



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# Keskijänniteverkon haaran syöttäminen varavoimakoneella

Juuso Rauhala

Opinnäytetyö  
Elokuu 2016  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka

RAUHALA, JUUSO:

Keskijänniteverkon haaran syöttäminen varavoimakoneella

Opinnäytetyö 83 sivua, joista liitteitä 12 sivua  
Elokuu 2016

---

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan keskijänniteverkon syöttämistä siirrettävällä varavoimakoneella. Työn tavoitteita olivat varavoimakoneen generaattorin ja muuntajan mallinnus Trimble NIS-verkkotietojärjestelmään, varavoimakoneiden keskijänniteverkkoon kytkemiseen liittyvien vaiheiden selvittäminen sekä varavoimakoneiden käyttöpaikkojen tutkiminen Tampereen Sähköverkko Oy:n verkosta. Työn tavoitteet saavutettiin ja tuloksia voidaan käyttää sähköverkkoyhtiöissä, jotka ovat kiinnostuneita aiheesta.

Opinnäytetyössä käsitellään sähköverkkoyhtiön toimitusvarmuutta ja varavoimakoneen rakennetta sekä toimintaa. Opinnäytetyötä varten tehtiin kysely, jonka tarkoituksena oli kartoittaa muiden verkkoyhtiöiden kokemuksia varavoimakoneen käytöstä keskijänniteverkossa. Kyselystä selvisi, että opinnäytetyön aihe on sähkön toimitusvarmuuden parantamiseksi ajankohtainen monelle verkkoyhtiölle.

Opinnäytetyön tekemisen aikana havaittiin, että Trimble NIS verkkotietojärjestelmä ei soveltunut saarekekäytön mallintamiseen. Mallinnuksessa onnistuttiin luomalla järjestelmään päämuuntaja varavoimakoneen generaattorin sekä syöttömuuntajan sähköisillä arvoilla. Varavoimakonetta kytkettäessä keskijänniteverkkoon tarvitaan syöttömuuntaja, joka muuntaa jännitteen oikean suuruiseksi. Tämän lisäksi verkon suojausten täytyy toimia. Tehokkain vaihtoehto on rakentaa varavoimakoneesta ja syöttömuuntajasta kokonaisuus, jota voidaan käyttää pien- sekä keskijänniteverkkojen syöttämisessä.

Keskijänniteverkossa tutkittavien varavoimakoneiden sujuvassa käytössä on kehitettävää. Ilmajohdollinen sähköverkko kulkee usein vaikeasti lähestyttävässä maastossa ja koneiden suuri koko asettaa haasteita kytkennän turvalliselle suorittamiselle. Suunnitelmalla käyttöpaikat etukäteen, pystytään esimerkiksi vikatilanteessa nopeasti toimittamaan varavoimakone sopivalle paikalle.

---

Asiasanat: varavoimakone, keskijänniteverkko, dieselgeneraattori, toimitusvarmuus

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme Electrical Engineering  
Option of Electrical Power Engineering

RAUHALA, JUUSO:

Power distribution for medium voltage networks using diesel generators

Bachelor's thesis 83 pages, appendices 12 pages  
August 2016

---

This Bachelor's thesis focused on studying power distribution for medium voltage networks using transferable diesel generators. The aims were to create a model of diesel generators and transformers using the Trimble NIS-network information system, to map out all necessary steps that need to be taken when connecting diesel generators to medium voltage networks and to find locations of use suitable for diesel generators within the power grid owned by Tampere Sähköverkko Oy. These aims were achieved and the results can be used by electricity distribution companies.

The transmission reliability of electricity distribution companies and the structure of diesel generators were the main discussed in the theoretical part of the thesis. An inquiry was also made the purpose of mapping out the experiences other distribution companies have had in using diesel generators in medium voltage networks. Many companies that answered the inquiry replied that the subject of this thesis was relevant to them. They see diesel generators as one way of improving electricity transmission reliability.

The Trimble NIS network information system was not directly susceptible of modeling diesel generators. For the purposes of this thesis, the modeling of diesel generators was done by adding a power transformer, which had the same electronic values as diesel generators and transformers into the NIS system. Transformers are needed to distribute power for medium voltage networks. The most effective way of using diesel generators is to build a single entity which includes diesel generators as well as transformers. That entity can then also be used in medium voltage and low voltage networks.

There is room for improvement in the use of diesel generators in medium voltage networks. Overhead wires are often in inaccessible places and transporting diesel generators to those areas can be difficult. However, for faster transportation of such diesel generators, the locations need to be planned in advance.

