä-lillä. Ylikuormitusvirtaan verrattuna oikosulkuvirta on huomattavasti suurempi. Oikosulkutilanteessa suojalaitteen tulee toimia huomattavasti nopeammin kuin ylikuormitustilanteessa. Samoja suojalait-teita voi käyttää sekä oikosulku- että ylikuormitussuojaukseen, mutta suojalaitteet voivat olla myös erilliset. Oikosulkusuoja täytyy sijoittaa aina suojattavan kaapelin alkupäähän, oikosulkusuojan ni-mellisarvo voi olla myös suurempi kuin johdon kuormitettavuus. (Tiainen, 2010)

Jokainen piiri on varustettava oikosulkusuojalla. Oikosulkusuojan tehtävänä on katkaista piirin oiko-sulkuvirta ennen kuin se aiheuttaa johtimissa tai liitoksissa mekaanisista tai lämpövaikutuksista joh-tuvaa vaaraa. Sallittu lämpötila ja sen kesto aika ilmoitetaan yhden sekunnin vian kesto aikaa vastaa-vana oikosulkuvirtana. (Tiainen, 2010)

Oikosulkusuojauksen toimivuus tarkistetaan suunnitteluvaiheessa laskelmien avulla. Käyttöönottotar-kastuksissa oikosulkusuojan toimivuuden mittauksesta ei ole vaadetta. Oikosulkusuojauksen toimi-vuus voidaan kuitenkin tarkistaa käyttämällä valmiiksi laskettuja taulukoita ja laskentaan soveltuvaa verkostosuunnitteluohjelmaa. Tällainen tarkistaminen on tarpeen yleensä monimutkaisissa suojaus-tarkasteluissa, esimerkiksi kytkettäessä kolme tai useampi kaapelia rinnan. (Tiainen, 2010)

Oikosulkusuojauksen on täytettävä seuraavat vaatimukset:

- Suojalaitteen katkaisukyky ei saa olla pienempi kuin asennuspaikan suurin oikosulkuvirta.
- Pienempi katkaisukyky kuitenkin sallitaan, jos suojalaitteen syöttöpuolella on toinen suojalaite, jonka katkaisukyky on riittävä.

- Kaikki oikosulkuvirrat missä tahansa virtapiirin kohdassa on katkaistava viimeistään, kun johtimet saavuttavat suurimman sallitun lämpötilan.

(Tiainen, 2010)

Maksimioikosulkuvirtaa käytetään mitoitettaessa komponentteja ja minimoioikosulkuvirtaa käytetään suojausasetteluissa. (Tiainen, 2010)

4.3 Jakeluverkon vikatilanteet

Verkossa tapahtuvia mahdollisia vikatilanteita ovat oiko- ja maasulut erilaisine variaatioineen. Näiden tilanteiden aiheuttajana voi toimia esimerkiksi erottimen murtuminen, johtimen katkeaminen tai virtamuuntajan vikaantuminen. (Elovaara & Haarla, Sähköverkot II, 2011)

Oikosulun ominaispiirteisiin kuuluu vikakohdan pieni jännite ja suuri virta. Oikosulku voi olla 2- tai 3-vaiheinen. 2-vaiheinen oikosulku on tilanne, jossa kaksi vaihejohtinta pääsee koskettamaan toisiinsa, 3-vaiheinen oikosulku voi puolestaan syntyä esimerkiksi ukkosen aiheuttamana maa-oikosulkuna. Oikosulkusuojana käytetään tyypillisesti ylivirta-, differentiaali- ja distanssireleitä. (Elovaara & Haarla, Sähköverkot II, 2011)

Maasulku syntyy virtapiiriin, kun virtapiirin äärijohdin pääsee johtavaan yhteyteen maahan, esimerkiksi maadoitetun laitteiston osan tai suoran maakosketuksen kautta. Maasulun virran aiheuttaman vaarajännitteen vuoksi maadoitetussa verkossa maasulusta aiheutuu vikapaikkaan ja sen ympäristöön hengenvaara. Maasulkusuojana voidaan käyttää samoja ylivirtareleitä kuin oikosulkusuojauksessakin, mutta ne asetetaan mittaamaan nollavirtaa eli vaiheiden summavirtaa. (Elovaara & Haarla, Sähköverkot II, 2011)

4.4 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauksen tavoitteena on ehkäistä oikosulkuvirran aiheuttamat lämpenemisvauriot laitteille ja kaapeleille sekä erottaa vioittunut osa verkosta. Suojauksen tavoitteena on taata järjestelmän turvallisuus vikatilanteen sattuessa niin käyttäjille kuin myös ulkopuolisille. Tarkoitukseen käytetäänkin yleensä ylivirtareleitä, joka sisältää vikavirralla hetkellislaukaisun aikaansaavan toiminnon. Samat releet voivat toimia myös ylivirtasuojina. (Elovaara & Haarla, Sähköverkot II, 2011)

5 KUHMO OY: N JAKELUVERKON MALLINTAMINEN

Saha-alueen jakeluverkon mallintaminen suoritettiin kolmessa eri vaiheessa. Ensimmäisenä vaiheena oli tutustua Kuhmo Oy:n jakeluverkkoon ja kerätä kaikki mahdollinen informaatio jakeluverkosta mallinnusta varten. Näihin tietoihin lukeutuvat mm. verkon piirustukset, kaapelit, niiden tyypit ja pituudet ja verkonsuojalaitteet. Toisena vaiheena oli verkon mallintaminen hankittujen tietojen pohjalta ABB DOC -ohjelmistolla ja viimeisenä vaiheena laskentatulosten tarkastelu.

5.1 ABB DOC

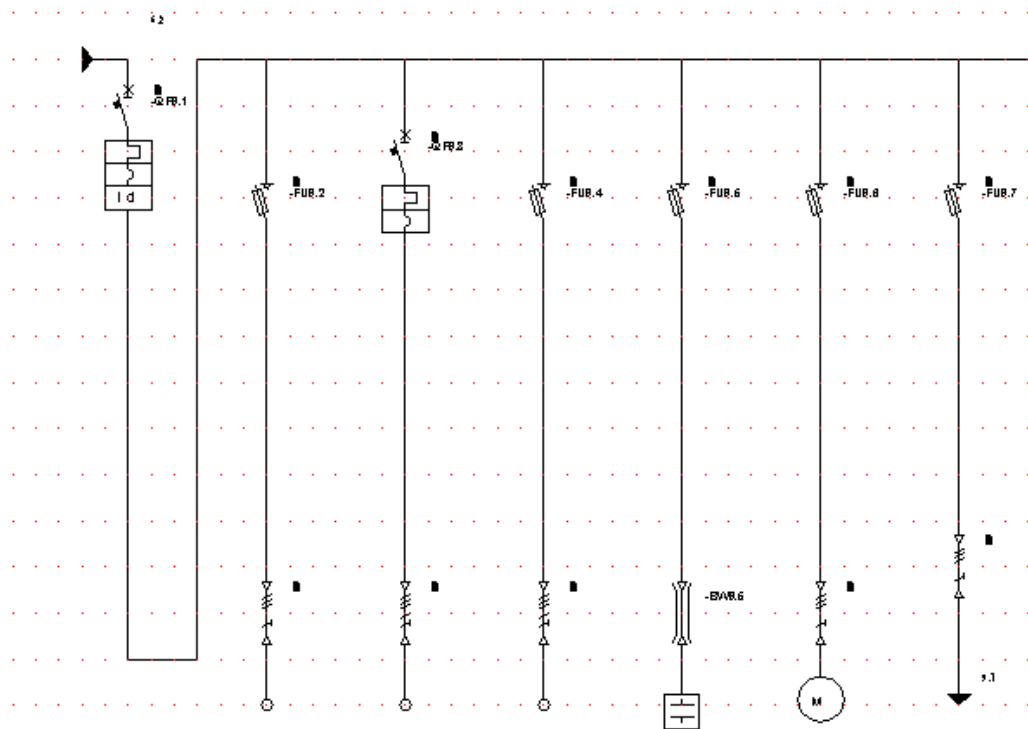
ABB DOC on ilmainen ohjelmisto, joka soveltuu pien- ja keskijänniteverkkojen suunnitteluun ja laskentaan. Ohjelmiston avulla on helppoa ja yksinkertaista piirtää ja mitoittaa verkkoon liitettävät kaapelit, muuntajat, suojalaitteet ja katkaisijoiden asettelut. Ohjelman avulla on myös mahdollista suorittaa laskenta jo olemassa olevalle verkolle. DOC on osa ABB:n tarjoamaa e-Desing -ohjelmistopakettia. Vaikka DOC ei tue muiden valmistajien komponentteja on siinä sisäänrakennettuna kattavat kirjastot, joista löytyy hyvä valikoima erilaisia ABB:n valmistamia laitteita. (ABB, 2017)

5.1.1 Standardit

ABB DOC -ohjelman laskelmat ja mitoitukset perustuvat standardeihin, jotta laskelmien tulokset olisivat oikeat ja määräysten mukaiset. Standardien valinnat tehdään heti ohjelman käynnistyksen yhteydessä, samalla määritellään laskennan asetukset ja ominaisuudet. Oikosulkuvirtojen laskennassa ohjelma käyttää standardia IEC 60909-1. Kaapeleiden mitoituksessa ja maadoituksissa käytetään standardia IEC 60364. Suojalaitteet valitaan standardin IEC 60947-2 mukaan. (Luoto, 2015)

5.1.2 Verkon mallinnus

Verkon mallintaminen ABB DOC:lla on pääpiirteissään hyvin yksinkertaista. Verkon mallintaminen tehtiin tämän opinnäytetyön kolmantena liitteenä olevan ohjeen vaiheiden mukaisesti. Saha-alueen sähköjakelukaavioiden ja kerätyn aineiston perusteella verkosta tehtiin kaksi erilaista mallinnosta. Ensimmäisessä saha-alueen sähköjakelujärjestelmä saa syöttönsä Loisteen verkosta Kuhmon sähköasemalta. Toisessa saha-alueen jakeluverkon syöttö oli rakennettu Kuhmon lämpölaitoksen generaattorilta.



KUVA 17. Osa DOC:lla mallinnetusta verkosta (Moilanen 2017.)

Verkon mallintamista varten hankittiin Loisteelta päivitetyt oikosulkuvirtatiedot verkon syöttöpis-
teessä. Yhteensä mallinnettua verkkoa tehtiin noin seitsemänkymmenen piirustusarkin verran kuvan
17 mukaisesti.

6 TULOSTEN TARKASTELU

Kuhmon Oy:n jakeluverkon verkostolaskennan tuloksia tarkastellessa oli havaittavissa joitakin puutteita jakeluverkon suojauksissa, molemmissa tapauksissa. Tuloksista on tehty erillinen raportti Kuhmo Oy:n käyttöä varten, jossa on pureuduttu tarkemmin verkon puutteisiin. Raportti sisältää myös täydelliset kuvat opinnäytetyössä syntyneistä mallinnuksista.

Keskijänniteverkon tuloksia tarkastellessa selvisi että, verkonsuojaukset toimivat oikein molemmissa jakelutilanteissa. Saarekekäytössä muuntamoiden katkaisijoiden pikalaukaisuportaatt eivät kuitenkaan tule toimimaan liian suuren asetteluarvon vuoksi. Myös muutamien katkaisijoiden väliset selektiivisyydet tulisi tarkastaa. Loisteen jakeluverkkoon kytkeytyneenä Kuhmo Oy:n jakeluverkon oikosulkuvirrat ovat kasvaneet viimeisimpään vuoden 2011 verkostolaskentaan verrattuna. Tämän syynä ovat Fingridin kantaverkon ja Loisteen jakeluverkon muutokset viime vuosina.

Pienjänniteverkon oikosulkusuojaukset toimivat pääasiassa niinkuin on suunniteltukin. Verkostolaskennan perusteella verkosta löydettiin muutamia väärin valittuja suojalaitteita, lähinnä kompensointien syötöistä. Myös erään ohjauskeskuksen syötön ja siihen kytketyn kompensoinnin sulakkeiden selektiivisyydessä havaittiin ongelmia.

