



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tapio Heikki Kotola

18V46-DIESELVOIMALAITOSTEN
KESKIJÄNNITEJÄRJESTELMÄN KUS-
TANNUSSELVITYS

Tekniikka ja liikenne

2010

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin Vaasan ammattikorkeakoulun Tekniikan ja liikenteen yksikön sähköosastolla kevään 2010 aikana. Työn toimeksiantaja oli Citec Engineering Oy ja työssä aiheena on 18V46-dieselveimälaitosten keskijännitejärjestelmän kustannus selvitys.

Työtä valvoivat Citec Engineering Oy:stä sähköosaston johtaja Ronny Svartsjö ja Vaasan ammattikorkeakoulusta yliopettaja Kari Jokinen. Kiitän heitä saamastani tuesta ja neuvoista opinnäytetyöni suorituksessa.

Vaasassa 2.6.2010

Tapio Kotola

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Tapio Kotola
Opinnäytetyön nimi	18V46-Dieselvoimalaitosten keskijännitejärjestelmän kustannusselvitys
Vuosi	2010
Kieli	suomi
Sivumäärä	54 + 11 liitettä
Ohjaaja	Kari Jokinen

Tämä opinnäytetyö käsittelee 18V46-dieselvoimalaitosten keskijännitejärjestelmän mitoittamista ja tehtyjen valintojen vaikutusta keskijännitejärjestelmän kustannuksiin. Työ tehtiin Citec Engineering Oy:lle, ja sen tavoitteena oli selvittää 18V46-dieselvoimalaitosten keskijännitejärjestelmien kustannuksia tutkimalla kahden eri generaattorivaihtoehdon mukanaan tuomia kustannuksia kaapeli-, kojeisto- ja muuntajavalinnoissa. Työn tuloksena oli tarkoitus saada Excel-pohjainen kustannustaulukko.

Generaattorit tuottavat yhtä suuren tehon toisiinsa nähden, mutta niiden nimellisjännitteet ja nimellisvirrat eroavat toisistaan. Vaihtoehtoina ovat 11 kV ja 15 kV generaattorit 50 Hz taajuudella. Mitoituksen kannalta näiden kahden vaihtoehdon selkeä eroavaisuus tulee niiden tuottamissa vaihe- ja oikosulkuvirroissa 15 kV nimellisjännitteisellä generaattorilla niiden ollessa 11 kV generaattorin arvoja pienempiä. Tämä mahdollistaa 15 kV jännitteellä useamman generaattorin yhdistämisen samaan keskijännitekojeistoon, joten tällöin saatetaan säästää kojeistokohteisissa muuntajakustannuksissa ja kojeistojen kustannuksissa. Lisäksi 15 kV jännitteellä kaapelointikustannukset pienenevät merkittävästi, koska vaihevirrat ovat pienempiä ja näin ollen johtavaa poikkipintaa tarvitaan vähemmän.

Työssä mitoitettiin viidelle eri voimalaitoskoolle keskijännitekojeistot, keskijännitekaapelit, omakäyttömuuntajat ja päämuuntajat molemmilla generaattorivaihtoehdoilla. Mitoitusten perusteella tehdyn kustannustaulukon mukaan voidaan nähdä tutkittujen voimalaitoskokojen osalta kannattavimmat generaattorivaihtoehdot.

Asiasanat Keskijännitejärjestelmä, generaattori, nimellisjännite

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
 UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
 Sähkötekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Tapio Kotola
Title	Cost Research of Medium Voltage System of an 18V46 Diesel Power Plant
Year	2010
Language	Finnish
Pages	54 + 11 Appendices
Name of Supervisor	Kari Jokinen

This project was commissioned by Citec Engineering Oy in Vaasa. The aim of the study was to do a research which included five different sizes of 18V46 diesel power plants with two different types of generators. The studied sizes of power plants were with two, four, six, eight and twelve engines. The choice of the generator affects medium voltage cabling, medium voltage switchgears and the transformers in the power plant. The actual objective was to create an Excel-based cost calculation table which calculates the significant costs that the two generator options come along with.

Generators with 11 kV and 15 kV nominal voltages were the two generator options. The two generators have the same nominal power, but the nominal voltages and currents are the differential. This affects the medium voltage switchgears configuration, because of the short circuit and nominal currents capacity of the switchgears. Short circuit and nominal currents were calculated with Citecs Shortie-calculation program. Shortie gave the required information to choose the medium voltage switchgear. This led to different cable and transformer selections. The medium voltage cables were chosen with Citecs Cable Calculator and the transformers were chosen according to needed power and nominal voltages.

The cost calculation table was made according to those selections for all of the five sizes of 18V46-power plants. The cost calculation table gives the results from where the more profitable generator option can be seen. According to the cost calculation table, it is more profitable to use 15 kV generators in four, eight and twelve generator power plants.

Keywords Medium Voltage System, Generator, Nominal Voltage

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

18V46	Moottorityyppi, jossa luku 18 tarkoittaa sylintereiden määrää moottorissa, V-kirjain tarkoittaa, että sylintereitä on kaksi yhdeksän sylinterin riviä ja luku 46 tarkoittaa yhden sylinterin halkaisijaa.
SCR	Selective Catalytic Reduction, eli se tarkoittaa valikoitua katalyyttistä pelkistystä. Polttonesteen palaessa moottorissa syntyvät typpioksidit pelkistyvät SCR-suodattimessa vaarattomaksi typeksi ja vedeksi.
VA	näennäistehon yksikkö
IEC	sähköalan kansainvälinen standardisoimisjärjestö
V	voltti
°C	celsiusaste
W	watti
A	ampeeri
Hz	hertsi
$\cos\varphi$	tehokerroin
X_d''	suhteellinen alkuoikosulkureaktanssi
$Z_k\%$	suhteellinen oikosulkuimpedanssi

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET	5
1 JOHDANTO	8
2 CITEC ENGINEERING OY:N YRITYSESITTELY	9
2.1 Historia	9
2.2 Engine Power	10
3 18V46-DIESELVOIMALAITOSTEN TEKNISET YKSITYISKOHDAT ..	11
3.1 Yleistä.....	11
3.2 Voimalaitoksen keskijännitejärjestelmän mitoittaminen	13
3.3 Generaattoreiden, muuntajien ja kojeistojen mitoitus	14
3.4 Kaapeleiden mitoitus Cable Calculator-ohjelmalla.....	16
3.5 Generaattorit	20
3.6 Päämuuntajat	21
3.7 Omakäyttömuuntajat	22
3.8 Keskijännitekaapelit	24
3.9 Keskijännitekojeistot	24
4 OIKOSULKU- JA VAIHEVIRTOJEN LASKENTA	26
4.1 Oikosulkuvirtojen laskenta.....	26
4.2 Vaihevirtojen laskenta	31
4.3 Laskettujen virtojen ja generaattorijännitteen perusteella tehdyt mitoitukset ja päätelmät.....	32
5 VOIMALAITOKSIEN PÄÄKAAVIOT JA STANDARDI-LAYOUTIT	35
5.1 2x18V46 pääkaaviot ja standardi-layout	35
5.2 4x18V46 pääkaaviot ja standardi-layout	37
5.3 6x18V46 pääkaaviot ja standardi-layout	39
5.4 8x18V46 pääkaaviot ja standardi-layout	40
5.5 12x18V46 pääkaaviot ja standardi-layout	41

6	TALOUDELLINEN TARKASTELU.....	43
6.1	Yleistä.....	43
6.2	Vertailun tulokset	45
6.3	2x18V46-voimalaitoksen kustannusvertailu	46
6.4	4x18V46-voimalaitoksen kustannusvertailu	46
6.5	6x18V46-voimalaitoksen kustannusvertailu	47
6.6	8x18V46-voimalaitoksen kustannusvertailu	48
6.7	12x18V46-voimalaitoksen kustannusvertailu	48
6.8	Taloudellisen tarkastelun yhteenveto ja huomiot.....	49
7	YHTEENVETO	51
	LIITTEET	54

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää kahden, neljän, kuuden, kahdeksan ja kahdentoista 18V46-moottorin dieselvoimalaitosten keskijännitejärjestelmien kustannuksia tutkimalla kahden eri generaattorivaihtoehdon (11 kV ja 15 kV) mukanaan tuomia kustannuksia kaapeli-, kojeisto- ja muuntajavalinnoissa. Työn tekemiseen tarvittavat tiedot ovat kokemuseräisiä ja ne ovat peräisin työn valvojalta Ronny Svartsjöltä sekä opinnäytetyön tekijältä työkokemusten perusteella. Työn tuloksena saadaan Excel-pohjainen kustannustaulukko. Excel-taulukko antaa tuloksena kahdella eri generaattorijännitteellä lasketut kaapelointikustannukset, muuntajakustannukset ja kojeistokustannukset. Tuloksen avulla voidaan ymmärtää eri vaihtoehtot ja riippuvuudet kahden eri keskijännitetason välillä.

Tutkimuksessa otetaan huomioon seuraavat asiat:

- generaattorin koon kasvaessa kasvava hankintahinta
- generaattoreiden lisääntyessä muuttuvat kaapelointien etäisyydet
- jännitetason vaikutus generaattorilta keskijännitekojeistolle menevien kaapeleiden valintoihin ja kaapelointikustannukset
- jännitetason vaikutus keskijännitekojeistojen kustannuksiin
- jännitetason vaikutus keskijännitekojeistojen ja omakäyttömuuntajien välisiin kaapelointikustannuksiin
- jännitetason vaikutus omakäyttömuuntajien kustannuksiin
- jännitetason vaikutus keskijännitekojeistojen ja päämuuntajien välisiin kaapelointikustannuksiin
- jännitetason vaikutus päämuuntajien kustannuksiin
- työssä ei oteta huomioon kolmikäämimuuntajan vaihtoehtoa vaan käytetään pelkästään kaksikäämimuuntajia päämuuntajina
- laskelmien pohjina käytetään voimalaitoksista laadittuja standardilayoutteja, joiden optimaalisuuteen otetaan myös kantaa.

2 CITEC ENGINEERING OY:N YRITYSESITTELY

2.1 Historia

Citec perustettiin vuonna 1984 Rune Westergårdin ja Rolf Bergin toimesta. Westergård ja Berg tapasivat toisensa 70-luvun lopulla opiskellessaan Vaasassa insinööriksi. Pohjatyo opintojen jälkeen perustetulle yritykselle tehtiin Westergårdin työskennellessä kesätöissä konetekniikan yrityksessä suunnittelijana. Opiskelujensa jälkeen Westergård meni oman yrityksen perustamishaaveista huolimatta töihin jo olemassa olevaan yritykseen. Vuonna 1984 vanhat koulukaverukset päättivät luoda insinööriyrityksen nimeltä Tri-Technic. Alussa Berg oli yrityksen ainut työntekijä ja Westergård auttoi sivummalla.

Ensimmäinen iso työtilaus tuli yritykseltä nimeltä KWH. Vuonna 1989 Westergård päätti keskittyä täysin omaan yritykseensä ja hän otti tehtäväkseen myynnin hoitamisen. Ystävykset päättivät liittyä Aveconiin eli yritykseen, joka oli Vaasan alueella yhteinen nimitys usealle pienemmälle insinööritoimistolle. Aveconin aikana Citec kasvoi niin paljon, että se päätettiin lopulta ostaa ulos Aveconista. Vuonna 1994 yritys sai nykyisen Citec-nimensä ja uusi aikakausi alkoi. Samoihin aikoihin syntyi myös Citec Enviromental, jonka toiminta on tosin nykyään osa Citec Engineeringiä.

Nopea kasvu jatkui vuosituhaten vaihteeseen asti ja vuonna 2000 Nokia Networks ulkoisti teknisen informaatio-osastonsa Citecille. Tämä osasto kasvoi voimakkaasti ja siitä tuli erillinen yritys vuonna 2001. Vuonna 2003 nähtiin seuraava suuri ulkoistus, kun Wärtsilä siirsi yli 50 työntekijäänsä Citecille. Citec engineering jatkoi vahvaa kasvuaan, toiminta Intiassa alkoi vuonna 2003 ja nykyään neljäsosa Citecin työntekijöistä on sijoitettu Intiaan.

Vuosi 2008 oli ennätysellinen Citecille monella tavoin. Liikevaihto ja työntekijöiden määrä oli suurempi kuin koskaan. Nykyään Citec muodostuu kahdesta yrityksestä, Citec Engineering Oy:stä ja Citec Information Oy:stä. Citec Information tekee käytännössä dokumentointia ja Engineering suunnittelua. Citec Engineerin-

gin suurin yksittäinen työllistäjä on Wärtsilä voimalaitosprojekteineen, mutta Citecillä suunnitellaan myös esimerkiksi erilaisia rakennuksia ja junan vaunuja Oulun toimipisteessä. Tämä opinnäytetyö on tehty Citec Engineering Oy:lle ja nimenomaan Engine Powerille, eli voimalaitossuunnittelulle.

2.2 Engine Power

Citec Engineering Oy:n Engine Power-osasto hoitaa voimalaitosprojektien suunnittelun niin mekaanisella, rakennus-, prosessi- kuin sähköpuolellakin. Mekaanisen puolen suunnittelijat vastaavat mm. moottorihallin laitteista ja putkistoista, rakennussuunnittelijat voimalaitosalueen rakennuksista ja perustuksista, prosessipuolen suunnittelijat vastaavat esim. virtauskaavioista ja sähköpuolen suunnittelijoille kuuluvat esimerkiksi laitteiden mitoitukset, kaapeloinnin suunnittelu ja kojeistovalinnat.

Asiakkaan osoittaessa kiinnostusta Wärtsilän voimalaitosta kohtaan tehdään Citecin toimesta ns. myynti-layout, johon kootaan kaikki mahdollinen oleellinen lähtötieto. Tämän layoutin perusteella tehdään tarjouslaskenta ja asiakas päättää sen perusteella tilaako voimalaitoksen Wärtsilältä. Mikäli asiakas tekee ostopäätöksen, projektista tulee ns. ”operatiivinen projekti”, jolloin sille määrätään projekti-johto ja suunnittelun koordinaattorit. He puolestaan ohjaavat suunnittelua asiakkaiden toivomusten, Wärtsilän noudattamien standardien ja Citecin omaaman ammattitaidon mukaan eteenpäin.

3 18V46-DIESELVOIMALAITOSTEN TEKNISET YKSITYISKOH-DAT

3.1 Yleistä

Citec Engineering Oy:n layout-suunnittelijat ovat suunnitelleet ns. standardi-layoutteja voimalaitoksista eli piirustuksia, joista nähdään koko voimalaitosalue ja tarkempina kuvantona myös itse voimalaitosrakennus sekä sen sisältö. Standardi-layoutteja käytetään pääasiallisesti pohjina piirrettäessä ensimmäistä kuvaa laitoksesta uudelle asiakkaalle, mutta huomioitavaa on kuitenkin se, että voimalaitokset ovat todellisuudessa usein erilaisia, johtuen asiakkaiden maa-alueista ja olemassa olevista rakennuksista sekä maakohtaisista määräyksistä. Nämä standardi-layoutit on suunniteltu siten, että voimalaitoksen rakennuskustannukset pysyisivät mahdollisimman alhaisina, joten suunnittelussa on otettu huomioon niin mekaanisen, rakennus- kuin sähköpuolenkin asiat.