---

Key words: diesel generator, medium voltage network, transmission reliability

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	SÄHKÖVERKKOYHTIÖN TOIMITUSVARMUUS JA VARAVOIMAKONE .....	8
2.1	Sähkömarkkinalaki.....	8
2.2	Sähköverkkoyhtiön toimitusvarmuus ja sen parantaminen .....	9
2.3	Siirrettävä varavoimakone .....	12
2.3.1	Dieselmoottori .....	12
2.3.2	Tahtigeneraattori.....	13
2.3.3	Ohjaus- ja valvontakojeisto.....	15
2.4	Siirrettävä varavoimakone osana sähköjakeluverkkoa.....	15
2.5	Varavoimakoneen toimintaan määräävät säännökset .....	16
3	TAMPEREEN SÄHKÖVERKKO OY JA VARAVOIMAKONEET .....	17
3.1	Tampereen Sähköverkko Oy .....	17
3.2	TSV:n sähköjakeluverkko .....	18
3.3	Varavoimakoneet .....	21
3.3.1	814 kVA varavoimakone .....	21
3.3.2	200 kVA varavoimakone .....	23
3.4	Trimble NIS-verkkotietojärjestelmä .....	24
4	VARAVOIMAKONEIDEN KÄYTTÄMINEN KESKIJÄNNITEVERKOSSA .....	26
4.1	Varavoimakoneiden käyttötilanteet .....	26
4.2	Liikuteltavuus .....	27
4.3	Varavoimakoneiden kytkentä sähköverkkoon.....	28
4.3.1	Liitântä .....	30
4.3.2	Sähköinen suojaus .....	32
4.4	Varavoimakoneiden käytön sähkötyöturvallisuus .....	35
4.5	Varavoimakoneen mallintaminen Trimble NIS- verkkotietojärjestelmään.....	36
5	814 kVA VARAVOIMAKONEEN KYTKENTÄPAIKAT .....	42
5.1	Kämmenniemi.....	42
5.1.1	Laskentatulokset .....	43
5.1.2	Mahdollinen kytkentäpaikka .....	44
5.2	Taulaniemi .....	47
5.2.1	Laskentatulokset .....	49
5.2.2	Mahdollinen kytkentäpaikka .....	49
6	200 kVA VARAVOIMAKONEEN KYTKENTÄPAIKAT .....	52
6.1	Viitapohja .....	52

6.1.1	Laskentatulokset .....	53
6.1.2	Mahdollinen kytkentäpaikka .....	54
6.2	Kuoranta .....	56
6.2.1	Laskentatulokset .....	58
6.2.2	Mahdollinen kytkentäpaikka .....	59
7	MUIDEN VERKKOYHTIÖIDEN KÄYTTÖKOKEMUKSET VARAVOIMAKONEISTA.....	61
7.1	Kysely.....	61
7.2	Kyselyn sisältö .....	62
7.3	Kyselyn tulokset.....	62
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	67
	LÄHTEET .....	69
	LIITTEET.....	72
	Liite 1. Kyselylomakkeen kysymykset.....	72
	Liite 2. Valmistajan tiedot 814 kVA varavoimakoneesta.....	75
	Liite 3. 814 kVA varavoimakoneen dieselmoottorin tiedot .....	76
	Liite 4. 814 kVA varavoimakoneen vaihtosähköpiirikaavio .....	77
	Liite 5. 814 kVA varavoimakoneen piirikaavion positioiden tarkennukset ....	78
	Liite 6. Valmistajan tiedot 200 kVA varavoimakoneesta.....	79
	Liite 7. 200 kVA varavoimakoneen dieselmoottorin tiedot .....	80
	Liite 8. 200 kVA varavoimakoneen vaihtosähköpiirikaavio .....	81
	Liite 9. 200 kVA varavoimakoneen piirikaavion positioiden tarkennukset ....	82
	Liite 10. Trimble NIS mallinnuksen osat .....	83

**LYHENTEET JA TERMIT**

TSV	Tampereen Sähköverkko Oy
NIS	Trimble NIS verkkotietojärjestelmä
EU	Euroopan Unioni
kj	keskijännite
pj	pienjännite