7 YHTEENVETO

Tässä työssä tarkasteltiin Kuhmo Oy:n saha alueen jakeluverkkoa ja tarkastettiin verkon suojalaitteiden toimivuus syöttöpisteestä ryhmäkeskustasolle saakka hyödyntämällä nykyaikaista verkkolaskentaohjelmistoa.

Työ aloitettiin verkkoon tutustumalla ja verkon lähtötietojen keräyksellä Kuhmossa. Tiedot taulukoitettiin ja verkko mallinnettiin ABB:n DOC -ohjelmistolla. Työn yhteydessä päivitettiin myös Kuhmon lämpölaitoksen syöttöpisteen oikosulkuvirtatiedot Loisteen avustuksella.

Työssä selvisi, että Kuhmo Oy:n jakeluverkon suojaukset ovat toimivia molemmissa jakelutilanteissa, eli saarekkeessa ja verkon ollessa Loisteen jakeluverkkoon kytkyteneenä. Keskijänniteverkko toimii sekä saarekkeessa että normaalissa tilanteessa oikein, lukuun ottamatta pikalaukaisujen toimintaa saarekkeessa. Myös eräiden katkaisijoiden välinen selektiivisyys kannattaisi tarkistaa. Pienjänniteverkon oikosulkusuojien valinta on tehty verkossa pääosin oikein, ongelmia on lähinnä kompensointilaitteistojen syöttökaapeleiden suojalaitteiden valinnoissa. Myös erään ohjauskeskuksen syötön suoja-laite tulisi vaihtaa oikeanlaiseen.

Työssä saatiin aikaiseksi mallinnus Kuhmo Oy:n jakeluverkosta, joka sisältää kaikki verkon komponentit. Tulevaisuudessa työnantaja voi käyttää samaa mallinnusta esimerkiksi tehonjakolaskentoihin. Jakeluverkon laskentatuloksista tehtiin oma erillinen raportti työnantajalle käytettäväksi, jossa on ehdotettu myös korjaustoimenpiteitä verkon suojausten parantamiseksi.

LÄHTEET

- ABB. (10. Maliskuu 2002). *SPAJ 131 C Ylivirtarele*. Haettu 26. Huhtikuu 2017 osoitteesta
https://library.e.abb.com/public/3f251ca9b6c12de7c2256c7e004628b6/FM_SPAJ131C_FI_BCA.pdf
- ABB. (22. Syyskuu 2005). *Mitä on sähköjakeluautomaatio*. Haettu 26. Huhtikuu 2017 osoitteesta
[http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb254.nsf/0/.../\\$file/FISUB2209_2005.ppt](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb254.nsf/0/.../$file/FISUB2209_2005.ppt)
- ABB. (2017). *ABB DOC*. Haettu 15. 2 2017 osoitteesta ABB: <http://new.abb.com/low-voltage/launches/selectivity/tools-support/doc>
- ABB. (2017). *DOC - the ABB desing software*. Noudettu osoitteesta <http://new.abb.com/low-voltage/launches/selectivity/tools-support/doc>
- ABB. (2017). *DOC User Manual*. Noudettu osoitteesta ABB:
https://library.e.abb.com/public/a7a540898e0685bdc1257e1a0048b3ef/DOC_UserManual_EN_SLD.pdf
- ABB. (2017). *Tmax pienjännitekatkaisijat*. Haettu 28. Toukokuu 2017 osoitteesta
https://library.e.abb.com/public/ae33607b95acdaf8c1257af7004a0bca/1SDC210015D0202_FIN.pdf
- Anjala, R. (2008). Verkostosuositus SA 2:08.
- CM Partner AB. (2017). *Largest companies*. Haettu 23. Huhtikuu 2017 osoitteesta
<http://www.largestcompanies.fi/yritys/Kuhmo-Oy-147714/sijoitus>
- Elovaara, J.;& Haarla, L. (2011). *Sähköverkot II*. Otatieto.
- Elovaara, J.;& Laiho, Y. (2007). *Sähkölaitostekniikan perusteet*. Otatieto.
- Ensto. (2017). *Sulakkeet*. Haettu 27. Toukokuu 2017
- Holopainen, J. (5. Kesäkuu 2014). *Theseus*. Haettu 24. Huhtikuu 2017 osoitteesta Pienvesivoimalan sähköjärjestelmän uusiminen:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73551/Holopainen_Jarkko.pdf?sequence=1
- Huhtinen, M.;Korhonen, R.;Pimiä, T.;& Urpalainen, S. (2013). *Voimalaitostekniikka*. Tampere: Opetushallitus.
- Korpinen, L. (ei pvm). *Muuntajat ja sähkölaitteet*. Haettu 25. Huhtikuu 2017 osoitteesta
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf
- Kuhmo Oy. (2017). *Kuhmo Oy - Historia*. Haettu 23. 05 2017 osoitteesta <https://www.kuhmo.eu/fi/yritys/historia>
- Kuhmo Oy. (2017). *Kuhmo Oy - tuotanto*. Haettu 23. Huhtikuu 2017 osoitteesta
<https://www.kuhmo.eu/fi/yritys/tuotanto>
- Källi, S. (2. Helmikuu 2012). *Varavoimajärjestelmän suunnitteluohje*. Haettu 27. Toukokuu 2017 osoitteesta Theseus: www.theseus.fi/bitstream/10024/39500/1/Sami+Kalli.pdf
- Luoto, H. (5. Toukokuu 2015). *Sähköjakelun runkosuunnitelma Technopolis Microkatu 1, Kuopio*. Haettu 28. Toukokuu 2017 osoitteesta Theseus.
- Rantaniemi, L. (17. Tammikuu 2013). *Generaattorin suojausten vaatimukset ja tarkasteleminen*. Haettu 27. Toukokuu 27 osoitteesta Doria:
<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/88853/Generaattorin%20suojausten%20vaatimukset%20ja%20tarkasteleminen.pdf?sequence=1>
- Tiainen, E. (2010). *Johdon mitoitus ja suojaus*. Sähköinfo.

LIITE 1: JAKELUVERKON SOLMUPISTEET

Keskus 7H	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus
Pääkytkin 7H-01-A	Sace E3N 25 lu=2500 A	Muuntaja T7	Keskus kiskosto	Kupari kiskosto	15
7H-02-A	Sace tmax T4S 250	712H	Priketointi puristin 6	AMCMK 3x120+41Cu	140
7H-02-B	Sace tmax T4S 250	711H	Priketointi puristin 5	AMCMK 3x120+41Cu	138
7H-02-C	Sace tmax T4S 250	710H	Priketointi puristin 4	AMCMK 3x120+41Cu	136
7H-02-D	Sace tmax T6S 630	703H	Viirakuivain	2x AMCMK 4x240+72Cu	130
7H-03-A	Sace tmax T4S 250	709H	Priketointi puristin 3	AMCMK 3x120+41Cu	134
7H-03-C	Sace tmax T4S 250	707H	Priketointi puristin 1	-	
7H-03-D	Sace tmax T6S 630	715H	Autulämmitysten jakokaappi	2x AMCMK 4x70+21Cu	190
7H-04-A	Sace tmax T4S 250	7H-TPK1	Työpaikkakeskus murskan katos	AMCMK 4x70+41Cu	90
7H-04-A	Sace tmax T4S 250	7H-TPK2	Työpaikkakeskus siilon seinä	MCMK 4x35+35	75
7H-04-B	Sace tmax T4S 250	701H	Murska	AMCMK 4x120+41Cu	85
7H-04-C	Sace tmax T5S 400	702H	Purun seulonta ja kuljetus	AMCMK 4x185+57Cu	10
7H-05-A	Sace tmax T2S 160				
7H-05-B	Sace tmax T2S 160	705H	Priketointi kuljettimet	AMCMK 3x120+41Cu	135
7H-05-D	Sace tmax T2S 160	704H	Viirakuivain valaistus	AMCMK 3x120+41Cu	130
7H-05-E	Sace tmax T2S 160	713H	Briktointi valaistus	AMCMK 3x120+41Cu	145
7H-05-F	Sace tmax T5S 400	7H-KP1	Loistehon kompensointi	2x MCMK 3x185+95	7
7H-06-A	Sace tmax T2S 160		Valaistus- ja LVI-lähdöt	Keskuksen sisäinen	
Keskus 3H	Syöttö muuntajalta T3				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus
F1	Jonvaroke 500/630 A	3H	301H Kanava 1 ja 2	2x MCMK 3x185+95	35
F2	Jonvaroke 500/400 A	3H	301H Kanava 1 ja 2	2x MCMK 3x185+95	35
F3	Jonvaroke 400/400 A	3H	303H Tasaamo	2x MCMK 3x120+70	26
F4	Jonvaroke 125/400 A	3H	304H Valaistus tasaamo tsto	MCMK 3x95+70	35
F6	Jonvaroke 200/400 A	3H	3H5 Kamarit 1-5	2x AMCMK 2x240+120	90
F7	Jonvaroke 125/400 A	3H	306H Tasaamon alakerta valaistuts	AXCMK 3x300+88	23
6	Jonvaroke 250/400 A	3H	307H Kanava 3	MCMK 3x120+70	32
7	Jonvaroke 400/400 A	3H	Vara		
8	Jonvaroke 400/400 A	3H	Kompensointi 1	2x AMCMK 3x185+95	7
9	Jonvaroke 400/400 A	3H	Kompensointi 2	2x AMCMK 3x185+96	7
10	Jonvaroke 400/400 A	3H	Kompensointi 3	2x AMCMK 3x185+97	7
11	Jonvaroke 630/630 A	3H	311H Kanavat 4&5	2x AMCMK 3x240+120	47
-	Varokekytkin 100/125A	3H	3H tulppalähdöt	Keskuksen sisäinen johdotus	-
F12	Epäkunnossa				
Keskus 3H2	Syöttö muuntajalta T3				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus
01	Jonvaroke 400/630 A	3H2	3H2/06 Kanavat 8 ja 8	AMCMK 4x184	37
02	Jonvaroke 400/630 A	3H2	3H2/06 Kanavat 8 ja 9	AMCMK 4x185	37
03	Jonvaroke 630/630 A	3H2	3H2/01 Kompensointi 04	2x AMCMK 3x185Al+57Cu	7
04	Jonvaroke ---/630 A	3H2	Vara	---	
05	Jonvaroke 500/630 A	3H2	3H2/05 Kamarit 12-16	AXMK 4x300	105
06	Jonvaroke 200/400 A	3H2	3H202D6 Paketointi Moot.	AMCMK 3x240+120	185
07	Jonvaroke 200/400 A	3H2	3H202D6 Paketointi Moot.	AMCMK 3x240+120	185
08	Jonvaroke ---/400 A	3H2	Vara	---	
09	Jonvaroke 200/400 A	3H2	3H202D9 Paketointi Val.	AMCMK 3x240+120	190
10	Jonvaroke ---/400 A	3H2	Vara	---	
11	Jonvaroke 250/400 A	3H2	3H2/11 Tasaamon alkupää	AMCMK 3x185+95	11
12	Kytkinvaroke 80/120 A	3H2	3H2 tulppalähdöt	Keskuksen sisäinen johdotus	-