18V46-voimalaitosten layout-piirustuksista saa selvyuden katsomalla esimerkiksi neljän moottorin voimalaitoksen layouttia (LIITE 2). Piirustuksen vasemmassa reunassa näkyy portti voimalaitosalueelle, jonka kautta tapahtuu kaikki kulku voimalaitosalueelle tai sieltä pois. Voimalaitoksen käyttämää polttoainetta tuovat tankkiautot ajavat sisään tästä samasta portista ja jatkavat matkaansa pumppuasemalle, jossa polttoaine pumpataan tankkiautosta isoon polttoainetankkiin. Tankkiautot jatkavat tyhjennyksen jälkeen matkaansa kääntymällä vasemmalle ja kiertämällä ns. varastotankkialue, jolloin ne saapuvat samalle portille, josta tulivatkin sisään alueelle.

Polttoaine jatkaa matkaansa putkistoissa ensin varastotankkiin, josta se pumpataan myöhemmin polttoaineenkäsittelylaitoksen kautta päivätankkiin. Polttoaineen päivätankkialueella on paljon muitakin tankkeja. Esimerkkinä näistä voidaan mainita voiteluöljytankit. Polttoaine pumpataan päivätankista suoraan voimalaitosrakennuksessa oleviin moottoreiden polttoaineensyöttölaitteisiin. Laitteet säätelevät syötettävän polttoaineen määrää sähköisten ohjausten mukaan.

Moottorit tarvitsevat polttoaineen lisäksi myös oikean määrän happipitoista ilmaa optimaalisen palamisreaktion aikaansaamiseksi. Tämä taataan imuilmasuodattimilla, mitkä imevät ulkoilmaa, suodattavat sen ja puhaltavat edelleen eteenpäin moottoreiden turboille. Turbot annostelevat paineistettua ilmaa juuri oikean määrän suhteessa syötettyyn polttoaineeseen. Moottorin saatua polttoaineensa, ilmaansa, voiteluöljynsä ja sähköisen sytytyksensä, sen akseli alkaa pyöriä palamisreaktion voimasta. Tämä voima siirretään vauhtipyörän ja mahdollisen vaihteiston kautta pyörittämään generaattorin roottoria.

Palamisreaktion tuloksena saadaan siis generaattorin tuottamaa sähkötehoa, mutta myös pakokaasuja. Nämä pakokaasut johdetaan moottorista pakoputkiston kautta ulos moottorihallista. Pakoputkisto jatkaa ulkona matkaansa mahdollisen lämmön talteenoton kautta pakokaasujen piiput sisältävään tornirakennelmaan. Pakoputki liittyy tornissa olevaan äänenvaimentimeen, jonka läpi kuljettuaan kaasut päästetään taivaalle.

Asiakkaan niin halutessa, voidaan moottorihallin ulkopuolelle pakoputkistoon asentaa myös SCR-suodatin, joka poistaa suuren osan pakokaasujen sisältämistä haitallisista ainesosista. Tämä suodatin on kuitenkin kallis ja vaatii jatkuvaa huoltoa, joten ikävä kyllä, monet voimalaitoksia ostavat asiakkaat eivät sellaista halua siitä syntyvien kustannuksien vuoksi.

Moottorit tarvitsevat toimiakseen myös jäähdytystä. Jäähdytys tapahtuukin kiertämällä vettä moottorin lohkoissa ja kansissa olevissa vesikanavissa. Moottorissa kiertänyt kuuma vesi pumpataan moottorihallin katoilla oleviin radiaattoreihin. Vesi kiertää radiaattoreiden kennoissa ja radiaattoreiden puhaltimet jäähdyttävät kennoissa kiertävän veden, tämän jälkeen vesi lähtee kiertämään uudestaan moottoriin.

Layoutien kannalta mekaanisella puolella suurimpana yksittäisenä kustannustekijänä on putkistojen rakentaminen voimalaitosalueelle, rakennuspuolella tankkialueet ja voimalaitosrakennukset, sekä sähköpuolella kaapelointien etäisyydet, gene-

raattoreiden määrä ja muuntajat. Tämän vuoksi layouteissa. esimerkiksi polttoaineenkäsittelyrakennus on sijoitettu lähelle tankkialueita ja voimalaitosta putkitöiden minimoimiseksi. Pakoputkistot ovat mahdollisimman lyhyitä ja kaapelointimatkojen minimoimiseksi ohjauskeskukset sekä keski- ja pienjännitekojeistot sisältävä rakennus on sijoitettu voimalaitosrakennuksen, polttoaineenkäsittelyrakennuksen ja kytkinkentän läheisyyteen. Layout-suunnittelussa huomioon otettuja asioita on todella paljon, mutta tässä työssä keskitytään jatkossa pääasiassa vain sähköpuoleen liittyviin asioihin.

3.2 Voimalaitoksen keskijännitejärjestelmän mitoittaminen

Jokaiselle voimalaitokselle on tehtävä omat kustannuslaskelmansa layoutien kokoonpanojen muuttuessa. Laitoksen kasvava teho generaattoreita lisättäessä vaikuttaa paitsi laitoksen fyysiseen kokoon, myös esimerkiksi omakäyttömuuntajien ja päämuuntajien määrään, mitoitukseen, kaapelointien pituuksiin ja mitoitukseen sekä pienjännite- ja keskijännitekojeistojen kokoon ja valintaan. Kaikki kaapelit, kojeistot ja muuntajat pyritään aina mitoittamaan yritysten valmistamien standardituotteiden mukaisiksi, jotta kustannukset pysyisivät alhaisina ja toimitusajat lyhyinä.

Erikokoisilla voimalaitoksilla on kuitenkin paljon yhteisiäkin piirteitä, jotka johtuvat tehtyjen kustannuslaskelmien tuloksista. Esimerkiksi generaattoreiden keskijännitekaapelit kulkevat aina maan alla putkissa, omakäyttömuuntajien syöttökaapelit kaapelihyllyillä sähkötilojen asennuslattian alla ja päämuuntajien syöttökaapelit kaapelioidissa kaapelihyllyillä.

Tässä työssä oleellisena osana ovat ns. single line-piirustukset, joiden avulla voidaan kuvata voimalaitoksien sähköistys. Tarkastelemalla kahden 18V46-moottorin voimalaitoksen single line-piirustusta (LIITE 7) saa kuvan voimalaitoksen sähköistyksen kokoonpanosta.

3.3 Generaattoreiden, muuntajien ja kojeistojen mitoitus

Voimalaitosten sähköpuolen suunnittelussa on lähdettävä liikkeelle aina moottoreiden tuottamasta tehosta. Moottoreiden teho siirtyy akselin välityksellä generaattorille, minkä tuottama sähköteho on 18V46-voimalaitoksilla aina 21345kVA:ia generaattoria kohden. Generaattorin tuottaman tehon ja nimellisjännitteen perusteella saadaan vaihevirratt laskettua, joita käytetään olennaisena osana generaattorikaapeleiden ja keskijännitekojeiston kiskostojen mitoituksessa. Kun tiedetään generaattoreiden tuottama teho, verkon jännitetaso ja generaattoreiden nimellisjännite, voidaan valita laitokselle päämuuntaja, mikä olisi tässä tarkasteltavassa kahden moottorin tapauksessa 42690 kVA:n suuruinen.

Voimalaitoksen tuottaman kokonaistehon perusteella voidaan myös tehdä karkea mitoitus voimalaitoksen omakäyttömuuntajalle, joka mitoitetaan kokemusperäisesti hyväksi havaitulla kolmen prosentin säännöllä. Tällöin omakäyttömuuntaja mitoitetaan kolmen prosentin suuruiseksi laitoksen tuottamasta kokonaistehosta, eli kahden generaattorin tapauksessa on luonnollista valita esim. 1600 kVA:n muuntaja. Kuitenkin tapauskohtaisesti voimalaitosprojektien omakäyttömuuntajien mitoituksessa on otettava huomioon myös, esimerkiksi mahdollinen voimalaitoksen laajentaminen. Omakäyttömuuntajat ylimitoitetaankin usein mainitun laajennusvaran ja ylimitoituksesta aiheutuvan pienen lisäkustannuksen vuoksi tietoisesti.

Generaattoreiden ja muuntajien valintojen jälkeen voidaan mitoittaa keskijännitekojeisto. Generaattoreiden tuottamat vaihevirratt summautuvat keskijännitekojeiston pääkiskostossa, joten kiskostot voidaan mitoittaa vaihevirtojen perusteella. Keskijännitekojeiston oikosulkukestoisuus on myös otettava huomioon. Tässä työssä käytettiin Citec Engineeringin käyttämää Excel-pohjaista Shortielaskentaohjelmaa oikosulkuvirtojen laskentaan. Shortie tarvitsi lähtötietoina generaattoreiden määrän, yhden generaattorin tuottaman tehon, generaattorin suhteellisen alkuoikosulkureaktanssin, päämuuntajan nimellistehon, päämuuntajan suh-

teellisen oikosulkuimpedanssin, verkon oikosulkutehon sekä omakäyttömuuntajan tehon ja suhteellisen oikosulkuimpedanssin.

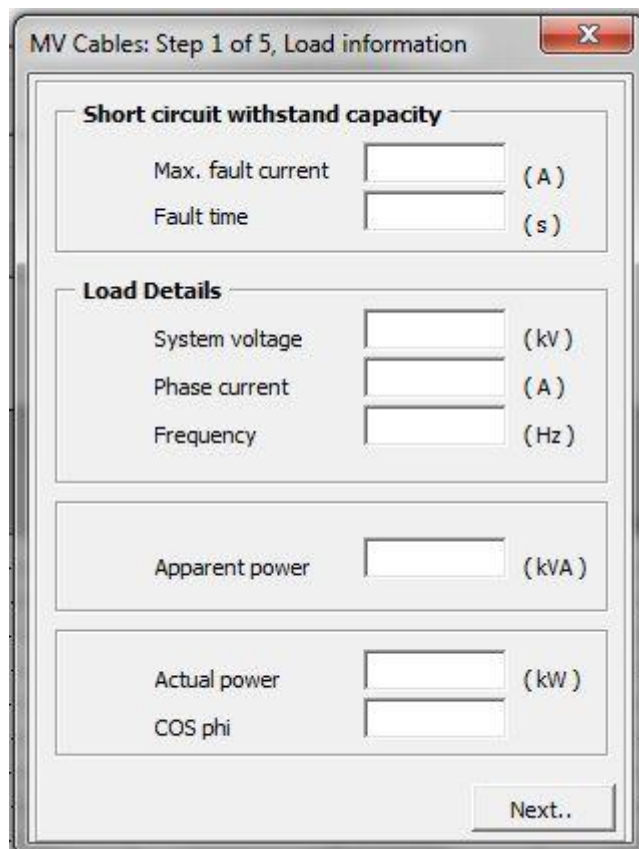
Tuloksena Shortie antaa keski- ja pienjännitekojeistojen alkuoikosulkuvirrat ja nimellisvirrat, joiden perusteella kojeistovalinnat oli helppo tehdä. Huomioitavaa on, että Shortie antaa laskelmien tuloksena alkuoikosulkuvirran, mikä vaikuttaa enemmän kojeistojen dynaamisen oikosulkukestoisuuden mitoitukseen, eikä niinkään suoranaisesti kojeistojen mitoituksessa myös käytettävään yhden sekunnin termiseen oikosulkuvirtakestoisuuteen. Generaattoreiden tapauksessa alkuoikosulkuvirrat ovat merkittävästi suurempia kuin pysyvän tilan oikosulkuvirrat. Toisin sanoen, kun kojeisto mitoitetaan alkuoikosulkuvirran mukaan on varmaa, että oikosulkukestoisuuden mitoitus on varmasti riittävä yhden sekunnin termisen oikosulkukestoisuuden osalta. Dynaamista oikosulkukestoisuutta ei ole huomioitu tässä työssä suoranaisesti vaan kojeistojen oletetaan kestävän myös dynaaminen oikosulkuvirta, koska sen suhde alkuoikosulkuvirtaan on vakio. Laskelmat on siis tehty karkealla tasolla ja kojeistot on mitoitettu suurpiirteisesti oikosulkukestoisuuden osalta. Voimalaitosprojekteissa tarkemmat oikosulkulaskelmat tehdään EDSA-laskentaohjelmalla, toisin kuin tässä opinnäytetyössä.

Generaattoreiden suhteellisten alkuoikosulkureaktanssien arvot saatiin jo rakennettujen voimalaitosten generaattoreiden manuaaleista. Muuntajien suhteelliset oikosulkuimpedanssiarvot saatiin työn valvojalta Ronny Svartsjöltä, joka tiesi ne kokemukseräisesti aikaisempien projektien perusteella. Voimalaitosprojekteissa muuntajien suhteelliset oikosulkuimpedanssit mitoitetaan tarkasti ja arvoihin voidaan näin ollen vaikuttaa, esimerkiksi keskijännitekojeistojen oikosulkuvirtojen vuoksi. Olemassa olevan verkon oikosulkuteho piti määrittää IEC60076-standardin mukaisesti taulukkoarvoista. Verkon jännitteeksi valittiin 145 kV Euroopan alueen verkoista ja taulukosta saatiin verkon oikosulkutehoksi S_k 10000 MVA Shortien laskelmiin.

3.4 Kaapeleiden mitoitus Cable Calculator-ohjelmalla

Generaattoreiden, päämuuntajan, omakäyttömuuntajan ja keskijännitekojeiston mitoituksen jälkeen oli mahdollista mitoittaa kaapelit voimalaitokselle. Kaapeleiden mitoitus tapahtui Citec Engineeringin Excel-pohjaisella Cable Calculator-ohjelmalla, jolla Citecillä mitoitetaan kaikki projektien keskijännite- ja pienjännitekaapelit.

Ohjelma tarvitsi esimerkiksi generaattorikaapeleilla lähtötietoina valitun keskijännitekojeiston oikosulkukestoisuuden, generaattorin jännitteen, generaattorin tuottaman tehon ja generaattorin tehokertoimen. Alla olevasta kuvasta voidaan nähdä Cable Calculatorin ensimmäinen tietojen syöttövaihe.



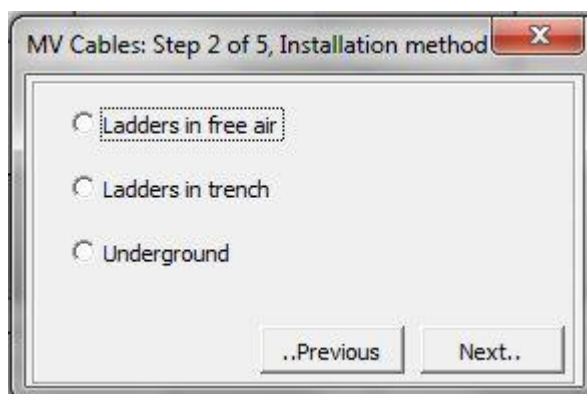
The screenshot shows a software window titled "MV Cables: Step 1 of 5, Load information". The window contains several input fields for technical specifications, organized into sections:

- Short circuit withstand capacity**
 - Max. fault current (A)
 - Fault time (s)
- Load Details**
 - System voltage (kV)
 - Phase current (A)
 - Frequency (Hz)
- Apparent power (kVA)
- Actual power (kW)
- COS phi

A "Next.." button is located at the bottom right of the window.