## 1 JOHDANTO

Toimivalla ja keskeytyksettömällä sähkönsiirrolla on nykyisessä yhteiskunnassa erittäin ratkaiseva rooli. Tämä on otettu huomioon lainsäädännössä, jolla pyritään kasvattamaan sähköverkkoyhtiöiden toimitusvarmuutta asteittain vuoteen 2029 mennessä. Sähköverkkoyhtiöt joutuvatkin nyt kehittämään toimintaansa ja investoimaan sähköverkkojensa toimitusvarmuuteen. Yhtenä vaihtoehtona toimitusvarmuuden kohottamiseksi on varavoimakoneiden käyttöönotto keskijänniteverkossa. Liikuteltavia varavoimakoneita käytetään nykyään laajasti pienjänniteverkossa mutta tässä työssä tarkastellaan niiden käyttöä yksittäisen keskijänniteverkon haaran syöttämisessä. Opinnäytetyön aihe tulee Tampereen Sähköverkko Oy:ltä ja työn tavoitteita ovat siirrettävien varavoimakoneiden kytkentä keskijänniteverkkoon, varavoimakoneiden käyttökohteiden etsiminen sähköverkosta, dieselgeneraattorien mallintaminen verkkotietojärjestelmään sekä muiden verkkoyhtiöiden kokemusten selvittäminen varavoimakoneiden käytöstä.

Varavoimakoneiden käyttäminen keskijänniteverkossa vaatii niiden tuottaman jännitteen kasvattamisen keskijänniteverkkoon sopivaksi. Työssä käydään läpi koneiden kytkentään liittyviä ongelmia ja tutkitaan eri mahdollisuuksia käyttämisen parantamiseksi. TSV:n omistamasta sähköverkosta tarkastellaan keskijänniteverkon haaroja, joissa varavoimakoneita voitaisiin hyödyntää. Valitut verkon kohdat saattoivat olla fyysisesti hankalia koneiden käytölle, joten työssä esitetään parannusehdotuksia liittämisen helpottamiseksi.

Sähköverkkoyhtiöillä on käytössään nykyaikaiset verkkotietojärjestelmät, joiden avulla voidaan suorittaa simuloituja verkostolaskentoja. Mallintamalla varavoimakoneen generaattori järjestelmään pystytään sen toimintaa tutkimaan eri verkon osissa. Tämän avulla voidaan tulevaisuudessa etukäteen simuloida varavoimakoneen käyttö halutussa kohteessa ja selvittää täyttyvätkö sähkönjakelun laadun kriteerit.

Työ keskittyy TSV:n varavoimakoneiden käyttömahdollisuuksien tutkimiseen mutta työhön liittyen suoritettiin kysely myös muille verkkoyhtiöille. Kyselyllä haluttiin selvittää heidän käyttökokemuksiaan varavoimakoneista ja tarkastella kuinka sähkönjakelun toimintavarmuutta on muissa verkkoyhtiöissä pyritty parantamaan.

## 2 SÄHKÖVERKKOYHTIÖN TOIMITUSVARMUUS JA VARAVOIMAKONE

Vuonna 2013 voimaan tulleen sähkömarkkinalain muutoksen vaikutuksena sähköverkkoyhtiöt parantavat sähköverkkojensa sähkön toimitusvarmuutta. Rakentamalla säävarmaa sähköverkkoa voidaan toimitusvarmuutta kasvattaa parhaiten ja tämä on myös yksi lain tavoitteista. Verkkoyhtiöiden siirtohintojen korottamisesta kertoneet ilmoitukset vuoden 2016 talvelle ovat seurausta sähköverkon toimitusvarmuuteen investomisesta. On olemassa monia tapoja parantaa sähköverkon toimitusvarmuutta. Monella yhtiöllä on käytössään varavoimakoneita, joilla voidaan nopeasti saarekekäyttönä ehkäistä ja lyhentää asiakkaiden kokemia sähkökatkoksia.

### 2.1 Sähkömarkkinalaki

Suomessa tuli 1.9.2013 voimaan uusi sähkömarkkinalaki. Lain muutoksen tärkeimpiä tavoitteita olivat EU:n 3. energian sisämarkkinapakettin muutosten täytäntöönpaneminen, sähköverkkoyhtiöiden toimitusvarmuuden sekä palveluiden tason nostaminen ja osittain vanhentuneen lainsäädännön ajanmukaistaminen (Nurmi 2013, 3). Lain uudistamisen taustalla olivat joulukuussa 2011 Lounais- ja Etelä-Suomea riepottelleet myrskyt, jotka aiheuttivat pahimmillaan 15 vuorokauden mittaisia sähkökatkoksia. Sähköt olivat myrskyjen aikana poikki jopa 570 000 käyttäjältä. Uudistamalla lakia haluttiin vastaisuudessa välttää näin mittavat sähkökatkokset. (Hallitus 2013, 9.)