Keskus 4H	Syöttö muuntajalta T4				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus
01B	Sace tmax 125A	4H	VARA	-	
01C	Sace tmax 630A	4H	401H01C Kanavakuivaamo 7	2x AMCMK 4x185+95	38
01D	Sace tmax 630A	4H	4H01D Kamarit 21-24	2x AMCMK 4x185+95	130
02B	Sace tmax 125A	4H	VARA	-	
02C	Sace tmax 630A	4H	VARA	-	
02D	Sace tmax 630A	4H	409H Tasaamo	2x AMCMK 4x240+72cu	43
03B	Sace tmax 630A	4H	VARA	-	
03C	Sace tmax 630A	4H	VARA	-	
04D	Sace tmax 630A	4H	VARA	-	
07A	Sace tmax 630A	4H	Keskukseen integroitu komp.	Kisko	5
09A	Sace tmax 630A	4H	Keskukseen integroitu komp.	Kisko	5
10A	Sace tmax 400A	4H	VARA	-	
10B	Sace tmax 400A	4H	PK4 H104 Korjaamo	2x AXMK 4x150	820
10C	Sace tmax 400A	4H	412H Kuivaamo 6	2x AMCMK 4x185+57cu	41
10D	Sace tmax 400A	4H	413H Tasaamo alakerta	2x AMCMK 4x240+72cu	45
11A	Sace tmax 400A	4H	420H Tasaamo rimakuljetin	AMCMK 3x70+21	25
11B	Sace tmax 125A	4H	419H Tasaamo purunpoisto	AMCMK 3x70+21	48
11C	Sace tmax 125A	4H	VARA	--	
11D	Sace tmax 125A	4H	VARA	-	
Keskus 1H	Syöttö muuntajalta T1				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus
01	Jonovaroke 315/630A	1H	101H Pumppaamo	AMCMK 3x185+95+57	130
02	Pienjännitekatkaisija ABB sace 1600	1H	102H Sahan alakerta	Axmk 9x300+2x300+2x300	47
03	Pienjännitekatkaisija ABB sace 1600	1H	103H Sahan alakerta	Axmk 9x300+2x300+2x300	33
04	Jonovaroke 160/630A	1H	104H Suodatin laitteisto	AMCMK 3x185+95+57	50
05	Jonovaroke 315/630A	1H	Paineilma kompressori GA132	2x AMCMK 3x185+57Cu	40
06	Jonovaroke 630/630A	1H	106H Pääkeskus/ Rimoitus	2x AMCMK 3x240+120+72Cu	190
07	Jonovaroke 630/630A	1H	Kompensointi 1H	2x MCMK 3x150+70	6
08	Kytkinvaroke 630/630A	1H	Kompensointi 2 1H	2x AMCMK 3x240+90cu	7
09	Kytkinvaroke 125/250A	1H	Keskuksen tulppavarokelähdöt	Keskuksen sisäinen	-
10	Jonovaroke ---/630A	1H	VARA	---	
11	Jonovaroke 200/630A	1H	111H Paineilmakompressori	AMCMK 3x185+95+57	38
12	Jonovaroke 630/630A	1H	112H Tukkilajittelu	2x AxMCMK 3x240+120+72	332
13	Jonovaroke 630/630A	1H	Kompensointi 3 1H	2x AXMK 4x240S	5
14	Jonovaroke 630/630A	1H	1HF14 15	2x AMCMK 4x240+90	7
Lohko 1HF14					
15	Jonovaroke ---/400A	1HF14	1H 14	2x AMCMK 4x240+92	7
16	Jonovaroke ---/400A	1HF14	VARA	-	
17	Jonovaroke ---/400A	1HF14	VARA	-	
18	Jonovaroke 63/400A	1HF14	Hylkykeskus alasaha	MCMK 4x16+16	35
19	Jonovaroke ---/400A	1HF14	Ei käytössä vanha höylä	MCMK 3x35+16	
20	Jonovaroke 250/400A	1HF14	113H/1 Hakekuljetin	AXMK 4x185+57	75
Keskus 2H	Syöttö muuntajalta T2				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus
01	Jonovaroke 400/630A	2H	201H Sahan kuljetin	2x AMCMK 3x300+88	43
02	Katkaisija 1000A	2H	202H Särmäys	Axmk 9x300+2x300+2x300	35
03	Jonovaroke 400/630A	2H	203H Alasaha	2x AMCMK 3x300+88	60
04	Jonovaroke 630/630A	2H	2H-KP2 Kompensointi	Amcmk4x185+72	7
05	Jonovaroke 200/630A	2H	205H Kompressori	MCMK 3x70+35	10
06	Jonovaroke 400/630A	2H	206H Sahan valaistus (2H keskusuoneessa)	2x AMCMK 3x300+88	10
07	Jonovaroke 630/630A	2H	2H-KP1 Kompensointi	2x mcmk 3x120+72	7
08	Jonovaroke 630/630A	2H	208H Dimensiolajittelu kotelo dim alak.	2x AMCMK 3x240+120+72	80
09	Kytkinvaroke 125/250A	2H	2H tulppavarokelähdöt	Keskuksen sisäinen	-
11	Katkaisija 1250A	2H	211H Kuormio moot.	Axmk 9x300+2x300+2x300	115
12	Jonovaroke 630/630A	2H	212H Kuorimo Redusointi	2x AXCMK 3x240+120+72	125
13	Jonovaroke 400/630A	2H	213H Kuorimo val.	2x AXCMK 3x185+95+57	115
19	Jonovaroke ---/630A	2H	VARA		
18	Jonovaroke 630/630A	2H	2H-KP3 Kompensointi	2x MCMK 3x185+95	7
17	Jonovaroke 400/630A	2H	216H Tuorepakointi kiinteistö.	2x AMCMK 4x240+72	215
16	Jonovaroke 400/630A	2H	215H tuorepakointi moot. kesk.	2x AMCMK 4x240+73	215
15	Jonovaroke 315/630A	2H	214H Sydänt. Lajittelu sähkötila	AMCMK 4x300+88Cu	90
14	Jonovaroke 315/630A	2H	214H Sydänt. Lajittelu sähkötila	AMCMK 4x300+88Cu	90
20	Kytkinvaroke	2H	VARA		

Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus
02A	Sace tmax 250A	5H	Keskuksen tulppalähdöt	sisäinenjohdotus	-
02C	Sace tmax 400A	5H	Kompressori GA132FF	2x AMCMK 3x185+57Cu	72
03A	Sace tmax 250A	5H	503H PPL alasaha	AMCMK 4x185AL+70Cu	76
03B	Sace tmax 630A	5H	VARA	-	-
03C	Sace tmax 630A	5H	VARA	-	-
04A	Sace tmax 250A	5H	504H ppl tekma	AMCMK 4x185AL+70Cu	81
04B	Sace tmax 630A	5H	VARA	-	-
04C	Sace tmax 630A	5H	VARA	-	-
05A	Sace tmax 400A	5H	501H Tukkiin syöttö	2x AMCMK 4x240+72	20
05B	Sace tmax 630A	5H	505H Sahavalaistus	2x AMCMK 4x185+57Cu	10
05C	Sace tmax 630A	5H	VARA	-	-
06A	Sace tmax 1600A	5H	502H Pienpuusaha pk	Virtakisko 1600A	8
8	Sace tmax 630A	5H	Kompensointi	Keskuksen sisäinen kisko	3
10	Sace tmax 630A	5H	Kompensointi	Keskuksen sisäinen kisko	3
12	Sace tmax 630A	5H	Kompensointi	Keskuksen sisäinen kisko	3
Keskus 6H	Syöttö muuntajalta T6				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus
02A	Sace tmax 250A	6H	Keskuksen tulppalähdöt	sisäinenjohdotus	-
02D	Sace tmax 630A	6H	603H Tukkiin vastaanotto kiinteistö.	2x AMCMK 4x300+88Cu	90
03A	Sace tmax 400A	6H	VARA	-	-
03B	Sace tmax 630A	6H	VARA	-	-
03C	Sace tmax 630A	6H	VARA	-	-
04A	Sace tmax 250A	6H	VARA	-	-
04B	Sace tmax 630A	6H	VARA	-	-
04C	Sace tmax 630A	6H	VARA	-	-
05A	Sace tmax 250A	6H	VARA	-	-
05B	Sace tmax 630A	6H	VARA	-	-
05C	Sace tmax 630A	6H	605H Kuorimo kiinteistökeskus	2x AMCMK 4x300+88Cu	16
06A	Sace tmax 1250A	6H	603H Kuorimo redusointi	Virtakisko 1600A	7
06C	Sace tmax 630A	6H	601H Tukkiin vastaanotto	2x AMCMK 4x300+88Cu	92
08A	Sace tmax 630A	6H	Kompensointi	Kisko	3
10A	Sace tmax 630A	6H	Kompensointi	Kisko	3
12A	Sace tmax 630A	6H	Kompensointi	Kisko	3
Keskus 301H	Syöttö 3H-F2				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus
01	Sace tmax 250A	301H-01	302HA Kamarit 6,7,8	MCMK 3x120+70	15
2	Sace tmax 250A	301H-02	302HB Kamarit 9,10,11	AMCMK 3x185+57	15
Keskus 311H	Syöttö 3H-F11				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus
01	Varokeytin 400/400A	311H-01	Kuivaamon sähkökeskus kompensointi	2x MCMK 3x35+70	9
Keskus 3H2/06	Syöttö 3H2-F01 ja F02				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus
04H	Varokeytin 63/125A	3H2-04	3H2/06/04H Valaistus 7,8,9 kuivaamo sähkötila	AMCMK 3x35+16+16	13
05H	Varokeytin 400/400A	3H2-05	3H2/06/04G Rullaradat 7,8,9 sähkötila	AMCMK 3x35+16+17	7
06H	Varokeytin 400/630A	3H2-06	6,7,8,9 Keskushuone komp.	2x MCMK 3x150+70	8
Keskus 208HB/31	Syöttö 3H202D9 F-?				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus
01		Varasto 8 Kajaanihalli	208HB/31-2 Sotkamohalli	MCMK 4x16+16	105
01 (välilotelolta)	16/25A	Välilotelo	Siirrettävä taukotupa hallin päässä	MMJ 3x2,5 S	60
2	Varoke 3x16A	Varasto 8 Kajaanihalli	208HB/31-14 Varasto 7	MCMK 4x6+6	60
3	Varoke 3x35A	Varasto 8 Kajaanihalli	208HB/31-3 Varasto 47	MCMK 4x16+16	116
Keskus208HB/31-3	Syöttö 208HB/31				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus
01	Varoke 3x25A	Varasto 47	Polttoainevarasto	MCMK 4x16+16	115
Keskus 306H	Syöttö 3H-F07				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus
1F1	Kytinvaroke 100/125A	306H	306H21 Rullaradat kuivapää	MCMK 3x95+70	60
2F1	Kytinvaroke ---/125A	306H	----	MCMK 3x95+70	-
3F1	Kytinvaroke 250/250A	306H	306H03 Tasaamo alkupää	MCMK 4x120+70	73
4F1	Kytinvaroke 100/125A	306H	306H21 Varastok. Kuivaamot 1-3	MCMK 3x95+70	60
5F1	Kytinvaroke 80/125A	306H	Työmaakeskus tasaamo yläk.	MCMK 3x16+16	60
6F1	Kytinvaroke 63/125A	306H	306H07 Tasaamo val.	2x mmj 4x16	50
7F1	Kytinvaroke 200/250A	306H	JK4 Tasaamo alakerta	AMCMK 3x185+70+57Cu	-
8F1	Kytinvaroke ---/125A	306H	VARA	-	-
9F1	Kytinvaroke 63/125A	306H	Keskus kuivakatos	MCMK 4x16+16	135
10F1	Kytinvaroke ---/125A	306H	VARA	-	-
11F1	Kytinvaroke 63/125A	306H	TK1 tasaamo lokerikko alak.	MCMK 4x16+16	115
12F1	Kytinvaroke 50/125A	306H	306HF12 (tasaamon lokerikon alakerta?)	MCMK 4x16+16	110