Kuva 1. Cable Calculatorin ensimmäinen tietojen syöttövaihe

Tämän jälkeen ohjelma kysyi asennustapaa, jolloin vaihtoehtoina oli maa-asennus, kaapelioidussa hyllyllä tai hyllyllä ilmassa. Generaattorikaapeleiden tapauksessa asennustapa oli maassa putkessa. Alla olevasta kuvasta nähdään Cable Calculatorin kysymä kaapeleiden asennustapa.



Kuva 2. Cable Calculatorin toinen tietojen syöttövaihe

Tämän jälkeen ohjelma laski loput tarvitsemansa arvot ja siirtyi seuraavaan vaiheeseen, jossa kysyttiin tiedot käytettävästä kaapelityypistä. Tässä vaiheessa olisi ollut mahdollista määrittää tarkkaan käytettävä kaapeli, jos sellainen olisi ollut tiedossa, mutta kun sitä ei ollut, se kohta jäi tyhjäksi. Ainoastaan jännitteen mukaan tuoma ehto kaapelin eristyksien suhteen oli täytettävä ja lisäksi keskijännitekaapeleiden tyyppinä käytettiin aina XLPE-eristeistä kaapelia. Seuraavasta kuvasta voidaan nähdä yllä kuvattu Cable Calculatorin kolmas tietojen syöttövaihe.

MV Cables: Step 3 of 5, Cable type

Rated voltage	8.7/15/17.5kV
Core type	Single core
Conductor material	Cu
Insulation material	XLPE
Screen	Copper wire braid
Armoring	Unarmoured
Outer Sheath	PVC
Conductor type	Compacted & stranded
Conductor size	
Part name:	15kV 2XSY
Part type:	rm/v

..Previous Next..

Kuva 3. Cable Calculatorin kolmas tietojen syöttövaihe

Seuraavana ja viimeisenä vaiheena ohjelma tarvitsi tiedot muista vastaavista samalle reitille asennettavista kaapeleista, putkitusten etäisyydet, kaapeleiden pituudet, maaperän lämpötilan ja maa-aineksen koostumuksen. Kahden moottorin voimalaitoksessa vastaavia kaapeleita tuli samalle reitille kaksinkertainen määrä, putkitusten etäisyydeksi riitti tässä tapauksessa 0,25 m etäisyys, kaapeleiden pituudet saatiin standardi-layoutista mittaamalla välimatkan generaattoreiden keskinjoista sähkötilojen seinään ja lisäämällä mittoihin aina 20 m. 20 metrin on laskettu riittävän kaapeleiden kytkentään molemmissa päissä, nousuihin ja laskuihin kaapelireiteillä sekä sähkötilassa kulkuun seinästä keskijännitekojeistolle.

Maaperän lämpötilana käytettiin Citec Engineeringin käyttämää referenssilämpötilaa 25 °C, mikä antoi kaapelin mitoituksen kertoimen 0,96 ja mitä käytetään jos lämpötila mitoitettavan voimalaitoksen alueella ei ole tiedossa. Maa-aineksen koostumuksena käytettiin puolikuivaa soraa, mutaa tai hiekkaa, mikä antoi mitoituskertoimeksi 0,93. Seuraavasta kuvasta nähdään yllä kuvattujen tietojen syöttö ja Cable Calculatorin ehdottama kaapelikoko.

MV Cables: Step 4 of 5, Correction factor

Data from Gorse Technical Data -manual

Cables in conduits Cables directly underground

TECHNICAL INFORMATION

CORRECTION FACTORS

b1 - cable laid in pipe, embedded in concrete or buried.

k1	REFERENCE CURRENT - CARRYING CAPACITY	
	single-phase	three-phase
	Column	
0.80	PVC	D
	XLPE	B

Copper : page 6 Aluminium : page 7

c1 - cables laid in contiguous pipes, in one or several layers, embedded in concrete or buried.
Reference current-carrying capacities are those defined in paragraph b1, bearing the coefficient 0.8. Pipes being contiguous, a K coefficient will be applied to those current-carrying capacities in accordance with the table below.

k2	Number of pipes in vertical position	Number of pipes in horizontal position					
		1	2	3	4	5	6
	1	1	0.87	0.77	0.72	0.68	0.65
	2	0.87	0.71	0.62	0.52	0.53	0.50
	3	0.77	0.62	0.53	0.48	0.45	0.42
	4	0.72	0.57	0.48	0.44	0.40	0.38
	5	0.68	0.53	0.45	0.40	0.37	0.35
	6	0.65	0.50	0.42	0.38	0.35	0.32

c2 - cables laid in spaced pipes, embedded in concrete or buried.
Reference current-carrying capacities are those defined in paragraph b1 bearing the coefficient 0.8. A K coefficient will be applied to those current-carrying capacities in accordance with the table below.

k3	Number of pipes	Distance between pipes		
		0.25 m	0.50 m	1.0 m
	2	0.93	0.95	0.97
	3	0.87	0.91	0.95
	4	0.84	0.89	0.94
	5	0.81	0.87	0.93
	6	0.79	0.86	0.93

3x3x(1x500), Copper, In conduits

Main page | Calculation steps | Comments

Correction factors

Ambient temperature: 0.96 25

Thermal resistivity: 0.93 1.2

k1: 0.8

k2: 0.77

k3: 0.93

Total correction factor: 0.5115

Circuit

Cables/Phase: 3

Ampacity: 810 A

Reduced: 414.3 A

Current/conductor: 373.4 A

Temperature: 78 °C

= Examined circuit

= Adjacent circuit

Suggest size

..Previous Next..

Kuva 4. Cable Calculatorin neljäs tietojen syöttövaihe ja ohjelman ehdottama kaapelikoko.

Näiden syöttötietojen antamisen jälkeen ohjelma laski oman ehdotuksensa kaapelikooksi. Ohjelma ehdotti usein turhan paksua kaapelia, mutta palaamalla aikaisempaan valikkoon ja määrittämällä kaapelin tiedot tarkemmin, näki loppuvalikkoon palatessaan valitsemallaan kaapelilla lasketut arvot ja näin pystyi valitsemaan kannattavin vaihtoehto. Tärkein ehto kaapelia valittaessa oli kaapelin kuorimituksesta ja jäähtymisestä muodostuva kaapelin lämpötila. Keskijännitekaapelina käytettävä XLPE-kaapeli kestää nimellisesti 90 °C:n jatkuvaa lämpötilaa, mutta Citec Engineeringillä kaapelit mitoitetaan 80 °C mukaisesti, jotta jää varaa, esimerkiksi maaperän kuivumisen tai mahdollisten myöhemmin samalle reitille tulevien kaapeleiden varalle.

Cable Calculator antoi esimerkiksi kahden generaattorin voimalaitoksen generaattorikaapeleiden poikkipinta-alaksi 300 mm² ja kaapeleita tuli olla neljä tai kolme vaihetta kohden, riippuen jännitetasosta ja vaihevirroista. Vastaavaan tapaan mitoitetaan myös omakäyttömuuntajan ja päämuuntajan keskijännitekaapelit kahden

18V46-moottorin voimalaitoksessa. Omakäyttömuuntajan kaapelit kulkevat kaapelihyllyllä ilmassa, jossa käytetään mitoituksessa ilman lämpötilana 40 °C, mikäli ei muuta tietoa lämpötilasta ole. Omakäyttömuuntajien kaapeleissa vaihevirratt eivät koskaan tulleet vastaan mitoituksessa vaan kaapeleiden koko määräytyi poikkeuksetta oikosulkuvirtojen perusteella. Esimerkiksi 1600 kVA:n muuntajalle oli valittava 300 mm² kaapelit yksi vaihetta kohden 11 kV:n jännitteellä 40 kA:n oikosulkukestoisen kojeiston vuoksi, koska kaapelit on mitoitettava kestämään samansuuruiset oikosulkuvirratt kuin kojeistotkin. Päämuuntajan kaapelit kulkevat kaapeliojassa hyllyillä ja kaapeliojien lämpötilana käytetään 35 °C:sta, mikäli ei muuta tietoa ole. Huomioon oli otettava myös muut mahdolliset kaapeliojassa kulkevat kaapelit. Kahden generaattorin voimalaitoksen päämuuntajakaapeleiksi ohjelma suositteli joko 300 mm² tai 400 mm² kaapeleita jännitetasosta ja vaihevirroista riippuen. Suuremmilla voimalaitoksilla käytetään lähes poikkeuksetta 500 mm² kaapeleita.

3.5 Generaattorit

Generaattoreita on saatavilla 18V46-moottoreille 50 Hz:n taajuudella 11 kV:n ja 15 kV:n nimellisjännitteillä. Generaattorit ostetaan voimalaitoksille niiltä toimittajilta, jotka pystyvät tarjoamaan parhaan hinta/laatu-suhteen ja toimitusajan. Kaksi merkittävää käytettyä generaattorivalmistajaa ovat ABB ja Converteam. Yksi generaattori tuottaa enimmillään 21345 kVA:n kokonaistehon ja tehokertoimen $\cos\phi$ ollessa 0,8. 11 kV:n generaattori painaa 57 000kg ja 15 kV:n generaattori 59 750kg, joten 11 kV:n generaattori painaa 2 750kg vähemmän. Lähes kolmen tonnin ero painoissa vaikuttaa moottorihalliin generaattorille tehtäviin perustuksiin, mutta sen vaikutusta kustannuslaskelmiin ei ole huomioitu tässä selvitystyössä, koska kustannusero ei todennäköisesti ole kovinkaan merkittävä ja toisaalta on vaikeata arvioida 2 750kg:n vaikutusta perustuskustannuksiin ilman tarkkoja tietoja rakennussuunnittelun kustannuslaskennasta.

Sähköteknisesti 11 kV:n ja 15 kV:n generaattorit eroavat toisistaan lähinnä suhteellisen alkuoikosulkureaktanssin, nimellisjännitteen ja nimellisvirran osalta.

11 kV:n nimellisjännitteisen generaattorin vaihevirrat ovat 1120 A:n suuruisia ja suhteellinen alkuoikosulkureaktanssi X_d'' on 20,2%, kun taas 15 kV:n nimellisjännitteisellä generaattorilla vaihevirrat jäävät noin 820 A:iin ja suhteellinen alkuoikosulkureaktanssi X_d'' kasvaa 22,2%:iin. Tämän perusteella voidaan päätellä, että generaattorivalinnalla voidaan vaikuttaa oleellisesti kaapeleiden ja kojeistojen mitoituskeinoon vaihevirtojen ja oikosulkukestoisuuden osalta. 15 kV:n generaattori on kuitenkin hinnaltaan noin 10-15% 11 kV:n generaattoria kalliimpi ja tämän oletetaan olevan suurin yksittäinen syy siihen, että 18V46-voimalaitoksissa on useimmiten käytetty 11 kV:n generaattoreita. Tosin generaattorivalintaan saattaa vaikuttaa myös voimalaitoksen keskijännitejärjestelmään liitettävän olemassa olevan keskijänniteverkon jännitetaso tai muut asiakkaan vaatimukset.

3.6 Päämuuntajat

Tässä opinnäytetyössä on käytetty päämuuntajina öljyeristeisiä 45 MVA:n, 70 MVA:n ja 90 MVA:n muuntajia. Verkonpuoleiseksi jännitteeksi päätettiin 145 kV, mikä vastaa suunnilleen keskiarvoa verkkojännitteistä, joihin voimalaitokset usein yhdistetään. Muuntajan alajännitepuolen nimellisjännite valitaan generaattorin nimellisjännitteen mukaan. Päämuuntajien suhteellisina oikosulkuimpedansseina käytettiin laskelmissa karkeita arvioituja arvoja. 45 MVA:n muuntajalla $z_k\%$ oli 11% ja 70 MVA:n sekä 90 MVA:n muuntajilla $z_k\%$ oli 18%. Tällä arvolla voitaisiin tarvittaessa joustaa, mikäli kojeiston oikosulkukestoisuuden mitoituksen kanssa olisi ongelmia. Muuntajan kasvaessa kasvaa myös suhteellisen oikosulkuimpedanssin arvo, mutta samalla kasvaa myös muuntajan oikosulkuteho. Tässä työssä ei kuitenkaan jouduttu muuttamaan muuntajien kokoa tai oikosulkuimpedanssia, vaan kaikki laskelmat tehtiin yllä olevilla arvoilla. Päämuuntajien valinta tässä työssä olikin kohtuullisen yksinkertaista, koska käytössä oli käytännössä vain kolme eri muuntajakokoa yhtä generaattorijännitetasoa kohden. Kahden generaattorin kojeistoille valittiin 45 MVA:n muuntaja, kolmen generaattorin kojeistoille 70 MVA:n muuntaja ja neljän generaattorin kojeistoille 90 MVA:n muuntaja. Generaattorijännitteellä on oma merkityksensä myös päämuuntajava-

linnan kustannuksissa. 15 kV:n alajännitepuolen jännite tarkoittaa myös noin 10% korkeampaa muuntajan hintaa verrattuna samankokoiseen 11 kV/145 kV muuntaajaan.

3.7 Omakäyttömuuntajat

Omakäyttömuuntajina voimalaitoksissa käytetään usein öljyeristeisiä muuntajia. Valmistajia on monia, esimerkiksi ABB, Schneider ja Siemens ovat alan suuria yrityksiä. Öljyeristeistä muuntajaa käytettäessä on sen sijoituspaikalle voimalaitokselle rakennettava normaalin perustuksen lisäksi öljyallas ja paloseinä mahdollisten tulipalojen ja öljyvuotojen varalta, tämä lisää öljyeristeisen muuntajan voimalinnan kustannuksia huomattavasti, mutta näitä rakennuspuolen kustannuksia ei kuitenkaan ole huomioitu tässä opinnäytetyössä. Lisäksi öljymuuntaja on voimalaitosprojekteissa usein sijoitettava paloturvallisuuden takia kohtuullisen kauas voimalaitosrakennuksesta, keskijännitekojeistosta ja pienjännitekojeistosta.