Lain muutoksella haluttiin parantaa sähkönjakelun toimitusvarmuutta asettamalla sähköverkkoyhtiöille uudet vaatimukset toimitusvarmuudesta. Lain sisällön mukaan sähkönjakeluverkko on suunniteltava, rakennettava ja ylläpidettävä siten, ettei myrskyn tai lumi-kuorman aiheuttama vika keskeytä sähkönjakelua asemakaava-alueella yli 6 tunniksi eikä haja-asutusalueella yli 36 tunniksi. Aikarajat eivät koske keskeytyksiä, jotka ovat aiheutuneet laiterikoista esimerkiksi päämuuntajan vioittumisesta. Sähköverkkoyhtiöiden on täytettävä toimitusvarmuutta koskevat uudet vaatimukset 15 vuoden kuluessa lain voimaantulosta eli vuoden 2028 loppuun mennessä. Siirtymä on kuitenkin asetettu kolmiportaisesti. Vaatimukset on täytettävä 50 % yhtiön sähkön käyttöpaikoista vuonna 2019, vuoden 2023 lopussa 75 % käyttöpaikoista sekä vuoden 2028 lopussa 100 % käyttöpaikoista. Vuoden 2019 ja 2023 välitavoitteet eivät kuitenkaan koske vapaa-ajanasuntoja. Toimitusvarmuusvaatimukseen on mahdollista hakea Energiamarkkinavirastolta lisäaikaa



painavista tai erittäin painavista syistä. Lisäaikaa voi esimerkiksi hakea jakeluverkonhaltija, joka joutuu maakaapeloimaan merkittävän osuuden omistamastaan verkosta. (Nurmi 2013, 9; Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588.)

Vakiokorvaus on sähköverkkoyhtiön asiakkailleen maksama korvaus, jonka suuruus riippuu sähkökatkokkien pituudesta. Vuonna 2013 voimaan tullut laki kasvatti varsinkin pitkistä katkoksista maksettavien vakiokorvauksien suuruutta. Vakiokorvaukset maksetaan asiakkaan vuotuisen siirtopalvelumaksun pohjalta. Korvauksella on kuusi porrasta ja sen suuruus asiakkaan vuotuisesta siirtopalvelumaksusta on (Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588):

1. 10 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 12h mutta vähemmän kuin 24h
2. 25 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 24h mutta vähemmän kuin 72h
3. 50 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 72h mutta vähemmän kuin 120h
4. 100 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 120h mutta vähemmän kuin 192h
5. 150 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 192h mutta vähemmän kuin 288h
6. 200 %, kun keskeytysaika on ollut vähintään 288h.

Asiakkaalle maksettavan vakiokorvauksen enimmäissuuruus on kuitenkin 2000 € (Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588). Kokonaisuudessaan lainmuutoksen voidaan katsoa aiheuttavan huomattavia kuluja sähköverkkoyhtiöille, kun niiden täytyy rakentaa nopealla aikataululla runsaasti investointeja vaativaa säävarmaa sähköverkkoa. Sähkyhtiöiden asiakkaille uudistunut laki on näkynyt tämän vuoden alussa siirtohintojen korotuksella, jolla siirtoyhtiöt pyrkivät rahoittamaan verkon toimitusvarmuuden parantamiseksi tehtäviä investointeja. (Energiavirasto 2016, 6–7.)

## **2.2 Sähköverkkoyhtiön toimitusvarmuus ja sen parantaminen**

Sähkömarkkinalaissa vaaditaan sähköverkkoyhtiöiltä parempaa sähkönjakelun toimitusvarmuutta. Toimitusvarmuuden kehittämiseksi on olemassa erilaisia keinoja. Keskeytyksien määrää ja kestoa voidaan vähentää esimerkiksi maakaapeloimalla ilmaverkkoa, rakentamalla sähkölinjoja teiden varsille, korvaamalla avojohtolinjat päällystetyllä PAS-johdolla, lisäämällä kauko-ohjattavia kytkinlaitteita sekä käyttämällä varavoimalähteitä.

Rakentamalla sähkölinjoja teiden varsille voidaan parhaimmillaan vähentää verkon viikoja jopa puolella verrattuna metsässä kulkevaan sähkölinjaan. Maaseudun sähköistämisen aikana 1950- ja 1960-luvulla pyrittiin rakentamaan sähkölinjat minimaalisella materiaalmäärällä, jolloin ne usein raivattiin suoriksi linjoiksi metsiin. Tämän seurauksena Suomen jakeluverkosta merkittävä osa sijaitsee vieläkin metsässä. Viime vuosien myrskyjen aiheuttamien sähkökatkokkien myötä on viimeistään havahduttu, että metsässä oleva sähkölinja on alttiimpi vioille sekä huomattavasti hankalampi huoltaa ja korjata. Nykyään uudet sähkölinjat rakennetaan mahdollisuuksien mukaan teiden varsille. Sähköjohdot pyritään rakentamaan sille puolella tietä, jonne päin yleensä tuulee. Tämän avulla voidaan vähentää linjalle kaatuvien puiden määrää. Siirrettäessä sähköjohtoja metsistä teiden viereen vähentyvät verkon viat, huoltaminen sekä kunnossapito helpottuvat, metsiin ei tarvitse hakata uusia reittejä kaatamalla puita, sähkölinjat ovat lähellä kuormia ja johtojen kokonaispituudet eivät lopulta kasva paljon. (Lakervi & Partanen 2008, 143–144.)