Keskus 4H01D WSAB kamarit 21-24		Syöttö 4H-01D				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus	
01	Varokeytin 400/630A	401D	002EG 21-24 mootkesk	AMCMK 3x185+92	10	
2	Varokeytin 250/630A	401D	003EG 21-24 Siirtokulj	AMCMK 3x185+92	13	
3	Varokeytin ---/630A	401D	---	---		
101H Pumppaamo		Syöttö 1H - F01				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus	
01	Varokeytin 160A	101H	Tukkienkastelu pumppu 1	2x MCMK 3x25+25	15	
2	Varokeytin 160A	101H	Tukkienkastelu pumppu 2	AMCMK 3x35+25	10	
3						
4	Varokeytin 63A	101H	101H/5A2 Väestönsuoja kiinteistök.	MCMK 4x25+25	5	
106H Pääkeskus		Syöttö 1H - F06				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus	
01	Varokeytin 100/125A	106H	106H Rimoiitus valaistus	2x AMCMK 3x240+85+57	17	
2	Varokeytin 400/630A	106H	106HA Rimoiituskone	2x MCMK 3x240AI+120AI+72Cu	17	
3	Varokeytin ---/630A	106H	VARA	---	-	
4	Varokeytin ---/630A	106H	VARA	---	-	
5	Varokeytin 80/125A	106H	106H5 Ruokala	AMCMK 3x35AI+16AI+10Cu	55	
208H DIM.laj. Kotelo dim. Alak.		Syöttö 2H - F08				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus	
F1	Kytinvaroke 500/630A	208H	208HA	2x MCMK 3x185+95	15	
F2	Kytinvaroke 250/400A	208H	208HB	MCMK 3x120+70	16	
208HB DIM.laj. Kotelo dim. Alak.		Syöttö 208H-F2				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus	
F1	Kahvavaroke 60/63A	208HB	505H Dimi finscan tietokonehuone	MCMK 4x16+16	15	
208HA DIM. Finscan sähkötila		Syöttö 208H-F1				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus	
A08	Kytinvaroke 100/250A	208HA	208HA8 Finscan huone	MCMK 3x35+16	15	
A09	Kytinvaroke 100/250A	208HA	208HA9 Dimi halkaisuun valinta	MCMK 3x35+16	25	
A15	Kytinvaroke 125/250A	208HA	208HA15 PPL Halkaisu	MCMK 3x120+70	30	
715H MJS Kaapelinjakokaappi		Syöttö 7H - 03D				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus	
F1	Jonovaroke 25/160A	715H	Autolämmityspr. "vanha paja"	MCMK 4x16+16	80	
F2	Jonovaroke 25/160A	715H	Autolämmityspr. "vanha paja"	MCMK 4x16+16	80	
F3	Jonovaroke 25/160A	715H	Autolämmityspr. "vanha paja"	MCMK 4x16+16	100	
F4	Jonovaroke 25/160A	715H	VARA	---		
505H Saha valaistus		Syöttö 5H - 05B				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus	
F1	Kytinvaroke 62/125A	505H	505H02 Ohjaamo valaistus (ohjaamon alak.)	MCMK 4x16+16		
F2	Kytinvaroke ---/125A	505H	Vara			
605H Kuorimo rak.sähkö		Syöttö 6H - 05C				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus	
F92	Kytinvaroke 63/125A	605H	Jakorasan kautta 605H-F92-A ja 605H-F92-B Jakokaappi oik.	MCMK 4x16+16 rasialle ja siitä 605H-F92-A. rasian jälkeen 2x MCMK 4x16+16 jakokaapille.	280 45	
605H-F92-B		Syöttö 605H-F92				
Lähtö nro	Suoja	A piste	B piste	Kaapeli	Pituus	
F1	Rivivaroke 25/165A	605H-F92-05B	605H-F92-C jakokaappi vas.	MCMK 4x16+16	45	
F2	Rivivaroke 25/165A	605H-F92-05B	Autolämmitys pr.	MCMK 4x16+17	57	
F3	Rivivaroke 25/165A	605H-F92-05B	Autolämmitys pr.	MCMK 4x16+17	80	
F4	Rivivaroke 25/165A	605H-F92-05B	Vara			

Kuhmo Lämpö				
Tyyppi	Suojaus	Piste A	Piste B	Pituus
AHXCMK 3*1*800		Generaattori XKKA01	BBA 03	17
2xAHXCMK-W 3x300		BBA 04	BAT10	20
AHXCMK-W 3x120		BAT10	Muuntamo kuhmon lämpö 0	10
AHXAMK-W 3x240+70		Muuntamo kuhmon lämpö 0	Briketti AAA 04	65
Muuntamo Kuhmon lämpö				
Tyyppi	Suojaus	Piste A	Piste B	Pituus
		Muuntamo Kuhmon lämpö 0	Loiste syöttö kenttä J07A/J07-	
AHXAMK-W 3x240+70		Muuntamo Kuhmon lämpö 0	Briketti AAA 01	65
AHXAMK-W 3x240+70		Muuntamo Kuhmon lämpö 0	Briketti AAA 04	67
AHXCMK-W 3x120		Muuntamo Kuhmon lämpö 0	BAT 10	10
Muuntamo briketti				
Tyyppi	Suojaus	Piste A	Piste B	Pituus
AHXAMK-W 3x240+70		AAA 01	Muuntamo Kuhmon lämpö 0	65
AHXAMK-W 3x240+70		AAA 02	Muuntamo 1 Tasaamo 01	255
		AAA 03		
AHXAMK-W 3x240+70		AAA 04	Muuntamo Kuhmon lämpö 0	67
Muuntamo 01 Tasaamo				
Tyyppi	Suojaus	Piste A	Piste B	Pituus
AHXAMK_W 3x240+70		Muuntamo 1 01	AAA 02	255
Kiskosilta		Muuntamo 1 02	Muuntamo 1 03	5
Kiskosilta		Muuntamo 1 03	Muuntamo 1 02	5
AHXAMK_W 3x120		Muuntamo 1 04	Muuntamo 2 01	197
HXCMK 3x35		Muuntamo 1 05	T3	5
AHXAMK-W 3x120		Muuntamo 1 06	T4	9
Muuntamo 02 Saha				
Tyyppi	Suojaus	Piste A	Piste B	Pituus
AHXAMK-W 3x120		Muuntamo 2 01	Muuntamo 1 04	197
Kiskosilta		Muuntamo 2 02	Muuntamo 2 03	5
Kiskosilta		Muuntamo 2 03	Muuntamo 2 02	5
HXCMK 3x35		Muuntamo 2 04	T1	8
HXCMK 3x35		Muuntamo 2 05	T2	6
AHXAMK-W 3x120		Muuntamo 2 06	T7	210
AHXAMK-W 3x120+35		Muuntamo 2 07	Muuntamo 3 02	105
Muuntamo 03 PPL				
Tyyppi	Suojaus	Piste A	Piste B	Pituus
-		Muuntamo 3 01	-	-
AHXAMK-W 3x120+35		Muuntamo 3 02	Muuntamo 2 07	105
AHXAMK-W 3x120		Muuntamo 3 03	T5	10
AHXAMK-W 3x120		Muuntamo 3 04	T6	125

LIITE 2: GENERAATTORI JA MUUNTAJAT

T1					T5				
Sn	1600 kVA	Dyn11	50Hz		Sn	2500 kVA	Dyn11	50Hz	
U1	20000_2x2.5% V	I1	46,19 A		U1	20500_2x2.5% V	I1	70,41 A	
U2	400 V	I2	2310 A		U2	400 V	I2	3608 A	
Zk	6 %				Zk	5,8 %			
Pk	12464 W				Pk	22472 W			
Po	1827 W				Po	2501 W	Io		%
T2					T6				
Sn	1600 kVA	Dyn11	50Hz		Sn	1600 kVA	Dyn11	50Hz	
U1	20000_2x2.5% V	I1	46,19 A		U1	20500_2x2.5% V	I1	45,06 A	
U2	400 V	I2	2310 A		U2	400 V	I2	2309 A	
Zk	6,1 %				Zk	5,5 %			
Pk	12440 W				Pk	13313 W			
Po	1812 W				Po	1777 W	Io		%
T3					T7				
Sn	1600 kVA	Dyn11	50Hz		Sn	1000 kVA	Dyn11	50Hz	
U1	20500_2x2.5% V	I1	45,06 A		U1	20000_2x2.5% V	I1	28,9 A	
U2	410 V	I2	2253 A		U2	400 V	I2	1443 A	
Zk	5,5 %				Zk	5,1 %			
Pk	13956 W				Pk	9172 W			
Po	1588 W				Po	1440 W	Io		%
T4					BAT10				
Sn	2500 kVA	Dyn11	50Hz		Sn	6300 kVA	YNd11	50Hz	
U1	20500_2x2.5% V	I1	70,4 A		U1	21000_2x2.5% V	I1	46,19 A	
U2	410 V	I2	3520,4 A		U2	6300 V	I2	2310 A	
Zk	6,46 %				Zk	6,9 %			
Pk	21350 W				Pk	22710 W			
Po	7525 W	Io	0,2 %		Po	5500 W			
G1					Rk				
AEG	DKBL 4676/04 + DEA 238				0,593 %				
3 Ph. Gen	no. 93-401175								
Y 6300 V	561 A								
6125 kVA	S1	cosφ	0,8						
Vain -> u-v-w	1500 r/min	50 Hz							
Mag. 62V				3,5 A					
i.Cl. F	IP 55				19,0 t				



MUU RAPORTTI - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO

■ TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ABB DOC

Lyhyt käyttöopas

Työohje

Versio 1.0 / 16.5.2017

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	3
2	PROJEKTIN ALOITUS	4
3	VERKON MALLINTAMINEN	11
3.1	Keskijänniteverkko	11
3.2	Pienjänniteverkko	17
4	VERKOSTOLASKENTA JA RAPORTIN TULOSTAMINEN.....	21
	LÄHDELUETTELO.....	24

1. JOHDANTO

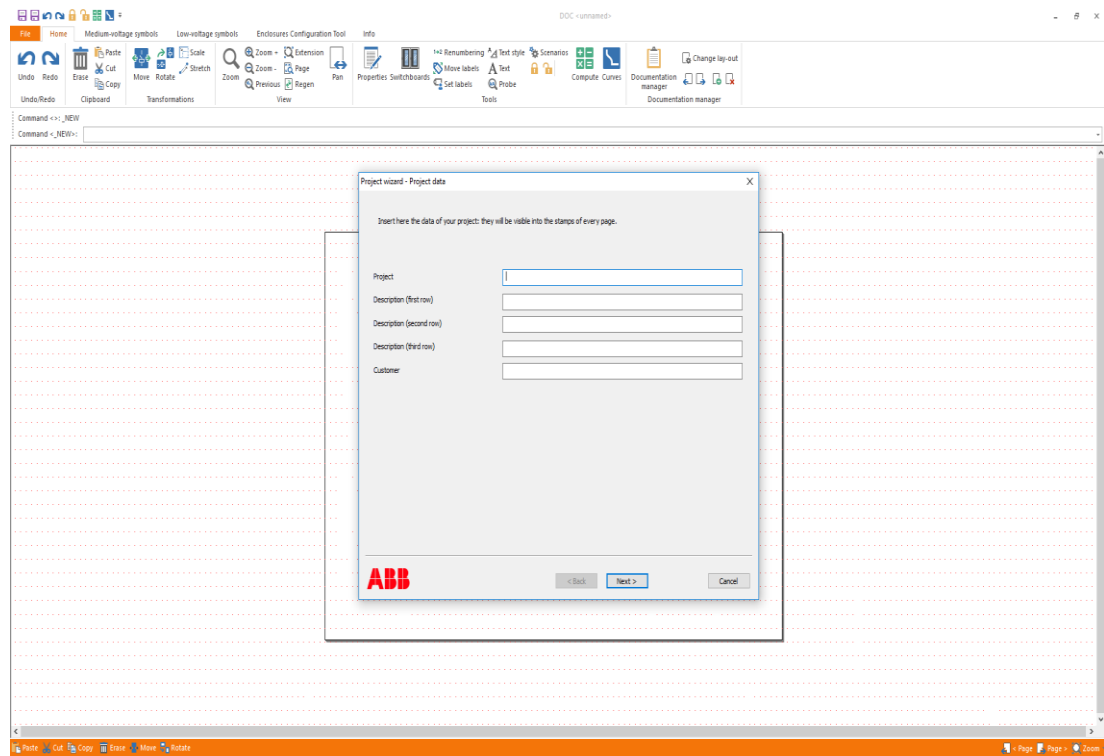
Verkostolaskennan avulla pyritään selvittämään mm. verkon suunnittelussa tarvittavia tietoja, joita ovat solmupisteiden väliset jännitteet, tehonjaot, oikosulkuvirrat ja suojausten toimivuudet. Tässä työssä perehdymme tarkemmin ABB:n tarjoamaan DOC-laskentaohjelmistoon.