Kuivamuuntajat ovat vaihtoehto öljyeristeisille muuntajille. Tällöin ei tarvita öljyallasta ja sen kautta tulee säästöä rakennuskustannuksissa, mutta vaakaa painaa toiseen suuntaan kuitenkin voimakkaasti lämpenevän kuivamuuntajan tarvitsema jäähdytys, sille rakennettavan erillisen katoksen tai muun tilan kustannus ja korkeampi hankintahinta verrattuna samantehoiseen öljyeristeiseen muuntaajaan. Kuivamuuntajan käytöllä voidaan kuitenkin saavuttaa etua varsinkin pienjännitepuolen kaapeloinnin osalta, koska kuivamuuntaja voidaan sijoittaa öljyeristeisestä muuntajasta poiketen sähkötilojen sisään tai välittömään läheisyyteen ja tämä lyhentää merkittävästi kaapelointien etäisyyksiä. Pienjännitepuolella kulkevien suurien vaihevirtojen vuoksi tällä saattaa olla suuri merkitys kaapelointikustannuksiin. Todettakoon, että olisi varmasti erittäin hyödyllistä selvittää jokaisen voimalaitosprojektin yhteydessä kuivamuuntajan käyttömahdollisuus ja laskea kustannukset niin kaapeloinnista, rakennuskustannuksista kuin muuntajien hankintahinoistakin.

Tässä opinnäytetyössä on käytetty kuitenkin ABB:n standardikokoisia öljyeristeisiä muuntajia. Teholuokiltaan muuntajat ovat 1250 kVA, 1600 kVA, 2000 kVA, 2500 kVA ja 3150 kVA. Alajännitepuolen nimellisjännitteeksi valittiin 400-480 V ja yläjännitepuolen nimellisjännite mitoitetaan generaattorijännitteen mukaan. Voimalaitokset käyttävät arviolta kolme prosenttia tuottamastaan tehosta voimalaitoksen omiin käyttöihin, kuten pumppuihin, lämmityksiin ja ilmastointiin. Tässä opinnäytetyössä omakäyttömuuntajat on mitoitettu pääosin tuon kolmen prosentin säännön mukaan lukuun ottamatta poikkeustapauksia, jotka johtuvat 11 kV:n generaattorijännitteellä vastaan tulevista kojeistojen vaihevirroista ja oikosulkukestoisuudesta. Esimerkkinä voidaan mainita neljän generaattorin voimalaitos, jolloin 11 kV:n generaattorijännitteellä joudutaan siirtymään kahteen kahteen generaattorin keskijännitekojeistoon yhden yhtenäisen neljän generaattorin kojeiston sijaan vaihevirtojen ja oikosulkukestoisuuden takia. Tällöin voimalaitoksen omakäyttömuuntajaksi riittäisi yksi 3150 kVA:n muuntaja, mutta koska jokaisella keskijännitekojeistolla on oltava oma omakäyttömuuntajansa, täytyy voimalaitoksen tarvitsema omakäyttöteho jakaa kojeistojen kesken. Näin ollen olisi luonnollista valita molempiin kojeistoihin yksi 1600 kVA:n muuntaja, mutta käytäntönä omakäyttömuuntajien mitoituksessa on ollut, että vastaavissa tapauksissa valitaan seuraava muuntajakoko molempiin kojeistoihin, jotta esim. toisen omakäyttömuuntajan huoltotilanteessa voitaisiin silti käyttää voimalaitosta. Tällöin siis valittaisiin kaksi 2000 kVA:n muuntajaa voimalaitokselle. Tämä tarkoittaa selkeästi suurempia omakäyttömuuntajan hankintakustannuksia kuin yhden 3150 kVA:n muuntajan hankinta, mutta myös kaapelointia tulee kahteen omakäyttömuuntajan vuoksi enemmän ja lisäksi rakennuspuolella täytyy tehdä kaksinkertainen työ mahdollisten öljyaltaiden, paloseinien ja kuivamuuntajien tapauksessa muiden tilojen osalta. Omakäyttömuuntajien hankintahinnoissa ei ole merkittävää eroa yläjännitepuolen ollessa 11 kV tai 15 kV, vaikka 15 kV:n muuntaja onkin vähän kalliimpi.

3.8 Keskijännitekaapelit

Keskijännitekaapeleina voimalaitoksilla käytetään pääasiallisesti XLPE-eristeisiä yksijohdinkaapeleita. XLPE-eriste tunnetaan Suomessa PEX-eristeenä, mikä on ominaisuuksiltaan suosituin materiaali keski- ja suurjänniteverkkojen eristyksissä. XLPE:llä on matalat dielektriset häviöt, se on mekaanisilta ominaisuuksiltaan kestävä, eikä sillä ole varsinaista sulamispistettä lämpötilan noustessa. Tämän vuoksi XLPE-kaapeleita voidaan kuormittaa PVC-eristeitä suuremmilla virroilla. Myös oikosulku- ja ylikuormituskestoisuus on XLPE-eristeillä parempi. Johdinmateriaalina käytetään kuparia ja kaapeleiden johtimien poikkipintoina käytetään pääasias-
sa 185 mm^2 , 240 mm^2 , 300 mm^2 , 400 mm^2 ja 500 mm^2 . Kaapeleiden nimellisjännitteet ovat 12 kV ja 20 kV. Toimittajia on useita ja kaapelit ostetaankin aina projektikohtaisesti sieltä mistä halvimmallalla saadaan, valmistajien toimitusajat huomioiden. Kaapeleiden hinnat muuttuvat jatkuvasti kuparin kilohinnan mukana, joten ostajien täytyy jatkuvasti ”olla hereillä” ja elää ajan hermolla. Kustannuksiltaan 12 kV:n nimellisjännitteinen kaapeli on 20 kV:n nimellisjännitteistä halvempaa ohuempien eristyksiensä ansiosta, mutta tämän opinnäytetyön yhteydessä käytetyn kaapeleiden laskentaohjelman Cable Calculatorin antamista tuloksista voitiin havaita, että suuremmalla jännitteellä saatiin poikkeuksetta joko vähennettyä vähintään yksi kaapeli vaihetta kohden tai pienennettyä kaapeleiden poikkipintaa. Näin ollen kaapeloinnin suhteen päästiin merkittäviin kustannussäästöihin kasvatamalla jännitettä ja pienentämällä kaapeleissa kulkevaa virtaa.

3.9 Keskijännitekojeistot

Tässä opinnäytetyössä käytettiin keskijännitekojeistoina ABB:n standardikokoisia Unigear-kojeistoja. Voimalaitoksen keskijännitekojeistot koostuvat pääkiskostoista, generaattorikohtaisista kennoista, mittauskennoista, omakäyttömuuntajakenoista, kiskokatkaisijakennoista ja päämuuntajien syöttökennoista. Termisen yhden sekunnin oikosulkukestoisuudet vaihtelevat standardikokoisilla Unigear-kojeistoilla 25 kA:sta 50 kA:iin ja pääkiskostojen vaihevirratt 1250 A:sta 4000 A:iin. Generaattorikohtaisten kennojen oikosulkukestoisuudet ovat vastaa-

via, mutta nimellisvaihevirrat kennoilla ovat aina 1250 A. Omakäyttömuuntajien kohdalle tilanne on vastaava, mutta nimelliset vaihevirrat ovat aina 630 A, koska suurin käytettävä omakäyttömuuntaja voimalaitoksilla on 3150 kVA ja näin ollen vaihevirrat eivät voi ylittää 630 A:ia.

Kiskokatkaisijakennot mitoitettiin tässä työssä aina saman suuruiseksi pääkiskostojen kanssa ja mikäli voimalaitoksessa oli kahdessa eri kojeistossa kahta eri kiskostoa, valittiin kiskokatkaisija pienemmän kiskoston mukaan. Kiskokatkaisijakennoja löytyy siis samoilla nimellisarvoilla kuin pääkiskostojakin. Päämuuntajien syöttökennojen nimellisarvot ovat myös pääkiskostoja vastaavia, lukuun ottamatta 3600 A:n kiskostoa, mikä siis löytyy päämuuntajien syöttökennojen vaihtoehtoista mutta ei pääkiskosten vaihtoehtoista. Päämuuntajien syöttökennot valittiin tässä opinnäytetyössä aina generaattoreiden tuottaman enimmäistehon mukaan. Mittauskennot ovat 18V46-voimalaitoksilla käytännössä aina erillisiä kojeistokohtaisia kennoja, jotka mittaavat muun muassa kiskoston jännitettä. Mittauskennojen avulla saadaan esimerkiksi vikatilanteissa tiedot suojarille.

4 OIKOSULKU- JA VAIHEVIRTOJEN LASKENTA

4.1 Oikosulkuvirtojen laskenta

Oikosulkuvirtojen laskenta tapahtui Citec Engineeringin Excel-pohjaisella Shortie-ohjelmalla. Shortien avulla laskettiin kahden, kolmen ja neljän generaattorin voimalaitoksien alkuoikosulkuvirrat molemmilla generaattorivaihtoehdoilla. Useamman kuin neljän generaattorin oikosulkulaskentaa ei ollut hyödyllistä tehdä, koska, kuten kuvasta 5 nähdään, neljän generaattorin keskijännitekojeisto on jo pelkästään oikosulkukestoisuuden vuoksi suurin kojeistokokonaisuus 18V46-voimalaitoksilla.

The screenshot displays the Shortie software interface with the following data:

1) Generators

- Engine type = W18V46
- Generator type = Converteam
- Quantity = 2 pcs
- Sn = 21345 kVA
- Un = 11,00 kV
- Xd" = 20,20 %
- Xd' = 37,20 %
- Sk = 105,67 MVA
- In = 1120 A

2) Service transformer

- Sn = 1600 kVA
- Zk = 6,00 %
- Backpush % = 40 %
- Backpush Zk = 25 %
- LVU2 = 460 V
- Sk = 27 MVA
- LVik2 = 35,27 kA

3) Outgoing transformer/utility

- Sn = 45,00 MVA
- Zk = 11,00 %
- HV 1 = 145 kV
- Utility Sk = 10000 MVA
- Import Sk = 393 MVA

4) Feeders to local load/island

- Quantity* Sn = 42,69 MVA
- Backpush % = 0 %
- Backpush Zk = 30 %
- Local load Sk = 0 MVA

Summary

	MVA	kA
1)	211	11,09
2)	2	0,12
3)	393	20,63
4)	0	0,00
	607	31,84
1.1*	667	35,63

ISO 9000

- Pname:
- Pnum:
- Docnum: rev -
- Made: 14.7.2004
- Appvd:
- Revised:
- Appvd:

Kuva 5. Kahden 11 kV nimellijännitteisen generaattorin oikosulkulaskelma

Yllä olevasta kahden 11 kV generaattorin oikosulkuvirtalaskelmasta nähdään sekä ohjelmalle syöttötietoina annetut arvot että myös ohjelman laskemat tulokset. Generaattoreiden määräksi on annettu kaksi, oikosulkutehoksi 21345 kVA generaattoria kohden, nimellijännitteeksi 11 kV ja suhteelliseksi alkuoikosulkureaktanssiksi 20,2 %. Omakäyttömuuntajan tiedot ovat tässä työssä toisarvoisia, mutta niihin on syötetty kuitenkin oikeat arvot muuntajan 1600 kVA:n oikosulkutehon ja 6 %:n suhteellisen oikosulkuimpedanssin osalta. Päämuuntajan teho on 45 MVA, sen suhteellinen oikosulkuimpedanssi 11 %, verkon oikosulkuteho 10 000 MVA:ia saatiin IEC60076-standardin mukaisesti taulukkoarvoista.

Shortie antoi keskijännitekojeiston alkuoikosulkuvirraksi 35,03 kA:ia ja yhden generaattorin tuottamaksi vaihevirraksi 1120 A. Näin ollen kahden 11 kV generaattorin voimalaitokseen voitaisiin mitoittaa esimerkiksi 40 kA oikosulkukestoinen ja 2500 A nimellisvaihevirtainen kojeisto. Shortien laskeman yhden generaattorin vaihevirran perusteella voidaan mitoittaa myös generaattorikohtaiset tulokennot keskijännitekojeistoon, eli tässä tapauksessa voitaisiin valita 40 kA oikosulkukestoiset ja 1250 A nimellisvirtaiset tulokennot.

1) Generators
 Engine type = W18V46
 Generator type = ABB
 Quantity = 2 pcs
 Sn = 21345 kVA
 Un = 15,00 kV
 Xd'' = 22,20 %
 Xd' = 37,20 %
 Sk = 96,15 MVA
 In = 822 A

2) Service transformer
 Sn = 1600 kVA
 Zk = 6,00 %
 Backpush % = 40 %
 Backpush Zk = 25 %
 LV U2 = 460 V
 Sk = 27 MVA
 LV Ik2 = 35,22 kA

3) Outgoing transformer/Utility
 Sn = 45,00 MVA
 Zk = 11,00 %
 HV 1 = 145 kV
 Utility Sk = 10000 MVA
 Import Sk = 393 MVA

4) Feeder to local load/island
 Quantity* Sn = 42,69 MVA
 Backpush % = 0 %
 Backpush Zk = 30 %
 Local load Sk = 0 MVA

Summary



1)	192 MVA	7,40 kA
2)	2 MVA	0,09 kA
3)	393 MVA	15,13 kA
4)	0 MVA	0,00 kA
1.1*	646 MVA	24,69 kA

ISO 9000
 Pname:
 Pnum:
 Docnum: rev .
 Made: 14.7.2004
 Appvd:
 Revised:
 Appvd:

Buttons: About, Read Me, Save, Load, Quit, Print



Kuva 6. Kahden 15 kV nimellisjännitteisen generaattorin oikosulkulaskelma

Yllä olevassa kahden 15 kV generaattorin laskelmissa on annettu ohjelmalle samat syöttötiedot kuin edellisessäkin laskelmassa. Ainoastaan generaattorin nimellisjännite on kasvanut 15 kV:iin ja suhteellinen alkuoikosulkureaktanssi 22,2 %:iin. Laskelmien tuloksina on saatu 24,88 kA alkuoikosulkuvirta ja yhden generaattorin tuottama 822 A vaihevirta. Näiden tulosten perusteella voitaisiin mitoittaa keskijännitekojeistoksi esimerkiksi 25 kA oikosulkukestoinen ja 2000 A nimellisvaihevirtainen kojeisto. Generaattoreiden tulokennojen nimellisvaihevirraksi voidaan valita jälleen 1250 A ja oikosulkukestoisuudeksi 25 kA.