Keskijänniteverkon käyttövarmuutta voidaan parantaa korvaamalla avojohdot päällyste-tyillä PAS-johdoilla. Niiden eristysrakenne on yksinkertainen ja mahdollistaa avojohtoa kapeamman johtokadun. PAS-johdot ovat kuitenkin noin 30 % kalliimpia kuin avojohdot. Käyttövarmuudeltaan PAS-johdot ovat avojohtoja parempia, sillä eristyksen ansiosta vaihejohtojen hetkellinen toisiinsa koskettaminen ei johda läpilyönteihin ja PAS-johto linjalle lentävät risut tai eläimet eivät aiheuta vikaa. Linjalle kaatunut puu tai oksa ei aiheuta välitöntä vikaa mutta ajan kuluessa eristysrakenne heikkenee ja vaurioituu. Tästä seuraa usein pysyvä keskeytys. Johtoa vasten nojaava puu saattaa synnyttää suuren vikaimpedanssin ja maasulunsuojaus ei tunnista vikaa, kun maasulkuvirta on alhainen. Tästä syystä PAS-johto linjat täytyy tarkistaa jokaisen myrskyn jälkeen. PAS-johdot sijoitetaankin teiden varsille, joista voidaan liikkumalla tietä pitkin tarkistaa, ettei linjaa vasten nojaa puuta, jota verkon suojaus ei tunnista. (Lakervi & Partanen 2008, 145.)

Sähköverkon maakaapelointi on varmin tapa parantaa sähkönjakelun toimitusvarmuutta. Ilmajohdoverkossa tuhoa aiheuttavat myrskyt eivät juurikaan kosketa maakaapeloitua verkkoa ja sähkömarkkinalain vaatimuksiin päästäkseen on monen sähköverkkoyhtiön kaapeloitava huomattava osa verkostaan. Maakaapeliverkkoa on kuitenkin kalliimpi ja hitaampi rakentaa kuin avojohtoista ilmaverkkoa. Kaapelissa syntyvän vian tarkka pai-

kannus ja korjaus ovat myös hitaampia. Kaapeliverkossa pyritäänkin rakentamaan varayhteyksiä, jotta yhden vian korjaamisen aikana, pystyttäisiin toimittamaan sähköä varayhteyttä pitkin ilman pitkiä keskeytyksiä. (Lakervi & Partanen 2008, 146–149.)

Lisäämällä keskijänniteverkkoon kauko-ohjattavia kytkinlaitteita voidaan vähentää sähköjakelun keskeytyksien pituuksia asiakkaille. Kauko-ohjattavat kytkinlaitteet eivät vähennä keskeytyksien määrää mutta niillä voidaan etäkäyttönä erottaa vikapaikka verkosta ja järjestää mahdollisimman monelle asiakkaalle sähkönsyöttö varayhteyksiä pitkin. Vikapaikan erottamisella pyritään vähentämään sähköttä olevien asiakkaiden määrää. Jos kauko-ohjattavia kytkinlaitteita verrataan käsin säädettäviin, niin niiden käyttönopeus on huomattavasti parempi, koska maastoon ei tarvitse lähettää työntekijöitä tekemään manuaalisesti muutoksia. Verkon rakenteesta riippuen pystytään parhaimmillaan minuuteissa vähentämään sähköttä olevien asiakkaiden määrää kauko-ohjattavilla erottimilla. Ilman erottamista koko keskijänniteverkon lähtö olisi jännitteetön, kunnes vika saataisiin korjattua tai tehtyä maastossa manuaalisesti verkon erottamiset. Keskijänniteverkon lähdölle voidaan sopivaan kohtaan asettaa kauko-ohjattava suojareleillä varustettu maastokatkaisija. Sen avulla voidaan katkaista sähköt katkaisijan jälkeisen verkon alueelta. Jos siellä tapahtuu vika niin sähköverkko, joka on lähdön alusta katsottua ennen katkaisijaa, ei koe vikaa ja siitä syntyvää sähköjakelun keskeytystä. (Lakervi & Partanen 2008, 151–152.)