ABB DOC on ilmainen ohjelmisto, joka soveltuu pien- ja keskijänniteverkkojen suunnitteluun ja laskentaan. Ohjelmiston avulla on helppoa ja yksinkertaista piirtää ja mitoittaa verkkoon liitettävät uudet kaapelit, muuntajat, suojalaitteet, yms. Ohjelman avulla on myös mahdollista suorittaa laskenta jo olemassa olevalle verkolle. DOC on osa ABB:n tarjoamaa e-Desing -ohjelmistopakettia. (ABB, 2017)

Tämän työohjeen tarkoituksena on tutustuttaa ohjeen käyttäjä ABB DOC:in perustoimintoihin, verkon mallintamiseen ja verkostolaskentaan DOC:in avulla. Työssä tehdään yksinkertainen jakeluverkko, joka sisältää sekä pien- että keskijänniteosia.

2. PROJEKTIN ALOITUS

ABB DOC:in käynnistyksen yhteydessä tulee automaattisesti oletuksena näkyviin DOC:in Project Wizard. Wizardin avulla luodaan projektin perusominaisuudet.



Kuva 1. Project Wizard – Project data

Project data-välilehden alla projektille määritellään nimi, kuvaus ja mahdollisesti myös asiakas. Projektin nimeksi voidaan laittaa esim. työnnumero ja asiakkaaksi Kuhmo Oy.

Kun projektin tiedot on määriteltä, voidaan klikata Next ja siirtyä seuraavaan vaiheeseen, joka on standardien ja jännitelähteen määrittely.

Project wizard - Standards and power supply

Define here the standards for your calculations and the type of power supply

Calculations according to standard-method: IEC 60909-1

Cable dimensioning according to standard: IEC 60364

Power supply LV
 Grid connected low-voltage installations

Power supply MV-LV
 Grid connected medium and low-voltage installations

Genset LV
 Standalone installations fed by low-voltage generators

Genset MV
 Standalone installations fed by medium-voltage generators

Check that the default data are suitable for your installation's requisites browsing the Options

Options

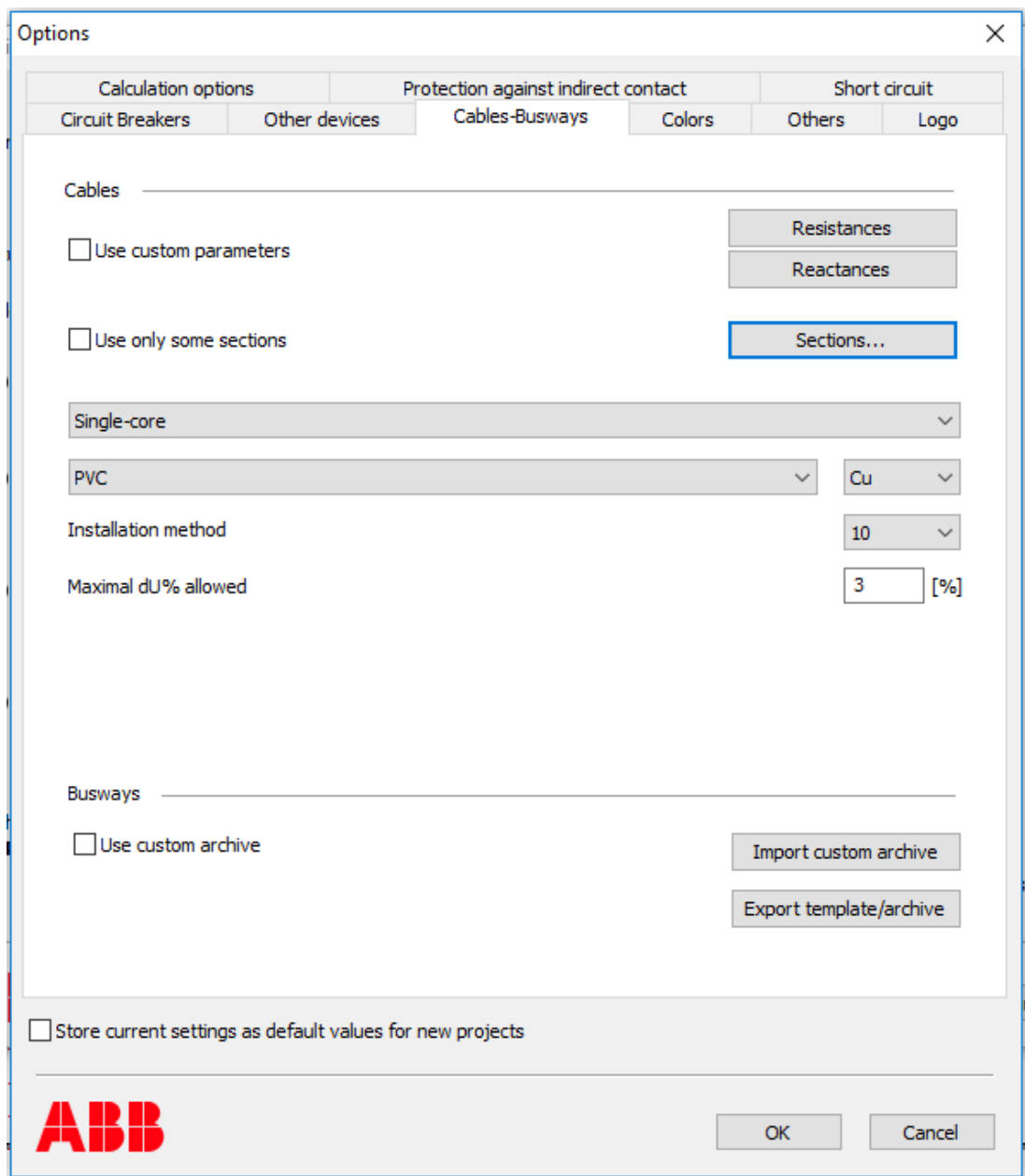
ABB

< Back Next > Cancel

Kuva 2. Standards and power supply

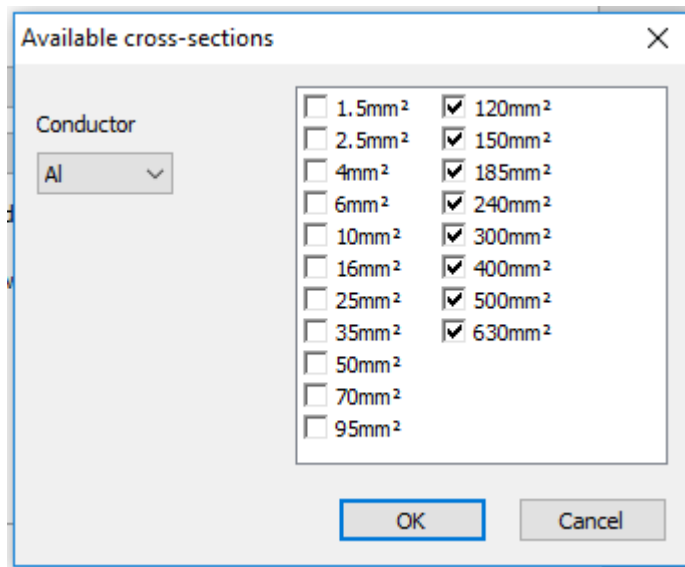
Koska tässä työssä on tarkoituksena tehdä verkko, joka sisältää sekä keski- että pienjänniteverkon osia, valitaan teholähteeksi Power supply MV/LV. Laskennoissa käytetään standardia IEC 60909-1 ja sen voi valita ensimmäisestä pudotusvalikosta. Johdon mitoitukseen käytetään standardia IEC 60364 ja sen voi valita toisesta pudotusvalikosta.

Tämän jälkeen valitaan Options-valikko näkyviin, joka löytyy hammasrataskuvion alta. Options-valikosta valitaan välilehti Cables-Busways, josta voidaan määritellä projektissa käytettävien kaapeleiden poikkipinta-alat kaapelin johdinmateriaalin mukaan ja solmupisteiden välillä tapahtuvan jännitteenaleneman suurin sallittu määrä prosentteina.

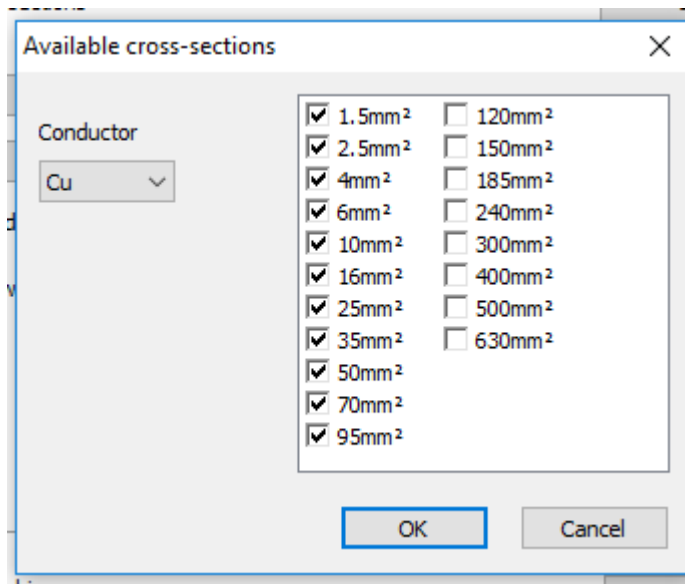


Kuva 3. Options

Kaapeleiden poikkipinta-alojen määrittelemiseksi valitaan Cables-Busways -välilehden sivulta valikko Sections.



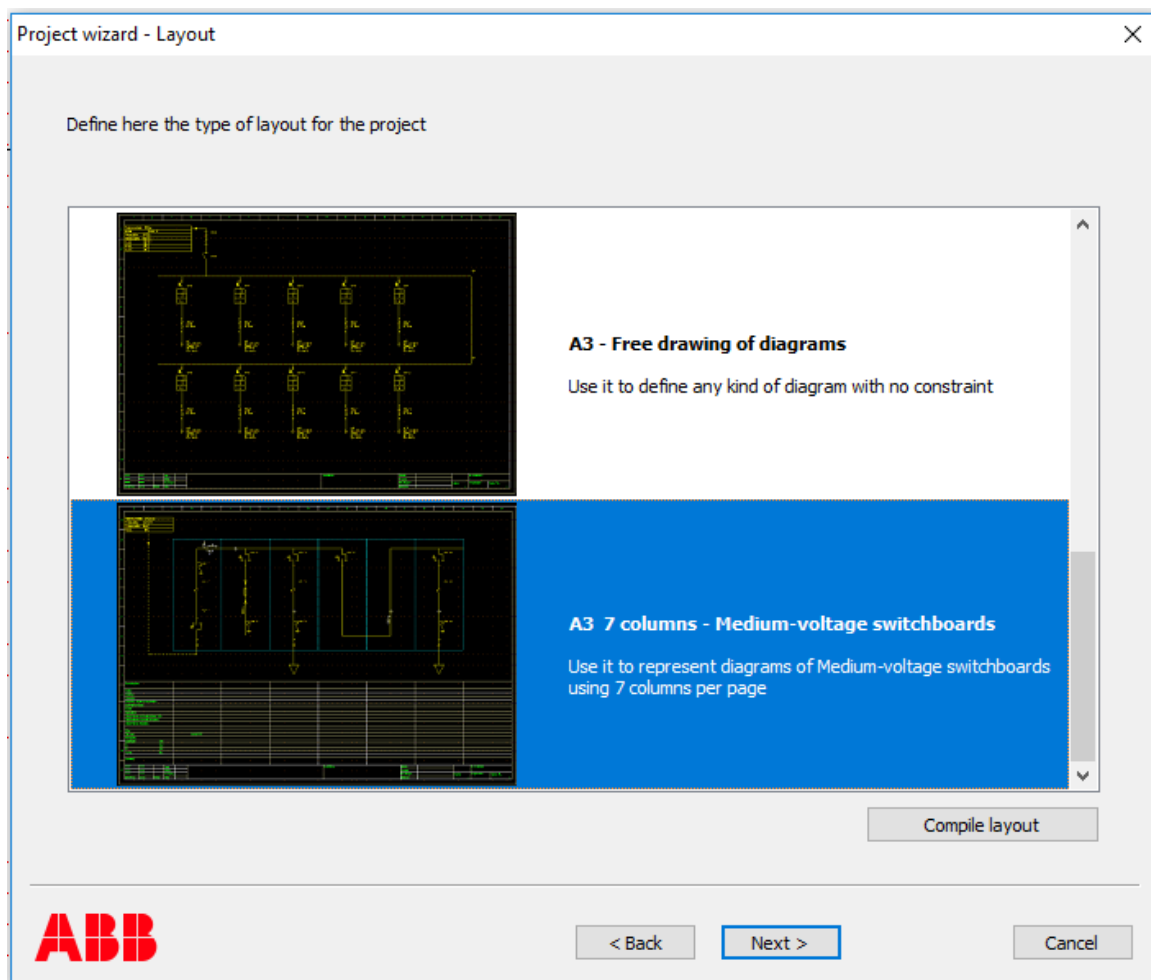
Kuva 4. Alumiinikaapelin poikkipinta-alat



Kuva 5. Kuparikaapelin poikkipinta-alat

Jos kaapeleissa halutaan käyttää alumiinia pinta-alan ylittäessä 95 mm^2 , niin suoritetaan valinnat kuvien 4 ja 5 mukaisesti. Tämän jälkeen valinnat hyväksytään painamalla OK ja valitsemalla Cables-Busways välilehden sivulta laatikko: Use only some sections. Jännitteenaleneman suurin sallittu arvo määritetään Maximal dU% allowed kohdassa. Jätetään se tässä työssä kolmeen prosenttiin. Painamalla OK palataan takaisin Project Wizardiin.