1) Generators Engine type = W18V46 Generator type = Converteam Quantity = 3 pcs Sn = 21345 kVA Un = 11,00 kV Xd" = 20,20 % Xd' = 37,20 % Sk = 105,67 MVA In = 1120 A  <input type="button" value="Read me"/>		3) Outgoing transformer/Utility Sn = 70,00 MVA Zk = 18,00 % HV 1 = 145 kV Utility Sk = 10000 MVA Import Sk = 374 MVA 		<input type="button" value="About"/> <input type="button" value="Read Me"/> <input type="button" value="Save"/> <input type="button" value="Load"/> <input type="button" value="Quit"/> <input type="button" value="Print"/>														
2) Service transformer Sn = 2000 kVA Zk = 6,00 % Backpush % = 40 % Backpush Zk = 25 % LV U2 = 460 V Sk = 33 MVA LV Ik2 = 43,93 kA		Summary <table border="1"> <tr><td>1)</td><td>317 MVA</td><td>16,64 kA</td></tr> <tr><td>2)</td><td>3 MVA</td><td>0,15 kA</td></tr> <tr><td>3)</td><td>374 MVA</td><td>19,65 kA</td></tr> <tr><td>4)</td><td>0 MVA</td><td>0,00 kA</td></tr> <tr><td>1.1*</td><td>764 MVA</td><td>40,08 kA</td></tr> </table>	1)	317 MVA	16,64 kA	2)	3 MVA	0,15 kA	3)	374 MVA	19,65 kA	4)	0 MVA	0,00 kA	1.1*	764 MVA	40,08 kA	ISO 9000 Pname: Pnum: Docnum: rev . Made: 14.7.2004 Appvd: Revised: Appvd:
1)	317 MVA	16,64 kA																
2)	3 MVA	0,15 kA																
3)	374 MVA	19,65 kA																
4)	0 MVA	0,00 kA																
1.1*	764 MVA	40,08 kA																
4) Feeders to local load/Island Quantity * Sn = 64,04 MVA Backpush % = 0 % Backpush Zk = 30 % Local load Sk = 0 MVA																		



Kuva 7. Kolmen 11 kV nimellisjännitteisen generaattorin oikosulkulaskelma

Yllä olevasta kolmen 11 kV generaattorin tapauksessa kahden 11 kV generaattorin tapaukseen verrattaessa on muuttunut generaattoreiden määrä, päämuuntajan teho ja suhteellinen oikosulkuimpedanssi. Päämuuntaja on oikosulkuteholtaan 70 MVA:n suuruinen ja suhteellinen oikosulkuimpedanssi on kasvanut 18 %:iin. Laskelmien tuloksena saadusta 40,08 kA alkuoikosulkuvirrasta voidaan havaita 40 kA arvon ylittyminen, joka johtaa 50 kA oikosulkukestoisen kojeiston valintaan. Huomioitavaa on kuitenkin oikosulkukestoisuuden vähäinen ylittyminen, joten tässä tapauksessa oikosulkukestoisuuden mitoittaminen jäisi suunnittelijan vastuulle ja tilanne vaatisi tarkempia laskelmia 40 kA oikosulkukestoisen kojeiston käytön mahdollisuuden selvittämiseksi. Keski-jännitekojeistoksi voitaisiin valita 50 kA oikosulkukestoisen ja 4000 A nimellisvaihevirtainen kojeisto.

1) Generators Engine type = W18V46 Generator type = ABB Quantity = 3 pcs Sn = 21345 kVA Un = 15,00 kV Xd" = 22,20 % Xd' = 37,20 % Sk = 96,15 MVA In = 822 A  <input type="button" value="Read me"/>		3) Outgoing transformer/utility Sn = 70,00 MVA Zk = 18,00 % HV 1 = 145 kV Utility Sk = 10000 MVA Import Sk = 374 MVA 		<input type="button" value="About"/> <input type="button" value="Read Me"/> <input type="button" value="Save"/> <input type="button" value="Load"/> <input type="button" value="Quit"/> <input type="button" value="Print"/>
2) Service transformer Sn = 2000 kVA Zk = 6,00 % Backpush % = 40 % Backpush Zk = 25 % LV U2 = 460 V Sk = 33 MVA LV Ik2 = 43,05 kA		Summary 1) 288 MVA 11,10 kA 2) 3 MVA 0,11 kA 3) 374 MVA 14,41 kA 4) 0 MVA 0,00 kA 666 MVA 25,62 kA 1.1* 732 MVA 28,18 kA	4) Feeders to local load/island Quantity * Sn = 64,04 MVA Backpush % = 0 % Backpush Zk = 30 % Local load Sk = 0 MVA	
		ISO 9000 Pname: Pnum: Docnum: rev - Made: 14.7.2004 Appvd: Revised: Appvd:		

Kuva 8. Kolmen 15 kV nimellisjännitteisen generaattorin oikosulkulaskelma

Yllä olevassa kolmen 15 kV generaattorin tapauksessa on edelliseen kolmen 11 kV generaattorin tapaukseen verrattuna muutettu ainoastaan generaattorin arvoja 15kV:n generaattoria vastaaviksi, kuten kahdenkin generaattorin tapauksissa tehtiin. Keskijännitekojeiston alkuoikosulkuvirta jää jälleen selvästi 11 kV jännitteen alkuoikosulkuvirtaa pienemmäksi. Kolmella 15 kV generaattorilla ohjelma laskee alkuoikosulkuvirraksi 28,18 kA. Lasketun alkuoikosulkuvirran ja vaihevirtojen perusteella voitaisiin mitoittaa keskijännitekojeistoksi esimerkiksi 31,5 kA oikosulkukestoinen ja 2500 A nimellisvaihevirtainen kojeisto.

1) Generators Engine type = W18V46 Generator type = Converteam Quantity = 4 pcs Sn = 21345 kVA Un = 11,00 kV Xd" = 20,20 % Xd' = 37,20 % Sk = 105,67 MVA In = 1120 A  <input type="button" value="Read me"/>		3) Outgoing transformer/utility Sn = 90,00 MVA Zk = 18,00 % HV 1 = 145 kV Utility Sk = 10000 MVA Import Sk = 476 MVA 		<input type="button" value="About"/> <input type="button" value="Read Me"/> <input type="button" value="Save"/> <input type="button" value="Load"/> <input type="button" value="Quit"/> <input type="button" value="Print"/>
2) Service transformer Sn = 3150 kVA Zk = 6,00 % Backpush % = 40 % Backpush Zk = 25 % LV U2 = 460 V Sk = 53 MVA LV Ik2 = 68,58 kA		Summary 1) 423 MVA 22,18 kA 2) 5 MVA 0,24 kA 3) 476 MVA 24,99 kA 4) 0 MVA 0,00 kA 903 MVA 47,42 kA 1.1* 994 MVA 62,16 kA	4) Feeders to local load/island Quantity * Sn = 85,38 MVA Backpush % = 0 % Backpush Zk = 30 % Local load Sk = 0 MVA	
		ISO 9000 Pname: Pnum: Docnum: rev - Made: 14.7.2004 Appvd: Revised: Appvd:		

Kuva 9. Neljän 11 kV nimellisjännitteisen generaattorin oikosulkulaskelma

Kuvassa 9 on neljällä 11 kV generaattorilla tehty laskelma, josta nähdään standardikokoisen keskijännitekojeiston nimellisarvojen selkeä ylittyminen. Yhden generaattorin tuottaessa 1120 A vaihevirran havaitaan, ettei kojeistovalmistajan tarjoama suurin 4000 A pääkiskosto enää riitä. Lisäksi ohjelma laskee alkuoikosulkuvirraksi 52,16 kA ja suurin mahdollinen oikosulkukestoisuus on 50 kA, joten oikosulkukestoisuudenkin osalta mennään selvästi yli kojeistojen nimellisarvojen.

1) Generators		3) Outgoing transformer/utility	
Engine type =	W18V46	Sn =	90,00 MVA
Generator type =	ABB	Zk =	18,00 %
Quantity =	4 pcs	HV 1 =	145 kV
Sn =	21345 kVA	Utility Sk =	10000 MVA
Un =	15,00 kV	Import Sk =	476 MVA
Xd' =	22,20 %		
Xd'' =	37,20 %		
Sk =	96,15 MVA		
In =	822 A		

2) Service transformer		4) Feeders to local load/island	
Sn =	3150 kVA	Quantity * Sn =	85,38 MVA
Zk =	6,00 %	Backpush % =	0 %
Backpush % =	40 %	Backpush Zk =	30 %
Backpush Zk =	25 %	Local load Sk =	0 MVA
LV U2 =	460 V		
Sk =	53 MVA		
LV Ik2 =	68,43 kA		

Summary		
1)	385 MVA	14,80 kA
2)	5 MVA	0,18 kA
3)	476 MVA	18,33 kA
4)	0 MVA	0,00 kA
	865 MVA	33,31 kA
1.1*	952 MVA	56,64 kA

ISO 9000	
Pname:	
Pnum:	
Docnum:	rev -
Made:	14.7.2004
Appvd:	
Revised:	
Appvd:	

Kuva 10. Neljän 15 kV nimellijännitteisen generaattorin oikosulkulaskelma

Kuvassa 10 olevassa neljän 15 kV generaattorin tapauksessa sen sijaan nähdään standardikokoisten keskijännitekojeistojen nimellisarvojen riittävän mainiosti mitoitukseen. Alkuoikosulkuvirta on 36,64 kA, joten kojeiston oikosulkukestoisuudeksi voitaisiin valita esimerkiksi 40 kA oikosulkukestoisen kojeisto. Vaihevirtojen perusteella pääkiskostoksi voitaisiin valita 4000 A nimellivaihevirtainen kiskosto. Kuten neljän 15 kV generaattorin tapauksesta huomataan, voisi olla mahdollista liittää myös viides generaattori samaan kojeistoon. Tällöin kojeiston vaihevirit kasvaisivat 110 A yli kojeiston nimellisarvosta, mutta standardikokoisten kojeistojen oikosulkukestoisuus ei ylittyisi. Mitoittamalla kojeisto oikein, voitaisiin 110 A ”ylimääräinen” vaihevirta laskea omakäyttömuuntajalle meneväksi, joten vaiheviritkaan eivät välttämättä tulisi vastaan mitoituksessa. Omakäyttömuuntajien mitoitus nousee haasteeksi viiden generaattorin tapauksessa. Standardikokoinen 3150 kVA:n omakäyttömuuntaja ei riitä viiden generaattorin voima-

laitokselle kolmen prosentin mitoitussäännön mukaan. Tällöin tulisi selvittää suu-remman omakäyttömuuntajan mukanaan tuomat hankintakustannukset.

Standardikokoisten Unigear-kojeistojen oikosulkukestoisuudet ovat 25 kA, 31,5 kA, 40 kA ja 50 kA. Kojeistot on mitoitettu tässä työssä valitsemalla seuraava oikosulkukestoisuusarvo lasketusta alkuoikosulkuvirran arvosta. Alkuoikosulkuvirtojen ja yhden sekunnin oikosulkuvirtojen arvot eivät vastaa toisiaan vaan mitoittamalla kojeisto alkuoikosulkuvirran perusteella, täytyy todennäköisesti myös dynaaminen oikosulkukestoisuus.

11 kV kolmen generaattorin alkuoikosulkuvirta on hyvin lähellä 40 kA oikosulkukestoisen kojeiston mitoitusta ja sitä voitaisiin pienentää esimerkiksi valitsemalla hieman suuremmalla suhteellisella oikosulkuimpedanssilla varustettu päämuuntaja. 11 kV neljän generaattorin alkuoikosulkuvirta kasvaa yli Unigearin 50 kA oikosulkukestoisuudesta, joten ei ole mahdollista kytkeä neljää generaattoria samaan kojeistoon. Kuten taulukon 1 tuloksista nähdään, 15 kV jännitteellä kojeistojen oikosulkukestoisuudet eivät ole ongelma neljälläkään generaattorilla yhdessä kojeistossa.

Taulukko 1. Lasketut oikosulkuvirrat ja kojeistojen oikosulkukestoisuuksien mitoitus

Generaattoreiden määrä/kojeisto	11kV		15kV	
	Laskettu oikosulkuvirta	Kojeiston oikosulkukestoisuus	Laskettu oikosulkuvirta	Kojeiston oikosulkukestoisuus
2	35,03kA	40kA	24,88kA	25kA
3	40,8kA	50kA	28,18kA	31,5kA
4	52,16kA	-	36,64kA	40kA

4.2 Vaihevirtojen laskenta

Yhden generaattorin tuottamat vaihevirrat voidaan nähdä Shortien laskelmista edellisen kappaleen kuvista. Näiden tulosten perusteella voidaan laskea jokaiselle voimalaitokselle keskijännitekojeiston mitoitukseen tarvittavat kokonaisvaihevirrat. Kokonaisvaihevirrat saadaan kertomalla yhden generaattorin tuottamat vaihevirrat generaattoreiden määrällä. Kokonaisvaihevirrat on laskettu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Generaattoreiden tuottamat vaihevirrät ja niiden vaikutus kojeistojen määrään

Generaattoreiden määrä	11kV		15kV	
	Yhden vaiheen virta/A	Kojeistojen määrä	Yhden vaiheen virta/A	Kojeistojen määrä
1	1120	1	822	1
2	2240	1	1644	1
3	3360	1	2466	1
4	4480	2	3288	1
6	6720	2	4932	2
8	8960	3	6576	2
12	13440	4	9864	3

Standardikokoisen Unigear-kojeiston enimmäisvaihevirta on 4000 A, joten aina 4000 A välein tulee vastaan piste, jolloin on lisättävä yksi keskijännitekojeisto lisää, etteivät vaihevirrät kasvaisi liian suuriksi. Näistä tuloksista nähdään oikosulkuvirtalaskelmien kanssa yhtenevää tulosta kojeistojen jakamisen osalta. 11kV:lla voidaan mitoittaa enimmillään kolme generaattoria samaan kiskostoon, kun taas 15kV:lla voidaan mitoittaa neljä generaattoria samaan kiskostoon.

4.3 Laskettujen virtojen ja generaattorijännitteen perusteella tehdyt mitoitukset ja päätelmät

Kahden generaattorin kokonaisuus voidaan aina liittää yhteen keskijännitekojeistoon. Kyseessä ollessa 11 kV nimellisjännitteinen generaattori, mitoitetaan kojeisto 40 kA oikosulkukestoiseksi ja pääkiskosto 2500 A nimellisvaihevirtaiseksi. Kahden 15 kV generaattorin keskijännitekojeisto olisi vastaavasti 25 kA oikosulkukestoinen ja sen pääkiskosto 2000 A nimellisvaihevirtainen. Molemmilla generaattorivaihtoehdoilla kojeiston oikosulkukestoisuus mitoitetaan kaikissa kojeistojen kennoissa yhteneväisiksi. Generaattorikohtaiset tulokennot on mitoittettava aina 1250 A nimellisvirrallisiksi ja samoin omakäyttömuuntajan kennot aina 630 A nimellisvirrallisiksi. Päämuuntajan syöttökennon nimellinen vaihevirta on sama kuin kojeiston pääkiskostonkin.

Kolmen generaattorin kokonaisuus voidaan aina niinkään liittää yhteen keskijännitekojeistoon. 11 kV nimellisjännitteisellä generaattorilla mitoitetaan keskijännitekojeisto 50 kA oikosulkukestoiseksi. Todellisuudessa olisi mahdollista vaikuttaa

oikosulkukestoisuuteen esim. päämuuntajan suhteellisen oikosulkuimpedanssin avulla, jolloin tässä 11 kV generaattorijännitteen tapauksessa riittäisi 40 kA oikosulkukestoinen kojeisto.

Tässä työssä kuitenkin seurataan kojeistovalmistajan raja-arvoja ja mitoitetaan kojeisto 50 kA oikosulkukestoiseksi. 11 kV keskijännitteellä kojeistoon mitoitetaan 4000 A pääkiskosto, mutta päämuuntajan syöttökennon nimellisvirraksi voidaan valita 3600 A vaihtoehto, koska kojeistovalmistaja tarjoaa kyseisen vaihtoehdon. Kolmen 15 kV nimellisjännitteisen generaattorin keskijännitekojeiston oikosulkukestoisuudeksi mitoitetaan 31,5 kA ja pääkiskostoksi 2500 A nimellisvaihevirtainen kiskosto. Päämuuntajan syöttökennon mitoitetaan myös 2500 A vaihevirroille.