Verkkoyhtiöillä on käytössään varavoimakoneita, joita voidaan käyttää 20 kV:n sähköverkon häiriötilanteissa. Koneilla pystytään syöttämään ehjänä olevaa verkon osaa, jos häiriöstä on aiheutunut jännitteen katkeaminen. Varavoimakoneiden tuottamat tehot eivät ole kovin suuria verrattuna verkon kokonaistehoihin mutta paikallisesti käytettynä niillä voidaan syöttää keskijänniteverkon yksittäistä haaraa tai lähtöä. Varavoimakoneita voidaan käyttää häiriöalueella olevalla sähköasemalla tai kytkeä muuntajan kautta 20 kV:n johtimiin. Varavoimakoneet voivat olla kiinteitä esimerkiksi sähköasemalla tai siirrettäviä. Siirrettävien koneiden etuna on liikuteltavuus, jonka ansioista ne voidaan kuljettaa häiriöalueelle. Varavoimakoneiden käyttäminen voidaan ottaa huomioon sähköverkko-yhtiön verkkostrategiassa. Sähköverkkoa voidaan suunnitella ja rakentaa säteittäisesti kohteissa, joissa rengasyhteyksien rakentaminen olisi kallista tai vaikeaa. Katkoksen aikana varavoimakoneella pystytään syöttämään ehjänä olevaa verkon osaa ja näin pienentämään katkoksesta koituvaa haittaa. (Lakervi & Partanen 2008, 133.)

## 2.3 Siirrettävä varavoimakone

Varavoimakoneella pystytään tuottamaan sähköenergiaa, kun normaali sähkönjakelu on katkennut. Varavoimakoneella tarkoitetaan laitteistoa, joka toimii polttoaineella ja tuottaa sähköä. Hyvä esimerkki varavoimakoneesta on aggregaatti. Suuria kymmeniä tai satoja kVA tuottavia aggregaatteja kutsutaan varavoimakoneiksi. Koneet koostuvat polttomoottorista, tahtigeneraattorista sekä ohjaus- ja valvontakojeistosta. Yleisimmät varavoimakoneet toimivat dieselillä, jonka kemiallisen energian polttomoottori muuttaa akselin mekaaniseksi energiaksi. Akseli on kiinnitetty generaattoriin, jonka roottorin pyöriminen ulkoisen energialähteen avulla muodostaa sähköenergiaa. Dieselmoottorin ja tahtigeneraattorin muodostamaa varavoimakonetta kutsutaan usein dieselgeneraattoriksi. (Hakala ym. 2013, 85, 90.)

Varavoimakoneen dieselmoottori ja generaattori on asennettu saman teräsalustan päälle siten, että pyörivien akselien yhdenmukaisuus ja kohdistus ovat riittävän hyviä. Dieselgeneraattorin voimantuotto voidaan toteuttaa kahdella tavalla. Kaksilaakerisella generaattorilla voimansiirto tapahtuu joustavan kytkimen välityksellä. Yksilaakerinen generaattori on puolestaan kytketty jäykästi dieselmoottorin vauhtipyörään. (Hakala ym. 2013, 90.)

Siirrettävä varavoimakone on rakennettu alustan päälle. Koneen nimellisteho määrittää koneen fyysisen koon. Pieniä noin 200 kVA nimellistehoon asti olevia varavoimakoneita voidaan liikuttaa vielä henkilö- tai pakettiautolla. Ne ovat usein rakennettu auton perässä vedettäväksi perävaunuksi. Suuren nimellistehon omaavia varavoimakoneita liikuttamaan tarvitaan jo traktori tai kuorma-auto. Ne voidaan rakentaa suoraan täysperävaunuun tai kuljetuskonttiin, joka asettaa fyysisiä haasteita niiden käytölle.

### 2.3.1 Dieselmoottori

Dieselmoottori on polttomoottori, joka tuottaa mekaanista energiaa polttamalla palotilassaan dieselpolttoainetta. Moottori toimii itsesytytysperiaatteella ja diesel syttyy palotilassa itsestään korkeasta lämpötilasta. Dieselmoottorin hyötysuhde on parhaimmillaan noin 40 %, joka on polttomoottoreista korkein. Lisäksi dieselmoottorilla on alhainen poltonesteen kulutus ja näiden ominaisuuksien vuoksi varavoimakoneissa käytetään lähes pelkästään dieselmoottoreita. (Motiva 2014.)