Painamalla Next Project Wizardissa päästään valitsemaan projektille haluttu layout.



Kuva 6. Layout.

Valitaan tässä työssä käytettäväksi layoutiksi kohta A3 7 columns – Medium-voltage switchboards. Painamalla Next päästään määrittelemään teholähteen lähtötietoja.


Power supply MV -välilehden arvot ovat erityisen tärkeät tulosten oikeellisuuden varmistamiseksi. Ensin asetellaan keskijänniteverkon asetukset, Ur -kohdassa asetetaan keskijännitesyötön nimellisyännite ja tämän alapuolella määritetään, onko verkko maasta erotettu vai sammutettu verkko.

$I''k$ ja $3I_o$ kohtien avulla syötetään laskelmiin tarvittavat maasulku- ja oikosulkuvirta. $3I_o$ on syöttöpisteen maasulkuvirta ja $I''k$ on syöttöpisteen oikosulkuvirta.

LV section default values kohdassa määritetään pienjänniteverkon nimellisarvot ja jakelujärjestelmän perustiedot. Ensimmäisessä kohdassa määritetään verkon nimellisyännite, toisessa käytettävissä olevat äärijohtimet, kolmannessa jakelujärjestelmä ja viimeisessä kohdassa verkon nimellistajuus.


Project wizard - Power supply MV

Ur [V]

I''_k [kA] 
 $3I_o$ [A]

LV section default values

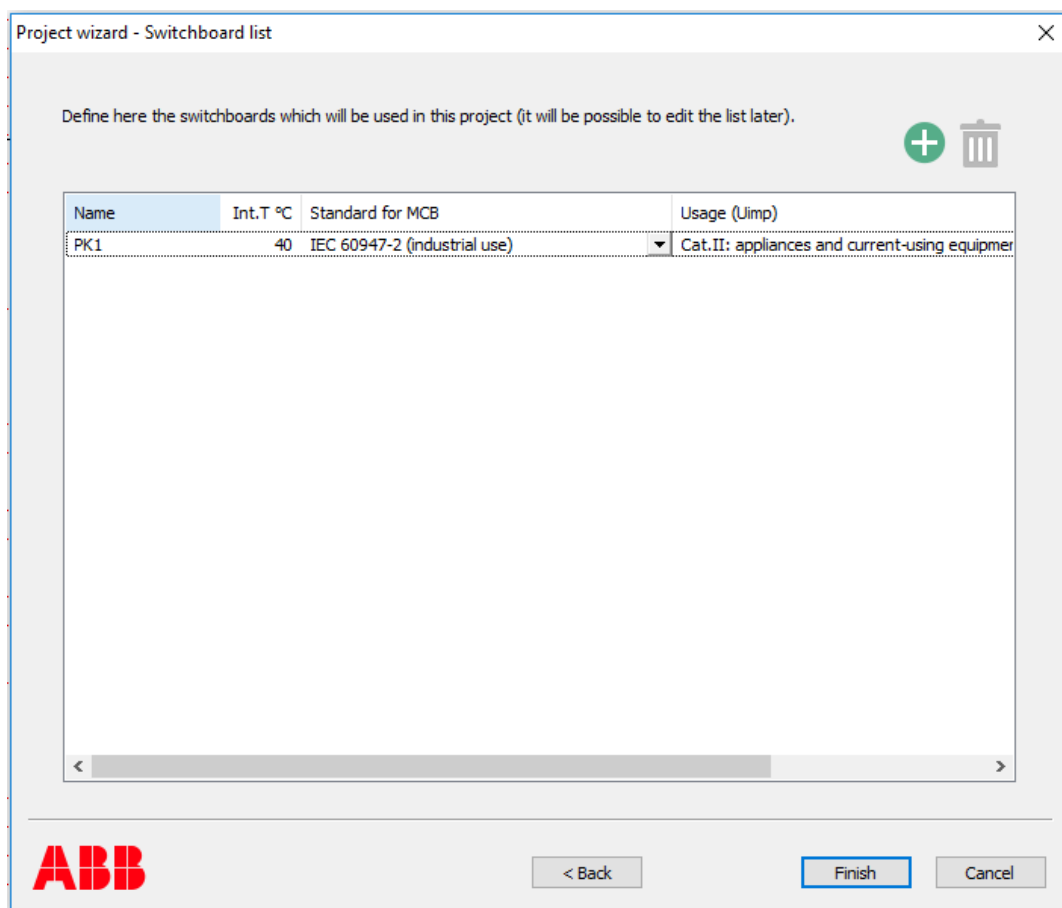
[V] [Hz]

 Options

ABB

Kuva 7. Power supply MV

Käytetään tässä työssä kuvan 7 mukaisia arvoja. Painamalla Next päästään syöttämään mallinnuksessa käytettävät keskuskeskukset.



Kuva 8. Switchboard list

Lisätään projektiin yksi pääkeskus painamalla vihreää plus -painiketta ja nimeämällä keskus PK1 nimellä.

Lopuksi voidaan painaa Finish -nappia ja aloittaa verkon mallintaminen.

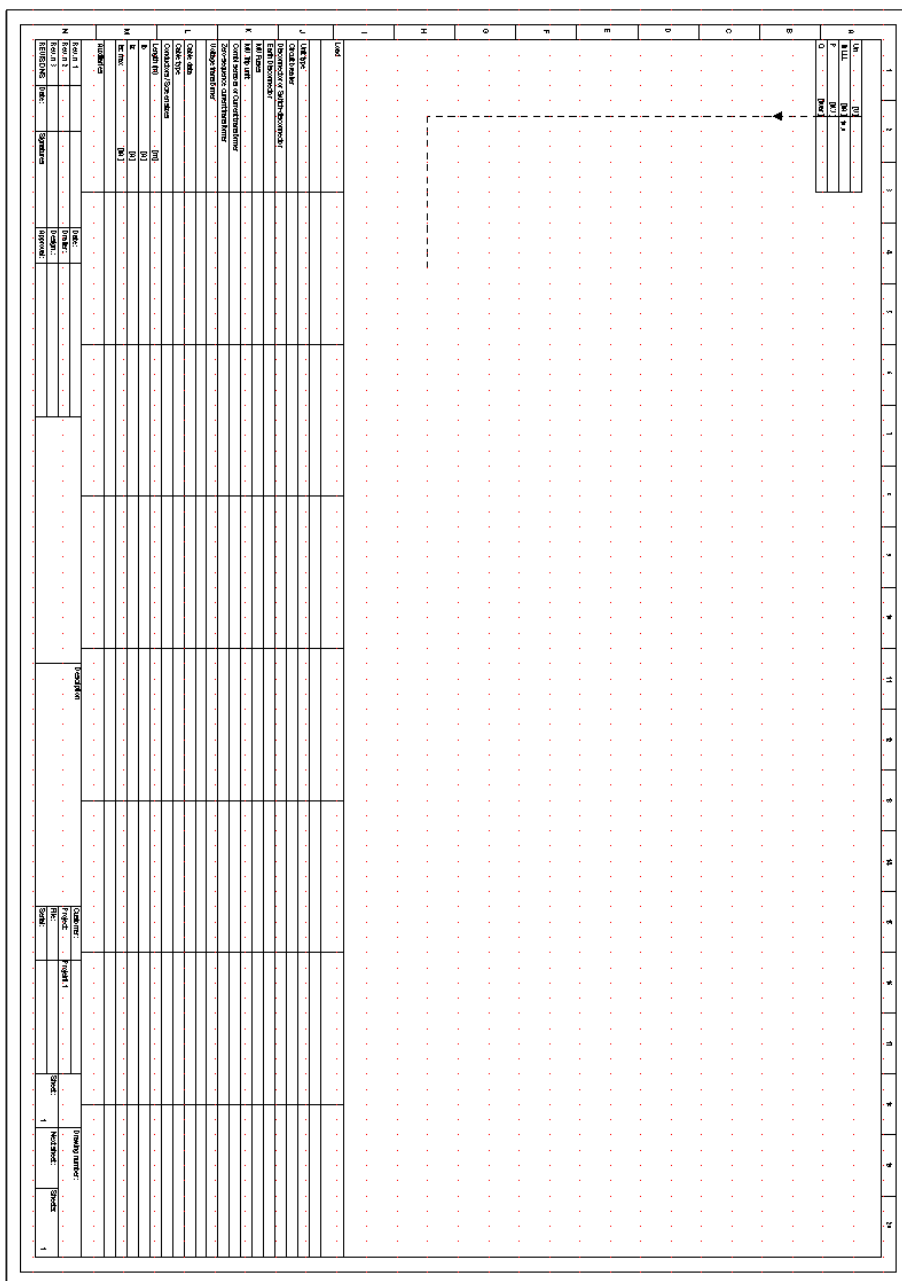
3. VERKON MALLINTAMINEN

DOC:lla verkon mallintaminen on hyvin yksinkertaista. Tässä osiossa tutustutaan verkon mallintamisessa tarvittaviin työkaluihin ja toimintoihin. Mallinnus tehdään kahdessa vaiheessa, ensin mallinetaan keskijänniteverkon osat ja sen jälkeen pienjänniteverkon.

3.1 Keskijänniteverkko

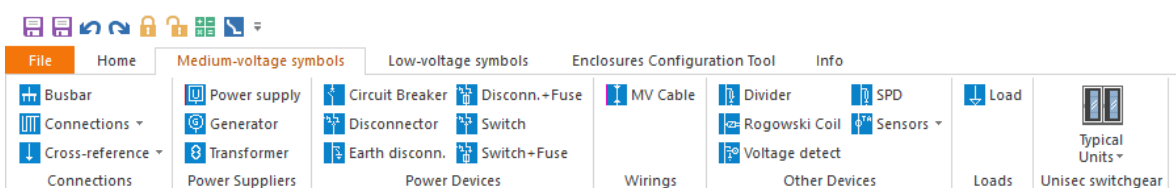
Finish-napin painalluksen jälkeen näkyviin saadaan valmis piirustus pohja, jossa on teholähde jo valmiiksi mallinnettuna. Aloitetaan mallintaminen mallintamalla ensin keskijänniteverkon osat.

Oletuksena DOC:ssa on auki työkalurivillä Home-välilehti. Valitaan aktiiviseksi Medium-voltage symbols, mistä löytyvät kaikki keskijänniteverkon mallintamiseen tarvittavat symbolit.