Neljän 11 kV nimellisjännitteisen generaattorin kokonaisuutta ei ole mahdollista liittää yhteen keskijännitekojeistoon oikosulkuvirtojen ja kojeistossa summautuvien vaihevirtojen vuoksi. Tällöin kojeisto on jaettava, esimerkiksi kahteen kahden generaattorin kojeistoon, jolloin kojeistojen väliin tulee kiskokatkaisija huoltotilanteita varten. Koska sekä omakäyttö-, että päämuuntajia on oltava aina yksi kojeistoa kohden, tulee tässä tapauksessa myös yksi omakäyttömuuntaja ja yksi päämuuntaja lisää voimalaitoksen keskijännitejärjestelmän kokoonpanoon. Neljällä 15 kV nimellisjännitteisellä generaattorilla näitä ongelmia ei ole, vaan keskijännitekojeistoksi valitaan 40 kA oikosulkukestoinen ja pääkiskostoltaan 4000 A nimellisvaihevirtainen kojeisto. Päämuuntajan syöttökennoksi voidaan valita 3600 A nimellisvaihevirtainen kenno.

Mikäli generaattoreita on voimalaitoksessa enemmän kuin neljä, on keskijännitekojeistot mitoitettava yllä mitoitettujen kahden, kolmen tai neljän generaattorin kokonaisuuksien osiin. Esimerkkinä voidaan mainita kahdeksan generaattorin voimalaitos, jolloin keskijännitekojeisto on mitoitettava 11 kV generaattorijännitteellä kahteen kolmen generaattorin ja yhteen kahden generaattorin osaan. Kun kyseessä on erikokoisten kojeistojen mahdollinen liittäminen toisiinsa kiskokatkaisijoilla, on mietittävä tarkkaan projektikohtaisesti keskijännitekojeistojen mi-

toitusperusteita. Tässä työssä kojeistot on mitoitettu kestäväksi niihin suoraan liitettyjen generaattoreiden tuottamat vaihevirrat ja oikosulkukestoisuudet on mitoitettu suoraan Shortien laskelmatulosten perusteella. Näin ollen myös kiskokatkaisijat on mitoitettu aina pienemmän kojeiston mukaan. Mikäli kyseessä on esimerkiksi 12 generaattorin voimalaitos, voidaan keskijännitekojeistot jakaa 11 kV nimellisjännitteisillä generaattoreilla neljään kolmen generaattorin kojeistoon ja 15 kV nimellisjännitteisillä generaattoreilla kolmeen neljän generaattorin kojeistoon.

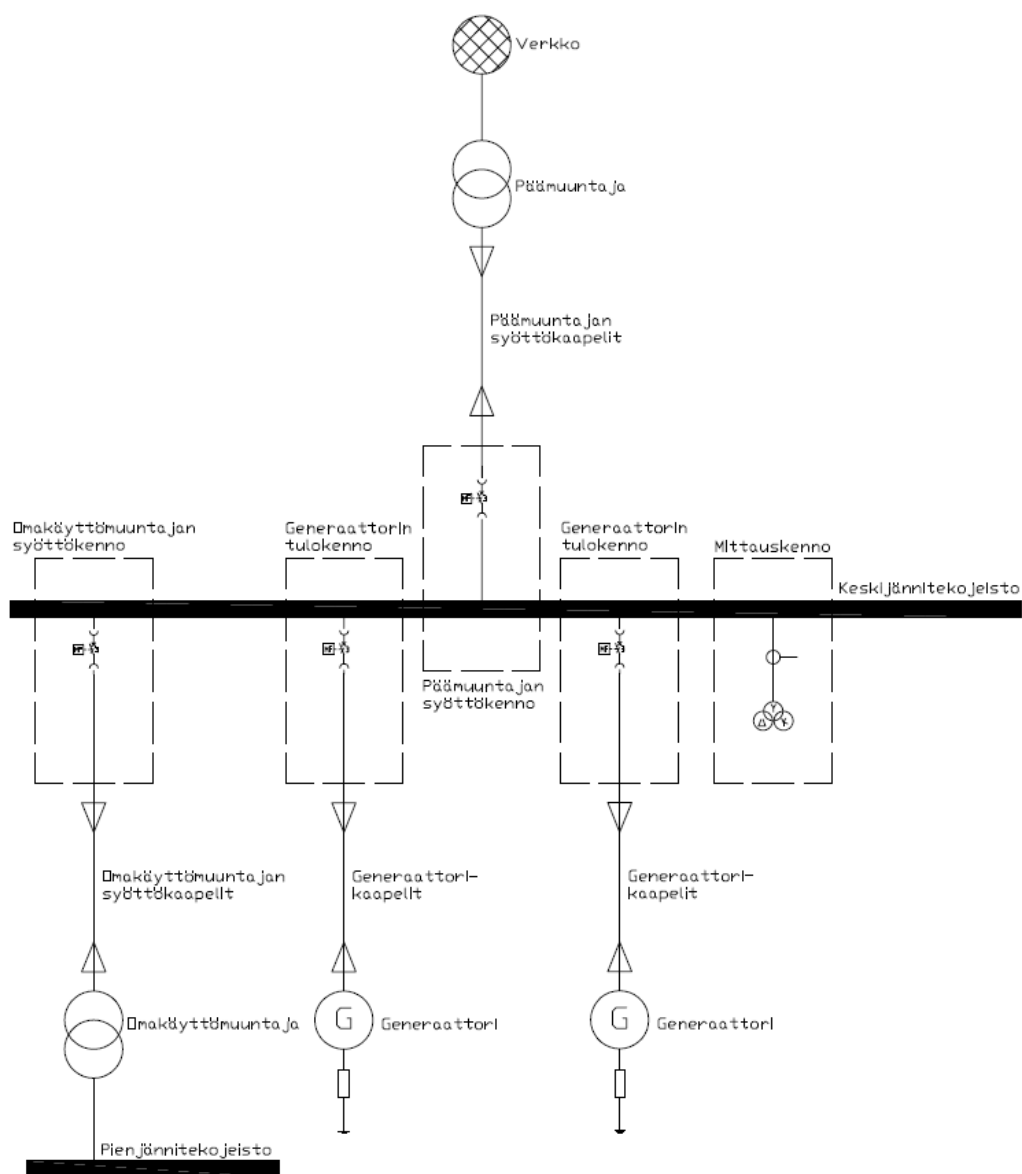
5 VOIMALAITOKSIEN PÄÄKAAVIOT JA STANDARDI-LAYOUTIT

5.1 2x18V46 pääkaaviot ja standardi-layout

Kahden generaattorin, kuten muidenkin voimalaitoskokojen kanssa on lähdettävä aina liikkeelle voimalaitoksen tuottamasta tehosta. Yhden generaattorin tuottaman maksimitohon ollessa 18V46-laitoksille aina 21,345 MVA, on kahden generaattorin tuottama maksimiteho 42,690 MVA. Keskijännitekojeiston mitoituksessa on otettava huomioon myös generaattorin jännitetaso ja alkuoikosulkureaktanssi X_d'' , jotka vaikuttavat kojeiston kiskoston vaihevirtoihin ja oikosulkuvirtoihin. 11 kV generaattorilla ja sen 20,2 % alkuoikosulkureaktanssilla voidaan kojeistoksi mitoittaa esimerkiksi 2500 A nimellisvirtainen ja 40 kA oikosulkukestoinen 11 kV kojeisto. 15 kV generaattorijännitteellä ja 22,2 % alkuoikosulkureaktanssilla kojeistoksi voitaisiin taas mitoittaa esimerkiksi 2000 A nimellisvirtainen ja 31,5 kA oikosulkukestoinen 15 kV kojeisto. Keskijännitekojeistoon kuuluu molemmille generaattoreille oma tulokenno, yksi mittauskenno, yksi kenno omakäyttömuuntajalle ja yksi kenno kytkinkentällä olevalle päämuuntajalle. Generaattoreiden tulokennot mitoitetaan sekä 11 kV:lla, että 15 kV:lla aina 1250 A nimellisvirran mukaan, mutta oikosulkukestoisuus määräytyy muun kojeiston kanssa yhteneväiseksi, lisäksi on otettava huomioon generaattorin jännitetaso kennoa valittaessa. Mittauskennot mitoitetaan jännitetason ja oikosulkukestoisuuden osalta muun kojeiston mukaisiksi.

Omakäyttömuuntajan kenno mitoitetaan vastaavalla tavalla generaattorikennoon nähden, ainoastaan kennon nimellisvirta muuttuu 630 A:iin, mikä on vakio omakäyttömuuntajien kennojen mitoituksessa. Päämuuntajaa syöttävä kenno valitaan myös jännitetason ja oikosulkukestoisuudeltaan muuta kojeistoa vastaavaksi, mutta nimellisvirta on mitoitettava tapauskohtaisesti. Tällöin 11 kV generaattorijännitteellä valitaan 2500 A nimellisvirtainen kenno ja 15 kV generaattorijännitteellä 2000 A nimellisvirtainen kenno. Kahden generaattorin 18V46-laitoksessa laitoksen oman käytön viedessä n. 3 % laitoksen tuottamasta tehosta, mitoitetaan oma-

käyttömuuntajaksi, esim. ABB:n standardikokoinen öljyristeininen 1600 kVA 11 kV tai 15 kV /400-480 V muuntaja, joka on sijoitettu mahdollisimman lähelle pien- ja keskijännitekojeistoja sisältävää rakennusta kaapelointimatkojen minimoimiseksi. Päämuuntaja mitoitetaan aina laitoksen tuottaman tehon mukaan, joten kahden generaattorin tapauksessa riittää esimerkiksi ABB:n 45 MVA öljyristeininen muuntaja. Nämä valinnat näkyvät kahden 18V46-moottorin single-line piirustuksessa (LIITE 6) ja standardi-layoutissa (LIITE 1) ja piirustus on ajantasainen generaattorin valinnasta riippumatta. Kuvasta 11 nähdään periaatteellinen single-line piirustus voimalaitoksen sähköistyksen ymmärtämisen helpottamiseksi.



Kuva 11. Kahden generaattorin periaatteellinen pääkaavio

5.2 4x18V46 pääkaaviot ja standardi-layout

Neljän moottorin 18V46-dieselvoimalaitoksen suunnittelu on sähköistyksen osalta hieman kahden moottorin laitosta hankalampaa. 11 kV generaattorijännitteellä kojeistojen oikosulkuvirrat ja kiskostojen vaihevirrat kasvavat esimerkiksi ABB:n valmistaman UniGear-kojeiston nimellisarvoja (50 kA ja 4000 A) suuremmiksi. Tällöin neljän moottorin laitoksen keskijännitekojeisto jaetaan kahteen kahden

generaattorin kojeistoon, jolloin vaihevirratt puolittuvat ja oikosulkuvirratt pienenevät merkittävästi yhtä kojeistoa kohden. Tämä lisää kojeiston hankinnan kustannuksia ja vaatii enemmän tilaa kuin yksi yhtenäinen keskijännitekojeisto. Kaksi kojeistoa voidaan mitoittaa kahden generaattorin laitoksen tavoin. Lisäksi kojeistojen väliin tulee yksi kiskokatkaisijakenno, jolla voidaan, esimerkiksi huoltotilanteissa syöttää kahdella generaattorilla tuotettua sähkötehoa toisen kojeiston kautta toiselle päämuuntajista. Tässä työssä katkaisijakenno ja kojeistot on mitoitettu siten, että kennon katkaisijat voidaan laittaa kiinni, kun toisen kojeiston generaattorit eivät ole toiminnassa ja kun halutaan syöttää toisen kojeiston kautta esimerkiksi päämuuntajaa tai omakäyttömuuntajaa. Omakäyttömuuntajat on mitoitettu lasquemalla kolmen prosentin osuus kahden generaattorin tuottamasta tehosta ja valitsemalla normaalia valintaa seuraavaksi suurempi muuntaja, eli tässä tapauksessa 1600 kVA muuntajan sijasta 2000 kVA muuntaja. Kiskokatkaisijakennoa ja kaapelointien pituuksia lukuun ottamatta, kaikkea on kaksinkertainen määrä verrattuna kahden moottorin voimalaitokseen.

15 kV generaattorijännitteellä oikosulkuvirratt ja kiskostojen vaihevirratt pysyvät riittävän alhaisina, jotta voidaan käyttää yhtä yhtenäistä kojeistoa kaikille neljälle generaattorille. Tällöin keskijännitekojeistoon kuuluu neljä generaattorikohtaista kennoa, yksi mittauskenno, yksi kenno 3150 kVA omakäyttömuuntajalle ja yksi kenno 90 MVA päämuuntajalle. Pääkiskostoksi voidaan valita esimerkiksi nimellisvirraltaan 3600 A ja oikosulkukestoisuudeltaan 40 kA kojeisto (LIITE 7).

Näitä kahta generaattorijännitetason mukanaan tuomaa vaihtoehtoa ei ole huomioitu neljän 18V46-moottorin standardi-layouteissa (LIITE 2) vaan layoutit on piirretty vanhentuneen tiedon perusteella. Ennen 18V46-moottoreiden kanssa käytetyt generaattorit tuottivat vähemmän tehoa, joten oli aina mahdollista käyttää neljää generaattoria yhdessä kojeistossa, riippumatta generaattorijännitteestä. Nykyinen neljän 18V46-moottorin standardi-layout siis pitää paikkansa 15 kV generaattorijännitteellä, mutta ei 11 kV generaattorijännitteellä. 11 kV kytkinkentällä on kaksi päämuuntajaa ja omakäyttömuuntajia on niin ikään kaksi, jotka sijaitsevat sähköti-

lat sisältävän rakennuksen päädyssä. Kojeistojen mitat sähkötiloissa muuttuvat oleellisesti verrattuna nykyiseen layout-piirustukseen. Keskijännitekojeistot kuitenkin mahtuvat sähkötiloihin muutoksista huolimatta, joten myyntivaiheen piirustuksena käytettävää standardi-layouttia ei ole syytä muuttaa tältä osin. Lisäksi muuntajien määrät ja sijainti päivitetään projektikohtaisesti joka tapauksessa, joten standardi-layoutin päivittäminen ei ole tarpeellista sen vastatessa kuitenkin nykyisellään toista generaattorivaihtoehtoa.

5.3 6x18V46 pääkaaviot ja standardi-layout

Kuuden 18V46-moottorin voimalaitos on tässä työssä tutkittavista laitoksista ensimmäinen, jolla on aina kaksi keskijännitekojeistoa, omakäyttömuuntajaa ja päämuuntajaa generaattoreiden jännitetasosta riippumatta. Keskijännitekojeistojen mitoituksessa tulevat jälleen ensimmäisinä vastaan kiskostojen nimellisvirrat ja kojeistojen oikosulkukestoisuus. Tästä syystä ei ole mahdollista liittää kaikkia generaattoreita yhteen kojeistoon. 11 kV generaattorin jännitetasolla kojeistoon voidaan valita esimerkiksi 4000 A nimellisvirtainen 50 kA oikosulkukestoinen pääkiskosto, 1250 A nimellisvirtaiset generaattorikennot, 50 kA oikosulkukestoiset ja 630 A nimellisvirtaiset omakäyttömuuntajien kennot sekä 3600 A lähtökennot molemmille päämuuntajille.