Dieselmoottori voi olla suora- tai epäsuoraruiskutteinen. Suoraruiskutusmoottorissa polttoaine ruiskutetaan suoraan polttokammioon ja näin saavutetaan korkeampi hyötysuhde mutta tuotetut päästöt ovat suuremmat. Dieselmoottori voidaan turboahtaa, jolla parannetaan moottorin hyötysuhdetta sekä tehoa. Sylinterissä palava polttoaine tarvitsee palamiseen ilmaa. Kun imuilman tiheyttä nostetaan ennen sylintereitä, kasvaa palamisilmamäärä, jolloin sylinterillä voidaan polttaa enemmän polttonestettä. Turboahtamisessa imuilma paineistetaan ja tähän tarvittava teho tuotetaan yhdellä tai useammalla moottorin pakokaasujen turbiineilla. Moottorin kuormitus säätelee itsessään turboahtimen tehoa, koska pakokaasun energia on riippuvainen ruiskutetun polttoaineen määrästä. (Motiva 2013.)

Dieselmoottorin nimelliseksi käyntinopeudeksi varavoimakoneessa suositellaan 1500 kierrosta minuutissa. Tämä on sama nopeus, kuin neljänapaisen tahtigeneraattorin pyörimisnopeus, jolla kone tuottaa 50 Hz jännitettä (Kaava 2). Kun moottori ja generaattori pyörivät samalla nopeudella, ei väliin tarvita erillistä vaihteistoa. Tämä ratkaisu lisää koneen yksinkertaisuutta sekä toimintavarmuutta, kun liikkuvia ja kuluvia osia on vähemmän. (Hakala ym. 2013, 90–94.)

### 2.3.2 Tahtigeneraattori

Tahtigeneraattori on sähkökone, joka ulkoisen voimalähteen avulla tuottaa sähköä. Tahtigeneraattori koostuu staattorista, jonka sisäpuolella on ulkoisen voimalähteen pyörittämä vierasmagnetoitu roottori. Roottorissa on magnetoimiskäämi, johon johdetaan harjojen ja liukurenkaiden kautta tasavirtaa. Tällöin koneeseen kehittyy magneettivuoto, joka pyörii roottorin tahdissa. Staattorissa on käämisauvoja ja kun roottorin pyörivä magneettivuoto leikkaa staattorin käämisauvoja, indusoituu käämitykseen sinimuotoisesti vaihteleva kolmivaiheinen lähdejännite. Käämitykseen syntyvä jännitteen tehollinen suuruus on riippuvainen pyörimisnopeudesta sekä magneettivuon voimakkuudesta. Se voidaan määrittää kaavalla 1. (Hietalahti 2013, 45–46.)

$$E = \omega \cdot \varphi = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\sqrt{2}} \cdot \xi_k \cdot N \cdot \theta \quad (1)$$

Jossa:  $\xi_k$  on staattorin käämikerroin,  $N$  on käämin kierrosluku,  $\theta$  on magneettivuo,  $f$  on pyörimistaajuus ja  $E$  on indusoitunut jännite.

Tahtikoneen lähdejännitteen taajuus on riippuvainen koneen pyörimisnopeudesta, kun tahtikonetta ei ole kiinnitetty sähköverkkoon. Jos kone olisi kytketty sähköverkkoon, niin sen pyörimisnopeus olisi aina verkon taajuuden mukainen. Kaavalla 2 voidaan esittää tahtikoneen taajuuden ja pyörimisnopeuden välistä sidosta (Korpinen a, 1):

$$n_s = 60 \cdot \frac{f}{p} \quad (2)$$

Jossa:  $n_s$  on koneen pyörimisnopeus,  $f$  on taajuus ja  $p$  on napaparien lukumäärä.

Tahtigeneraattorit voidaan jakaa niiden roottorin rakenteen mukaan umpinapakoneisiin ja avonapakoneisiin. Umpinapaisessa generaattorissa magnetointikäänitys on sijoitettu roottorin uriin ja roottorin rakenne on sylinterimäinen. Avonapaisen generaattorin roottorissa on erillisiä napoja, joiden välissä on ilmaa. Napojen magnetointikäänitys on napojen ympärillä ja roottori onkin magneettisesti epäsymmetrinen. (Hietalahti 2013, 47.)

Tahtigeneraattorin lähdejännitteen suuruus riippuu magnetoimisvirrasta. Magnetointivirtaa kasvattamalla nostetaan lähdejännitettä. Lähdejännitteen kasvu hidastuu, kun rauta alkaa magneettisesti kyllästyä ja magnetointivirran kasvattaminen ei enää nosta jännitettä. Varavoimakoneissa suositellaan käytettäväksi harjatonta kolmivaiheista sisänapatahtigeneraattoria (Hakala ym. 2013, 94). (Hietalahti 2013, 48.)