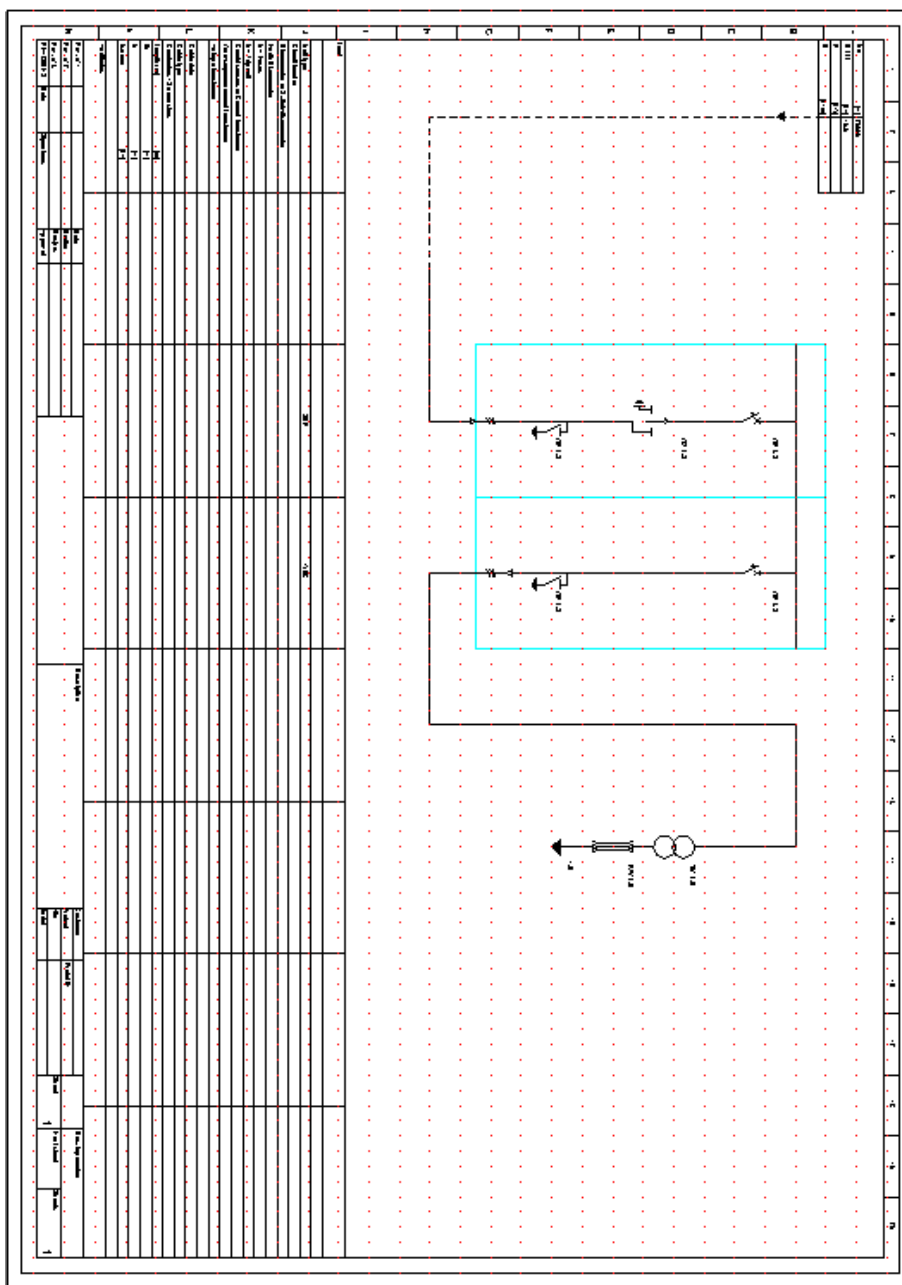
Kuva 9. Tyhjä piirustusohja

Typical units -valikosta löytyvät yleisimmät ABB:n tarjoamat kennokeskusrakenteet. Valitaan täältä nousukentäksi esim. SBR (Reversed feeder unit) ja muuntajalle lähdeksi esim. WBC (Unit with withdrawable circuit-breaker), lisätään tälle arkille myös muuntaja ja sen jälkeen kiskosilta (busway).



Kuva 10. Medium-voltage symbols - valikko

Komponentit täytyy yhdistää toisiinsa Connections-valikon Connection-työkalun avulla. Buswayn loppuun laitetaan Cross-reference start, minkä avulla voidaan jatkaa mallintamista seuraavalle arkille.



Kuva 11. Valmis MV-verkko

Kun keskijänniteverkko on mallinnettu, on syytä nimetä piirtopohjalle asetetut komponentit. Tämä onnistuu tuplaklikkaamalla piirtopohjassa olevaa piirtomerkkiä.

Nimetään sekä nousujohdon komponentit, että muuntajälähdön komponentit. Komponenttien nimeäminen helpottaa lopussa tehtävää tulosten analysointia. Myös verkon kaapeleille täytyy antaa jokin mitta.

Jos haluaa mallintaa jo olemassa olevan verkon, täytyy varmistua siitä, että jokaisen laskentaan liittävä komponentin munalukko-kuvake tulee klikattua kiinni. Tämä estää DOC:in automaattisen komponentin valintatoiminnon ja laskenta tehdään käyttäjän valitsemilla komponenteilla.

Unit properties

MV cable (-WC1.3) MV Earth-Disconnect (-QE1.3) MV circuit-breaker (-QF1.3)

Description


I_B [A] LLL [V]
 $\cos\phi$ IT [Hz]

Ambient temperature [°C]
 Maximal dU% allowed [%]

Length [m]

Three cores
 XLPE - 65°C Cu

Installation method
 In the ground
 Cables in pipes



Phase x [mm²] I_z [A]
 K_t dU [%]

Further results
 Reduction factors
 Short circuit currents

Symbol Advanced options

ABB

Kuva 12. Nousukentän nimeäminen

Kuvan 12 valikosta suoritetaan myös kyseisen kaapelin lähtötietojen valinta. Kaapelille määritetään pituus, asennustapa ja johtimen materiaali. Phase-valinnan vieressä olevan valinnan avulla voidaan määrittää kaapelille haluttu poikkipinta-ala. Ensimmäisellä valikolla valitaan, johtimien lukumäärä vaihdetta kohden. Toisessa valikossa valitaan yksittäisen vaihejohtimen poikkipinta-ala.

MV cable (-WC1.2)

MV cable

Description Nousukenttä

I_s [A] LLL 20000 [V]
 $\cos\phi$ IT 50 [Hz]

Ambient temperature 20 [°C]
 Maximal dU% allowed [%]

Length 100 [m]
 Three cores
 XLPE - 65°C Cu

Installation method
 In the ground
 Cables in pipes

Phase 1 x 16 [mm²]
 I_z [A]
 K_t
 dU [%]

Further results
 Reduction factors
 Short circuit currents

Symbol IN Advanced options

ABB OK Cancel

Kuva 13. Muuntajälähdön nimeäminen

Tämän syötetään muuntajan lähtötiedot. Tuplaklikkaamalla muuntajan kuvakkeesta saadaan muuntajan "tyyppikilpi" esille. Kiikareita klikkaamalla voidaan etsiä ABB:n kirjastosta muuntajavaihtoehtoja.

Kuva 14. Muuntajan lähtötiedot

Rakennetaan oma muuntaja syöttämällä arvot muuntajalle ja valitaan tämän jälkeen munalukko aktiiviseksi. Primary kohtaan tulee ensiöpuolen tiedot, Secondary kohtaan toisiopuolen tiedot.

Valitaan Voltage regulator laatikko aktiiviseksi, näin voidaan lisätä muuntajaan jännitteensäädin ja sille ylä- ja alarajat sekä yhden säätöaskeleen arvo.

Rated power -kohtaan valitaan muuntajan nimellisteho. Losses -kohtaan asetetaan muuntajan häviöt prosentteina (Help-napin alta voi häviötehon syöttää todellisena tehona). Vcc% -kohtaan laiteaan oikosulkuimpedanssi Z_k .

Busway

Description: BW 1

I_b [A]: [] LLLN [] 400 [V]

$\cos\phi$ [] TN-S [] 50 [Hz]

Ambient temperature: 30 [°C]

Maximal dU% allowed [] [%]

Cable Busway

Length: 5 [m]

Neutral size = 100% Phase size

PE in case [] Cu []

Suggested: 160A Cu Busway

$I:$ 169.6 [A]

K_t 1.00

dU 0.00 [%]

Further results

Reduction factors

Short circuit currents

ABB

OK Cancel

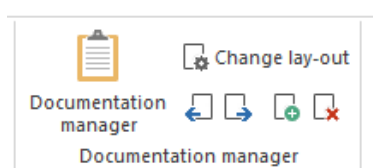
Kuva 15. Busway

Buswaylle suoritetaan valinnat samoin kuin muillekin komponenteille. Kiskosilloille on myös annettava jokin pituus.

Kun nämä vaiheet on tehty, voidaan siirtyä pienjänniteverkon mallintamiseen.

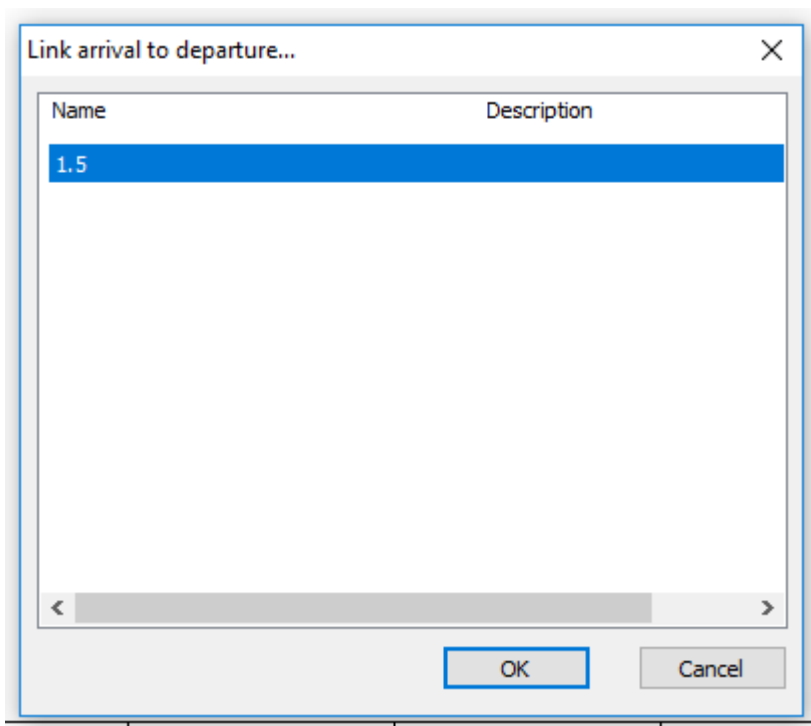
3.2 Pienjänniteverkko

Aloitetaan mallintaminen lisäämällä projektiin uusi piirustusarkki, tämä tapahtuu Home välilehden alta löytyvän Documentation manager -valikon toimintoja käyttämällä. Hammasratasta painamalla voidaan nykyisen sivun layoutia muuttaa halutuksi. Nuolilla siirrytään piirustusarkista toiseen, rastilla poistetaan nykyinen sivu, ja plus painikkeella lisätään uusi sivu.