15 kV generaattorijännitteellä kojeistoon riittää 2500 A nimellisvirtainen 31,5 kA oikosulkukestoinen pääkiskosto, normaalit 1250 A generaattorikennot ja 630 A omakäyttömuuntajien kennot, sekä 2500 A lähtökennot molemmille päämuuntajille. Molemmilla jännitetasoilla kojeistojen väliin lisätään vielä pääkiskoston mitoituksen mukainen kiskokatkaisijakenno. Omakäyttömuuntajiksi voidaan mitoittaa aikaisemminkin käytetyn kolmen prosentin säännön mukaan kaksi 2500 kVA muuntajaa. Päämuuntajiksi mitoitetaan ABB:n standardikokoiset 70 MVA muuntajat (LIITE 8). Kuuden moottorin 18V46-voimalaitoksen standardi-layout (LIITE 3) on oikeanlainen generaattorin valinnasta huolimatta.

5.4 8x18V46 pääkaaviot ja standardi-layout

Kahdeksan 18V46-moottorin voimalaitos asettaa sähkösuunnittelun osalta aikaisemmin mainittuja voimalaitoksia enemmän haasteita generaattoreiden määränsä vuoksi. Selkeänä eroavaisuutena pienempiin voimalaitoksiin voidaan mainita muuttuneet generaattorikaapeloinnin reitit. Tässä työssä aiemmin käsitellyillä voimalaitoksilla generaattorikaapelit kulkivat yhtä reittiä putkissa maan alla, mutta kahdeksan generaattorin voimalaitoksella reittejä on kaksi. Sähkötilojen suunnasta katsottuna, neljän ensimmäisen generaattorin kaapelit kulkevat normaalia reittiä, mutta neljän viimeisen generaattorin kaapelit kulkevat itse voimalaitosrakennuksen ulkopuolella standardi-layoutin mukaisesti (LIITE 4).

Lisäksi erityisesti 11 kV generaattorijännitteellä voimalaitoksen sähköinen mitoittaminen aiheuttaa suunnittelijalle työtä. 11 kV keskijännitekojeisto joudutaan jakamaan kolmeen osaan, eli kolmen, kolmen ja kahden generaattorin osiin nimellis- ja oikosulkuvirtojen vuoksi. Tällöin kolmen generaattorin kojeistoihin mitoitetaan 4000 A nimellisvirtaiset 40 kA oikosulkukestoiset pääkiskostot, 1250 A kennot generaattoreille ja 630 A kennot omakäyttömuuntajille, sekä 3600 A lähtökennot päämuuntajille. Lisäksi näiden kahden kolmen generaattorin kojeiston väliin tulee huoltoja varten kiskokatkaisija, joka mitoitetaan molempien kojeistojen pääkiskostojen mukaan samansuuruiseksi nimellisvirran ja oikosulkukestoisuuden mukaan. Kahden generaattorin kojeisto mitoitetaan, kuten kahden generaattorin voimalaitoksessakin, mutta kahden ja toisen, kolmen generaattorin kojeiston väliin tulee kiskokatkaisija, joka mitoitetaan kahden generaattorin kojeiston arvoja vastaavaksi, koska kiskokatkaisijan kautta ei kulje missään tapauksessa kahden generaattorin tuottamaa virtaa suurempaa virtaa.

11 kV generaattorijännitteellä kojeistokokoonpanon mukaisesti omakäyttömuuntajat mitoitetaan samalla periaatteella kuin neljänkin moottorin laitoksessa, eli valitaan normaalista mitoituksesta poiketen teholuokaltaan seuraava standardikokoinen muuntaja. Näin ollen omakäyttömuuntajiksi voidaan valita esimerkiksi kaksi 2500 kVA muuntajaa ja yksi 2000 kVA muuntaja. Päämuuntajat tulee myös mi-

toittaa kojeistokokoonpanon mukaan, joten generaattoreiden tuottaman tehon mukaisesti voidaan valita esimerkiksi kaksi 70 MVA muuntajaa ja yksi 45 MVA muuntaja.

15 kV generaattorijännitteellä voimalaitoksen kojeisto- ja muuntajakokoonpano on käytännössä kaksinkertainen versio neljän moottorin laitoksen vastaavasta. Ainoa eroavaisuus löytyy kojeistojen väliin sijoitettavasta kiskokatkaisijasta, joka mitoitetaan pääkiskostojen kanssa samansuuruiseksi. Näin ollen omakäyttömuuntajiksi voidaan valita kaksi 3150 kVA muuntajaa ja päämuuntajiksi kaksi 90 MVA muuntajaa (LIITE 9). Kahdeksan 18V46-moottorin standardi-layout-piirustuksessa (LIITE 4) mitoitus on tehty neljän moottorin laitoksen tapaisesti vanhoilla generaattoreiden tehoilla, jolloin voimalaitoksen laitekokoonpano säilyisi 15 kV generaattorijännitteen valinnan aiheuttaman kokoonpanon kaltaisena. Standardi-layouttia ei kuitenkaan ole syytä muuttaa samasta syystä kuin neljänkin generaattorin voimalaitoksen standardi-layouttia.

5.5 12x18V46 pääkaaviot ja standardi-layout

12 18V46-moottorin voimalaitos on poikkeava tässä työssä aiemmin käsitellyistä voimalaitoksista, koska sähkötilat sijaitsevat voimalaitoksen keskellä ja molemmilla puolilla sähkötiloja on kuusi moottoria. Keskijännitekojeiston osalta eteen tulee jälleen vastaavat tilanteet kuin neljän, kuuden ja kahdeksan moottorin voimalaitoksienkin kanssa. 11 kV generaattorijännitteellä kojeisto on jaettava oikosulkukestoisuuden ja kiskostojen nimellisvirtojen ylittyessä neljään kolmen generaattorin kokonaisuuteen. 15 kV generaattorijännitteellä voidaan kojeisto jakaa kolmeen neljän generaattorin kokonaisuuteen.

11 kV generaattorijännitteellä kojeistokokoonpanon vuoksi on valittava neljä 70 MVA päämuuntajaa, koska yhdessä kiskostossa on kolme generaattoria. 15 kV kojeistossa on neljä generaattoria yhtä päämuuntajaa syöttävää kennoa kohti, joten päämuuntajia tulee kolme 90 MVA muuntajaa. Jo tästä voidaan siis päätellä, että 12 18V46-moottorin voimalaitos on sähköpuolen mitoituksen osalta kohtuullisen

yksinkertaista mitoittaa kuuden ja neljän moottorin voimalaitosten mitoitusperusteella (LIITE 10).

Generaattorikaapeleiden reitit ovat, kuten kuuden moottorin voimalaitoksessakin, eli kaikkien kuuden moottorin kaapelit menevät yhteistä reittiä sähkötiloihin ja koska sähkötilat ovat keskellä voimalaitosrakennusta, jakautuvat kaapelireitit automaattisesti kahteen kuuden generaattorin kaapelointiin. 12x18V46-moottorin standardi-layoutissa (LIITE 5) voidaan havaita samat asiat kuin neljän ja kahdeksan moottorin voimalaitoksissa, eli mikäli päätetään käyttää 11 kV nimellisjännitteisiä generaattoreita, tulee voimalaitokseen lisää nykyiseen layout-piirustukseen verrattuna yksi keskijännitekojeisto, yksi omakäyttömuuntaja ja yksi päämuuntaja.

6 TALOUDELLINEN TARKASTELU

6.1 Yleistä

Taloudellisessa tarkastelussa on huomioitu suurin osa kustannustekijöistä, joihin generaattorin valinta vaikuttaa. Tarkastelu on tehty käyttäen suurpiirteisiä hintatietoja, joten tulokset eivät ole tarkkoja vaan enemmänkin suuntaa antavia. Näillä kustannustiedoilla päästään kuitenkin opinnäytetyön tavoitteisiin, koska tavoite on ymmärtää eri vaihtoehdot ja riippuvuudet kahden eri keskijännitetason välillä myös kustannusmielessä.

Tarkastelussa on otettu huomioon generaattoreiden osalta itse generaattorin hankintakustannus. Generaattorin kokonaismassan muutosta ja sen vaikutusta perustusten kustannuksiin ei ole huomioitu. Tämä olisi vaatinut tarkkoja tietoja rakennuspuolen kustannuslaskennasta ja vajaan 3000 kg:n massaero kahden eri generaattorin välillä ei kuitenkaan oletettavasti tee merkittävää eroa generaattorin perustusten rakentamisessa.

Kaapelointikustannukset ovat olleet tämän työn suuritöisin selvityskohde ja ne onkin otettu kohtuullisen monipuolisesti huomioon. Jokainen keskijännitekaapeli jokaisella voimalaitoskoolla on mitoitettu Cable Calculator- ja Shortie-ohjelmien tulosten perusteella yksitellen. Viime kädessä Cable Calculatorin antamien tulosten perusteella on selvinnyt kaapeleiden metrimäärät/voimalaitos sekä kaapeleiden lukumäärät eri kaapelireiteillä. Metrimäärien perusteella on voitu laskea kaapelointien materiaali- ja asennuskustannukset. Asennuskustannukset on mitoitettu Suomen asennustaulukoiden mukaan, jolloin kustannuksiin on huomioitu esimerkiksi työn tuottavuuden kerroin ja maakohtainen palkkataso. Materiaalikustannukset puolestaan tulivat samassa yhteydessä asennuskustannuksien kanssa, koska Citecin käyttämässä tietokannassa olevan ohjelman tietoihin on laskettu yhteen kaapeleiden materiaalikustannukset ja asennuskustannukset. Kaapelointikustannuksissa on lisäksi otettu huomioon kaapeleiden päätteiden teko. Tähän sisältyy

erikokoisten kaapeleiden päätteiden teossa käytetyt materiaalit ja asentajan työkentelyn kustannukset työn tuottavuuden ja maakohtaisen palkkatason mukaan.

Jotta kaapelointikustannukset huomioitaisiin todenmukaisesti, on työhön otettu mukaan myös maa-asennusten putkitustyöt, kaapelihyllyjen asennus asennuslattian alle, kaapelihyllyjen asennus kaapeliojaan ja itse kaapeliojan kaivuutyöt. Putkitustöiden kustannukset on saatu pienten laskutoimitusten jälkeen. Maassa olevien kaapeleiden metrimäärä piti jakaa ensin kolmella, koska yhteen putkeen mahtuu kolme kaapelia ja tämän jälkeen saatu ”putkimetrimäärä” voitiin kertoa asennuskustannuksella/m. Tähän yhden metrin asennuskustannukseen kuuluvat sekä asennuksen työ että putkimateriaalin kustannus.

Kaapelihyllyjen asennuskustannukset on laskettu vastaavalla tavalla. Ensin on selvitetty kaapeleiden määrät yhdellä hyllyllä. Tämä vaihtelee Cable Calculatorin tulosten mukaan kahdesta kolmeen kaapelia hyllyä kohden. Omakäyttömuuntajien kaapeleita voi asentaa kolme yhtä hyllyä kohden, mutta päämuuntajalle menevien kaapeleiden kanssa tuli eroavaisuuksia ja niitä saikin tietyissä tapauksissa asentaa vain kaksi hyllyä kohden. Tämä johtuu Cable Calculatoriin määritettyjen käytettävien kaapelihyllyjen leveyksistä ja kaapeleiden virtojen vaikutuksista lähellä sijaitseviin kaapeleihin. Kaapelihyllymetrien laskennan jälkeen kaapelihyllymetrit on kerrottu kaapelihyllyjen asennuskustannuksella/m, johon kuuluu sekä hyllyjen asennuksen työ että myöskin kaapelihyllyjen materiaalikustannukset.

Viimeinen kaapelointiin liittyvä huomioon otettu asia on kaapeliojan kaivuutyö. Tässä on otettu huomioon tarvittavien kaapelihyllyjen määrä asennusreittiä kohden. Mikäli kaapelihyllyjen määrä on ylittänyt yhteen kaapeliojaan mahtuvan hyllymäärän, on kustannuksiin laskettu mukaan toisen viereen kaivettavan kaapeliojan kustannus.

Omakäyttömuuntajien kohdalla huomioon on otettu muuntajien hankintakustannukset. Perustuksien, paloseinien ja öljyaltaiden kustannuksia ei ole huomioitu, mutta todettakoon, että niiden huomioiminen tämän työn kannalta olisi järkevää,

koska omakäyttömuuntajien määrät muuttuvat generaattorivalinnan myötä ja näin ollen myös rakennuspuolen kustannukset muuttuvat tältä osin merkittävästi. Tässä työssä kaikki valitut omakäyttömuuntajat ovat öljyeristeisiä. Syynä tähän on se, ettei rakennuspuolen kustannuksia saati pienjännitepuolen kaapelointeja ole huomioitu kustannuksissa. Tällöin hankintahinnaltaan kalliimman kuivamuuntajan valinta ei ole kannattavaa, mutta todettakoon jälleen, että mikäli kustannustietoja olisi mahdollista saada, tulisi kuivamuuntajan käyttömahdollisuus selvittää tähän opinnäytetyöhön liittyen. Päämuuntajien osalta huomioon on otettu muuntajien hankintakustannukset. Muuntajien mahdollisten massaerojen ja niiden vaikutusta perustuksiin ei ole huomioitu. Keskijännitekojeistojen kustannuksissa on otettu huomioon jokaisen kennon kustannus, kiskokatkaisijoiden, pääkiskostojen sekä kojeistokohtaisten huoltolaitteistojen ja dokumentointien kustannukset. Jokaisen kennon jokaiselle nimelliselle oikosulkukestoisuudelle ja vaihevirralle on omat kustannustietonsa.

6.2 Vertailun tulokset

Kustannusvertailujen tulokset on esitetty tässä opinnäytetyössä kustannustietojen salassapitovelvollisuuden vuoksi pelkästään vertailuarvoina. Tarkemmat kustannustiedot löytyvät työn liitteenä olevasta kustannustaulukosta (LIITE 11). Tuloksissa vertaillaan aina keskenään keskijännitejärjestelmän kustannustekijän kustannusta toisen generaattorijännitetason vastaavaan kustannukseen. Toisiinsa verrattavat kustannustekijät on jaettu kuuteen osaan, jotka ovat: Generaattorit, MV-kaapelointi ja kaapelireitit, omakäyttömuuntajat, päämuuntajat, keskijännitekojeistot ja kokonaiskustannukset. Kalliimpi vaihtoehto on aina merkitty 100 % arvolla ja halvempi siihen verrattavana prosenttilukuna. Tarkka kustannuserittely euroina löytyy tämän opinnäytetyön liitteestä, mikä on jätetty julkaistavasta versiosta pois salassapitovelvollisuuden vuoksi.

6.3 2x18V46-voimalaitoksen kustannusvertailu

Kahden 18V46-moottorin voimalaitoksen kustannustaulukosta 3 nähdään 11 kV nimellisjännitteisillä generaattoreilla toteutetun voimalaitoksen olevan 15 kV nimellisjännitteisillä generaattoreilla toteutettu laitosta selkeästi edullisempi vaihtoehto kokonaiskustannukseltaan. Ainoastaan keskijännitekaapeloinnilla saavutetaan säästöjä 15 kV jännitteellä verrattuna 11 kV jännitteeseen. Generaattoreiden kustannuksissa on selkeä ero, kuten muuntajienkin osalta. Keskijännitekojeistojen kustannukset ovat koko lailla samat. Tulosten perusteella voidaan siis päätellä, että käytännössä missään tapauksessa ei kannata käyttää 15 kV generaattoreita kahden generaattorin voimalaitoksessa, jollei esimerkiksi jo olemassa oleva keskijännitejärjestelmä sitä vaadi, johon voimalaitoksen keskijännitejärjestelmä liitetään.

Taulukko 3. Kahden 18V46-moottorin voimalaitoksen keskijännitejärjestelmän kustannusvertailu

	11kV / %	15kV / %
Generaattorit	89.7	100.0
MV-Kaapelointi ja kaapelireitit	100.0	93.3
Omakäyttömuuntajat	95.7	100.0
Päämuuntajat	90.9	100.0
Keskijännitekojeistot	99.0	100.0
Kokonaiskustannus	92.9	100.0

6.4 4x18V46-voimalaitoksen kustannusvertailu

Neljän 18V46-moottorin voimalaitoksen kustannustaulukosta nähdään selkeä ero kustannuksissa 15 kV generaattorivaihtoehdon hyväksi. Ainoastaan generaattoreiden kustannusten osalta 11 kV vaihtoehto on kannattavampi. Tämä johtuu 11 kV jännitteellä keskijännitekojeiston mitoituksessa vastaan tulevista oikosulku- ja nimellisvirta-arvoista, joiden johdosta kojeisto on jaettava kahteen kahden generaattorin kojeistoon. Tämän seurauksena myös muuntaja- ja kaapelikustannukset ovat keskijännitekojeistojen kustannusten lisäksi kasvaneet selvästi. Kokonaiskus-

tannuksissa nähdään taulukossa 4 huomattava 11,3 % ero 15 kV generaattorivaihtolinjan hyväksi.

Taulukko 4. Neljän 18V46-moottorin voimalaitoksen keskijännitejärjestelmän kustannusvertailu

	11kV / %	15kV / %
Generaattorit	89.7	100.0
MV-Kaapelointi ja kaapelireitit	100.0	64.1
Omakäyttömuuntajat	100.0	66.7
Päämuuntajat	100.0	70.0
Keskijännitekojeistot	100.0	73.9
Kokonaiskustannus	100.0	88.7

6.5 6x18V46-voimalaitoksen kustannusvertailu

Kuuden 18V46-moottorin voimalaitoksen keskijännitejärjestelmän kustannuksissa 11 kV generaattorivaihtolinjan valinta osoittautuu 15 kV generaattorivaihtolinjalla toteutettua voimalaitosta kannattavammaksi. Keskijännitekaapelointien ja kojeistojen osalta 15 kV generaattorivaihtolinja osoittautuu edullisemmaksi, mutta generaattoreiden ja muuntajien kustannukset kääntävät väkän 11 kV eduksi. Taulukosta 5 nähdään nämä kustannukset ja niiden vaikutus kokonaiskustannuksiin.

Taulukko 5. Kuuden 18V46-moottorin voimalaitoksen keskijännitejärjestelmän kustannusvertailu

	11kV / %	15kV / %
Generaattorit	89.7	100.0
MV-Kaapelointi ja kaapelireitit	100.0	76.8
Omakäyttömuuntajat	92.9	100.0
Päämuuntajat	90.9	100.0
Keskijännitekojeistot	100.0	83.5
Kokonaiskustannus	96.3	100.0

6.6 8x18V46-voimalaitoksen kustannusvertailu

Kahdeksan 18V46-moottorin voimalaitoksessa tullaan jälleen kojeistojen mitoituksen myötä neljän moottorin laitosta vastaavien asioiden äärelle. Keski-jännitekojeisto on jaettava kahdeksalla generaattorilla kolmeen osaan oikosulku- ja vaihevirtojen vuoksi. Tämä lisää merkittävästi kaapelointi-, muuntaja- ja kojeistokustannuksia verrattuna 15 kV keski-jännitejärjestelmään, jossa kojeisto voidaan jakaa vain kahteen osaan. Kahdeksan 18V46-moottorin kustannusvertailu nähdään taulukosta 6.

Taulukko 6. Kahdeksan 18V46-moottorin voimalaitoksen keski-jännitejärjestelmän kustannusvertailu

	11kV / %	15kV / %
Generaattorit	89.7	100.0
MV-Kaapelointi ja kaapelireitit	100.0	62.4
Omakäyttömuuntajat	100.0	84.2
Päämuuntajat	100.0	85.2
Keski-jännitekojeistot	100.0	90.0
Kokonaiskustannus	100.0	94.1

6.7 12x18V46-voimalaitoksen kustannusvertailu

12 18V46-moottorin voimalaitoksella kokonaiskustannukset osoittavat edelleen 15 kV generaattorin olevan kannattavampi vaihtoehto. Ero johtuu jälleen keski-jännitekojeiston jakamisesta. 11 kV keski-jännitekojeisto on jaettava neljään kolmen generaattorin osaan, mikä lisää jälleen muuntaja- kaapelointi- ja kojeistokustannuksia verrattuna 15 kV generaattorijännitteen järjestelmään, jossa voimalaitoksen kojeistot voidaan jakaa kolmeen neljän generaattorin kokonaisuuteen. Mainittakoon, että 1,2 % ero ei vertailuarvona tunnu suurelta, mutta euroina ero on merkittävä ja samaa suuruusluokkaa neljän ja kahdeksan 18V46-moottorin voimalaitosten kanssa. 12 18V46-moottorin kustannusvertailun tulokset ovat nähtävillä taulukossa 7.

Taulukko 7. 12 18V46-moottorin voimalaitoksen keskijännitejärjestelmän kustannusvertailu

	11kV / %	15kV / %
Generaattorit	89.7	100.0
MV-Kaapelointi ja kaapelireitit	100.0	74.8
Omakäyttömuuntajat	100.0	92.3
Päämuuntajat	100.0	91.9
Keskijännitekojeistot	99.7	100.0
Kokonaiskustannus	100.0	98.8

6.8 Taloudellisen tarkastelun yhteenveto ja huomiot

Taloudellisen tarkastelun tuloksista voidaan nähdä selkeähkö linja generaattorivallinnan suhteen. Aina, kun keskijännitekojeisto joudutaan jakamaan 11 kV nimellijännitteisellä generaattorilla useampaan osaan kuin 15 kV nimellijännitteisellä generaattorilla, tulee vastaan se piste, jolloin 15 kV generaattorivaihtoehto on kannattava. Näin ollen esimerkiksi neljän, kahdeksan ja 12 18V46-moottorin voimalaitokset on syytä mitoittaa 15 kV generaattoreilla. Kojeistojen jakautuessa yhtä suuriin osiin molemmilla generaattorivaihtoehtoilla, on otettava huomioon erityisesti kaapelointien mukanaan tuomat kustannukset.

Lisäksi on kuitenkin huomioitava, että tässä työssä on tarkasteltu 18V46-voimalaitoksia standardi-layoutien pohjalta, mikä tarkoittaa, että kaapelointimatkat on pyritty minimoimaan. Todellisuudessa kaapeloinnit ovat käytännössä aina pitempiä ja tämä puoltaa 15 kV generaattorivaihtoehtoa. Moottorihallin, sähkötilojen ja kytkinkentän välisten etäisyyksien kasvattamisen myötä tulee luonnollisesti jossain vastaan se piste, jolloin 15 kV generaattorivaihtoehto on kannattavampi kaapelointikustannuksissa tulevan säästön vuoksi. Tätä pistettä on kuitenkin vaikeata määritellä, koska tätä opinnäytetyötä ei ole tehty kuvitteellisten voimalaitosten varaan. Todellisissa voimalaitosprojekteissa tämä olisi toki mahdollista, koska tuolloin tiedetään voimalaitoksen koko ja moottorihallin, sähkötilojen ja kytkinkentän väliset etäisyydet voimalaitokselle piirretyn layoutin perusteella.

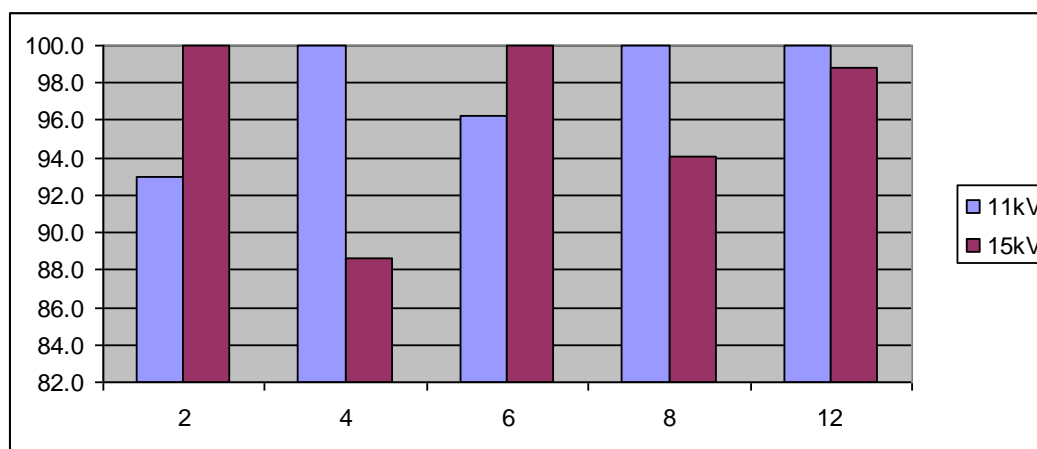
Standardi-layouteissa tämä piste ei tullut vastaan, kuten nähdään kahden ja kuuden 18V46-moottorin taloudellisista tarkasteluista.

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kahden, neljän, kuuden, kahdeksan ja kahdentoista 18V46-moottorin voimalaitosten keskijännitejärjestelmien kustannuksia kahdella eri generaattorivaihtoehdolla. Työssä käytetyt generaattorivaihtoehdot olivat 11 kV ja 15 kV nimellisjännitteisiä, joten jännitetasojen eron mukanaan tuomien vaikutusten johdosta oli odotettavissa eroavaisuuksia keskijännitejärjestelmien mitoituksissa.

Työ eteni generaattori- ja muuntajavalintojen kautta oikosulku- ja vaihevirtojen laskentaan, minkä jälkeen oli mahdollista mitoittaa keskijännitekojeistot ja keskijännitekaapelit voimalaitoksille. Mitoitusten jälkeen kerättiin tarvittavat kustannustiedot ja yksikköhinnat, jotta saataisiin mahdollisimman todenmukainen kuva keskijännitejärjestelmän kustannuksista. Huomioitavaa kuitenkin on, että rakennuspuolen kustannuksia ja kuljetuskustannuksia ei ole huomioitu tässä työssä käytännössä lainkaan ja on oletettavaa, että nämä kaksi tekijää vaikuttaisivat olennaisesti tämän työn tuloksiin. Tällöin siis, esimerkiksi lisääntynyt muuntajien määrä vaikuttaa monella muullakin tavoin kuin vain hankintakustannuksiensa myötä. Kun kustannustiedot oli kerätty ja keskijännitejärjestelmät mitoitettu, voitiin tehdä Excel-pohjainen kustannustaulukko jokaiselle tutkitulle voimalaitoskoolle.

Työn tuloksia voidaan pitää mielenkiintoisina. Kustannustaulukon antamien tulosten perusteella voitiin havaita, että 11 kV generaattorivaihtoehdo oli edullisempi kahden ja kuuden 18V46-moottorin voimalaitoksilla, kun taas 15 kV generaattorivaihtoehdo oli edullisempi neljän, kahdeksan ja kahdentoista 18V46-moottorin voimalaitoksilla. Nämä tulokset on esitetty kuvassa 12 pylväskaaviona.



Kuva 12. Keskipännitejärjestelmien kokonaiskustannusten vertailu tutkituilla 18V46-voimalaitoksilla

Työn aikana selvisi, että kriittinen tekijä keskipännitejärjestelmän mitoituksessa on nimenomaan keskipännitekojeisto. Oikosulkukestoisuudet ja kiskostojen nimellisvirrat ovat rajoittava tekijä ja niiden ylittyessä on keskipännitekojeisto aina jaettava useampaan osaan. Tämä tarkoittaa esimerkiksi kojeistokohtaisten muuntajien, kiskokatkaisijoiden ja mittauskennojen vuoksi rajusti kasvavia keskipännitejärjestelmän kustannuksia. Lisäksi kaapelointikustannuksissa voidaan havaita selkeä etu 15 kV generaattorivaihtoehdon hyväksi. Lähes poikkeuksetta 15 kV keskipännitteellä voidaan jättää yksi kaapeli vaihtetta kohden pois tai ainakin pienentää johtimen poikkipintaa verrattuna 11 kV järjestelmään. 15 kV nimellisjännitteisellä generaattorilla saavutetaan todellisissa projekteissa varmasti suurempia etuja kaapelointien osalta kustannusmielessä kuin tässä työssä, koska oikeissa voimalaitosprojekteissa kaapeloinnit ovat poikkeuksetta tässä työssä käytettyihin standardilayoutteihin piirrettyjä kaapelointeja pitempiä.

Työn lopputuloksen voi tiivistää toteamalla, että 15 kV generaattorivaihtoehto on aina silloin kannattava valinta voimalaitokselle, kun 15 kV jännitetason valinnan avulla tarvitaan vähemmän yhtenäisiä keskipännitekojeistoja kuin 11 kV generaattorivaihtoehdon valinnalla. Lisäksi erittäin suurena kustannustekijänä on otettava

huomioon voimalaitosten keskijännitekaapeloinnit, joiden vaikutus kustannuslaskelmiin kasvaa kaapelointien pituuksien kasvaessa.

LIITTEET

LIITE 1 2x18V46 Standardi-layout

LIITE 2 4x18V46 Standardi-layout

LIITE 3 6x18V46 Standardi-layout

LIITE 4 8x18V46 Standardi-layout

LIITE 5 12x18V46 Standardi-layout

LIITE 6 2x18V46 11kV ja 15kV Single-line

LIITE 7 4x18V46 11kV ja 15kV Single-line

LIITE 8 6x18V46 11kV ja 15kV Single-line

LIITE 9 8x18V46 11kV ja 15kV Single-line

LIITE 10 12x18V46 11kV ja 15kV Single-line

LIITE 11 Excel-pohjainen kustannuslaskelma