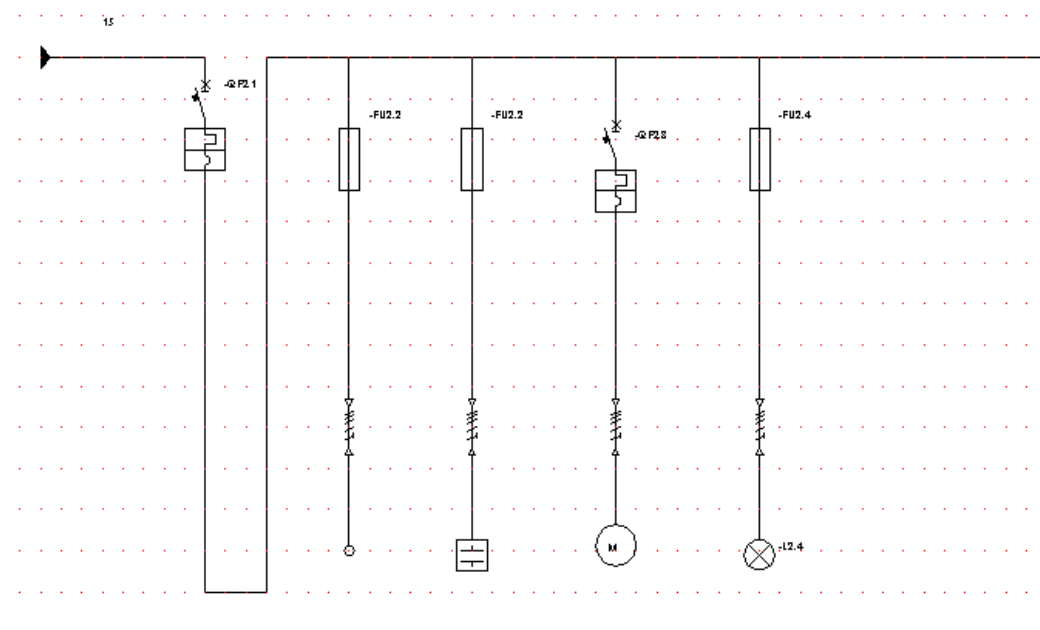
Kuva 16. Documentation manager.

Lisätään arkkiiin Cross-reference end, minkä avulla DOC luo yhteyden edelliseen cross-referenceen. Cross-reference endin lisäämisen jälkeen täytyy cross-referencet linkittää toisiinsa. Valitaan valinta aktiiviseksi ja painetaan OK.



Kuva 17. Cross-reference link.

Pienjänniteverkon mallintamiseen tarvittavat työkalut löytyvät Low-voltage symbols välilehden alta. Lisätään piirustukseen keskuksen PK1 pääkytkin, tämän voi tehdä klikkaamalla valikon Main auki ja valitsemalla esim. katkaisijan ylikuorma- ja oikosulkusuojalla. Tuplaklikkaamalla saa katkaisijan ominaisuudet auki. Nimetään katkaisija ja määritellään tasoksi PK1.



Kuva 18. Valmis verkko

Verkon rakentaminen tapahtuu käytännössä samoin kuin keskijännitepuolellakin. Kuvan 18 verkkoon lisätään muutamia sulakkeita, katkaisija, kaapelit ja kuormat.

Komponentit ja lähdöt samoin kuin aikaisemmassakin kohdassa. Nimeäminen helpottaa tulosten tulkitsemista jälkeen päin.

Kuva 19. Kuorman syöttökaapelin valinnat.

Kaapeleiden asetellut tapahtuvat tässäkin vaiheessa jo tutulla tavalla. Asetellaan kaapelille halutut lähtöarvot, lisätään myös kaapelin pituus.

Kuva 20. Kuorman syötön valinnat.

Syötöt nimetään esim. F1, F2... F4. Suojalaitteita ei tarvitse valita itse vaan DOC valitsee kuormalle sopivimman automaattisesti. Olemassa olevaa verkkoa laskiessa, suojalaitteiden valinta tehdään Select-valikosta. Valinta lukitaan munalukko-kuvakkeen avulla.

Syötön päässä olevan kuorman arvot määritellään tuplaklikkaamalla kuorman kuvaketta.

Nyt kun mallintaminen ja kaikki tarvittavat asettelut on tehty, voidaan siirtyä itse laskentaan.

4. VERKOSTOLASKENTA JA RAPORTIN TULOSTAMINEN

Yksi DOC:n hienouksista on siinä, että sen avulla voi simuloida erilaisia tilanteita verkossa jättämällä osan verkosta laskematta. Esim. jos verkossa on kaksi syöttävää muuntajaa kahdelle eri pääkeskukseksi, voidaan toisen muuntajan vikatilanne simuloida jättämällä toinen muuntaja laskennasta pois ja yhdistämällä keskusten kiskot toisiinsa kiskokatkaisijan avulla ja selvittää mm. yhdellä muuntajalla tehonjako ja verkon toimivuus.

Scenarios-valikon alta on mahdollista valita laskennassa huomioon otettavat solmupisteet. Tässä tapauksessa halutaan selvittää koko verkon tilanne.



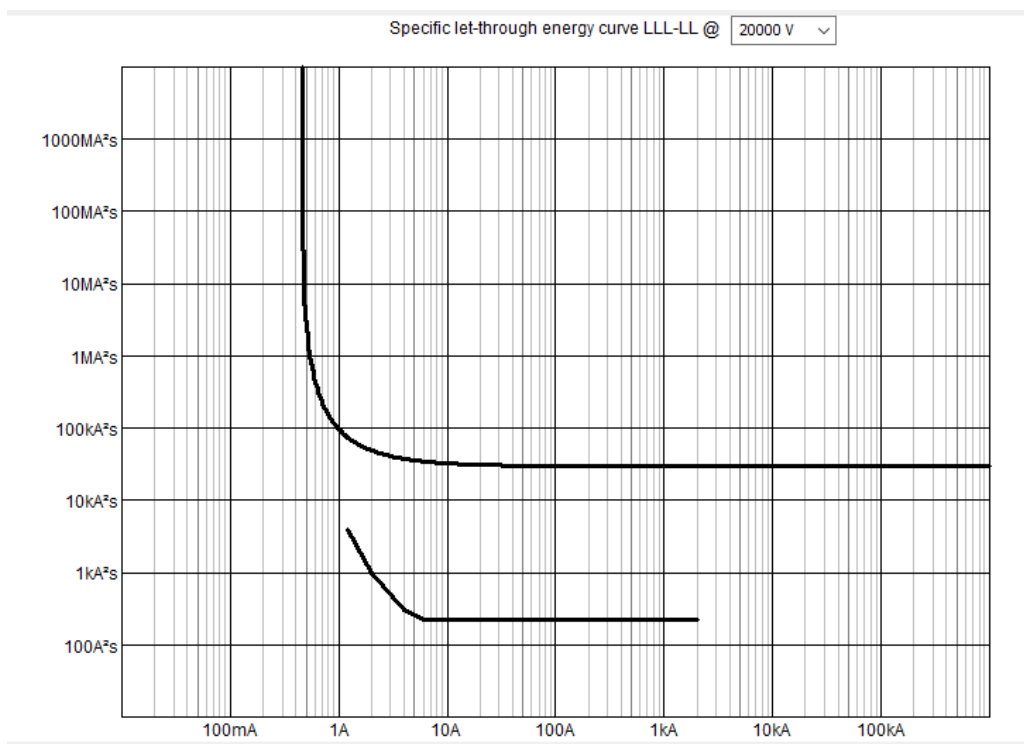
Kuva 21. Laskentaan tarvittavat työkalut.

Computea painamalla aloitetaan laskenta. Kuitataan mahdolliset huomautukset ja odotetaan, että laskenta on suoritettu.

Curves-valikon alta voidaan nopeasti tarkastaa yksittäisen lähdön ylikuorma- ja oikosulkusuojausten toimivuus. Suojauksen toteutuessa hyväksytysti sovellus ilmoittaa suojattavan kohteen perässä mustalla OK, muissa tapauksissa punaisella FAILED.

Tarkempaa suojauksen toimivuuden tulkintaa varten DOC antaa kustakin suojalaitteesta käyrän, joka esitetään ajan ja virran suhteessa (Time-Current diagram (I-t)). Esim. tarkastellessa yksittäisen kaapelin oikosulkusuojauksen toimivuutta, DOC piirtää kaksi eri käyrää, katkaisijan läpi tuleva energia (I^2t) ja suurin mahdollinen energia mitä kaapeli kestää (K^2S^2). Ohjelma tarkistaa, että nämä kyseiset käyrät eivät pääse risteämään standardin määrittelemällä virta alueella. (ABB, 2017)

Normaalitilassa kaapelin energiakäyrä on siis suojalaitteen energiakäyrän yläpuolella.



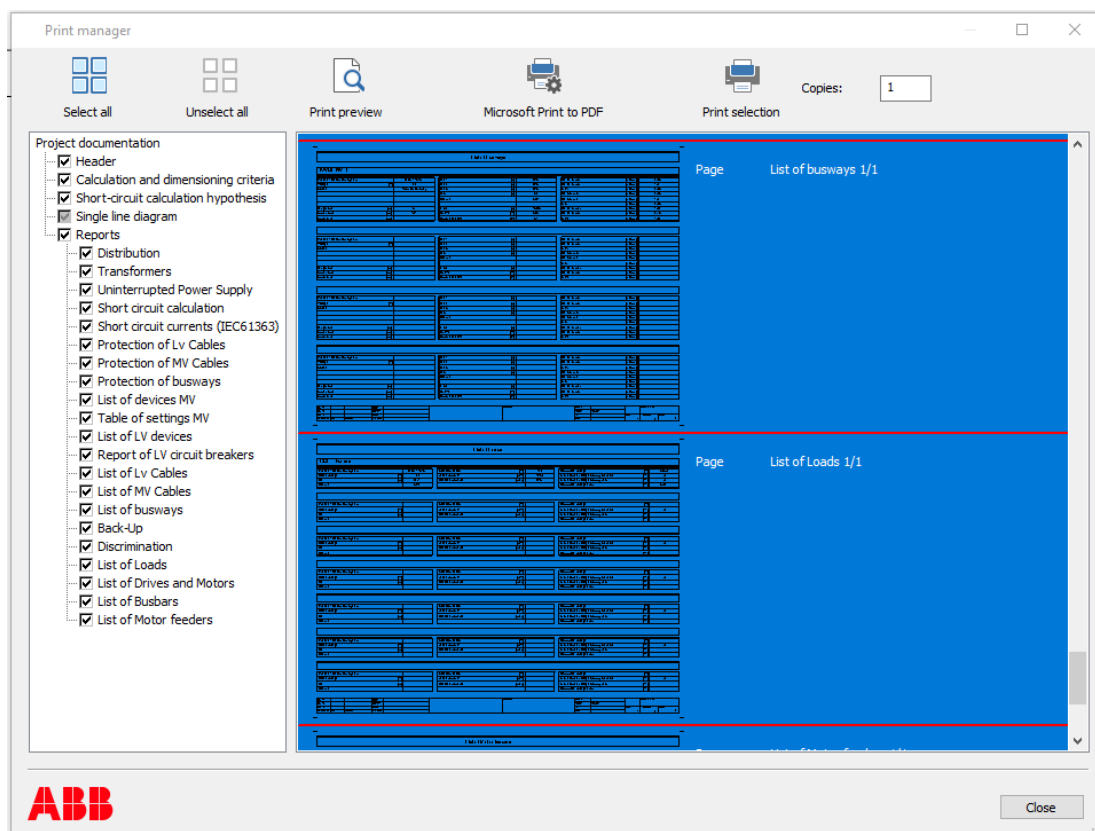
Kuva 22. Curves, oikosulkusuojauksen energiakäyrä

Suunnitelman suojausten toteutumisen varmentumisen jälkeen, voidaan tulostaa laskennan raportti pdf-muotoon. Tämä tapahtuu vasemmassa yläkulmassa olevan File-valikon alta löytyvän Print manager -työkalun avulla.

Tulosten tulostamista varten valitaan siis:

File > Print > Print manager > Valitaan vasemmalta valikosta: reports > Valitaan ylhäältä vasemmalta: Select all ja lopuksi valitaan oikealta Print selection.

Jos halutaan tulostaa raportista pienempiä osia, voidaan raportin muita osia jättää tulostuksesta pois kuvassa 23 näkyvän vasemman reunan valikon avulla.



Kuva 23. Print manager

LÄHDELUETTELO

ABB. (2017). *ABB DOC*. Haettu 15. 2 2017 osoitteesta ABB: <http://new.abb.com/low-voltage/launches/selectivity/tools-support/doc>

ABB. (2017). *DOC - the ABB desing software*. Noudettu osoitteesta <http://new.abb.com/low-voltage/launches/selectivity/tools-support/doc>

ABB. (2017). *DOC User Manual*. Noudettu osoitteesta ABB: https://library.e.abb.com/public/a7a540898e0685bdc1257e1a0048b3ef/DOC_UserManual_EN_SLD.pdf