Tahtikone voi myös olla kestmagneetoitu, jolloin se ei tarvitse ulkopuolista magnetointivirtaa. Kestomagneettikoneessa on pysyviä magneetteja kiinnitettynä roottoriin, joka pyöriessään muodostaa liikkuvan magneettikentän. Pyörivä roottori indusoi aina jännitteen staattoriin ja tämä on otettava huomioon koneen käyttämisessä sekä huoltamisessa. Kestomagneettikoneella on korkea hyötysuhde ja se kykenee hyvään vääntömomenttiin jo alhaisillakin kierrosnopeuksilla. Kestomagneettikoneen indusoima jännite  $E$  voidaan laskea kaavalla 1. (Hietalahti 2013, 157–158.)

### 2.3.3 Ohjaus- ja valvontakojeisto

Varavoimakone tarvitsee ohjaus- ja valvontajärjestelmän, jolla pystytään konetta käyttämään turvallisesti ja halutulla tavalla. Ohjaus- ja valvontakojeisto sijaitsee yhdessä tai useammassa kojekaapissa. Siihen kuuluvat: ohjauskojeet, suojaus- ja hälytyskojeet, mitaus- ja valvontakojeet, pääpiirin kojeet sekä omakäyttöosat. Omakäyttöosan kojeet voivat myös olla erillään muusta ohjaus- ja valvontakojeistosta. (Hakala ym. 2013, 95.)

### 2.4 Siirrettävä varavoimakone osana sähkönjakeluverkkoa

Varavoimakoneita käytetään paljon osana sähköjakelua pienjänniteverkon huolto-, korjaus- tai saneeraustöiden aikana. Pienjänniteverkkoon varavoimakoneet soveltuvat mainiosti, koska ne tuottavat 400 V pääjännitettä, jolloin ne voidaan yksinkertaisella kytkennällä liittää osaksi pienjänniteverkkoa. Pienjänniteverkon kohteet, joissa varavoimakoneita käytetään, vaihtelevat. Yhteistä niille on kuitenkin se, että mahdollinen keskeytysaika olisi vähintään tuntien pituinen tai keskeytys olisi kriittistä käyttöpaikalle, kohdetta ei saada muutoin syötettyä ja varavoimakoneen teho riittää kattamaan kohteen kulutuksen.

Ilmajohtorakenteinen keskijänniteverkko on altis sään tuottamille vioille. Se on rakenteeltaan usein säteittäinen, jolloin yhden verkon kohdan vika voi pahimmillaan katkaista kokonaisen keskijännitelähdön sähköt monelta jakelumuuntajalta ja sähkön käyttöpaikalta. Sähköjen palauttamiseen voi kulua paljon aikaa varsinkin, jos vika on myrskyn aikaan saama. Tällöin voi verkossa olla vikoja useassa kohdassa, jolloin verkon korjaustöihin kuluu aikaa. Maakaapeliverkossa tapahtuva vika voi myös aiheuttaa pitkän katkoksen. Maahan kaivetun kaapelin vikaa on hidas etsiä ja korjata. Varsinkin talvella ja maan ollessa roudassa, on maakaapelin esiin kaivaminen haastavaa ja aikaa vievää. Ennakoiden tämän kaltaiset viat, varautumalla varavoimakoneella sekä suunnittelemalla sen todennäköiset kytkentäpaikat, voidaan katkoksia lyhentää, vaikka vian korjaamisessa kuluu aikaa.

## 2.5 Varavoimakoneen toimintaan määräävät säännökset

Varavoimakoneita käsitellään laajasti Sähkötieto ry:n julkaisemassa ST-käsikirja 31:ssä. ST-31:ssä kerrotaan yleisimpien tehoalueeltaan 100–2000 kW laitosten toiminnasta, suunnittelusta ja käytöstä. Lisäksi siellä annetaan suosituksia ja määräyksiä koneen ja sen eri komponenttien rakenteesta sekä toiminnasta. ST-kortiston mukaan varavoimakoneen on toimittava normaalikäytössä luotettavasti, eikä siitä saa aiheutua vaaraa käyttäjälle tai ympäristölle. Tämä pitää sisällään myös erehdyksen tai huolimattomuuden aiheuttamat väärinkäyttötilanteet. Dieselgeneraattorin täytyy käynnistyä ensimmäisellä käynnistysyrityksellä ja laitteisto on pidettävä siinä kunnossa, että sitä voidaan käyttää jopa useita viikkoja yhtenäisesti. ST-kortistosta löytyvät hyvät ja kattavat ohjeet laitteistojen valinnalle ja määräykset huoltotoimenpiteistä. (Hakala ym. 2013, 90–95.)

Varavoimakoneen käytössä täytyy ottaa huomioon Suomen Standardisoimisliiton SFS:n määräykset generaattorilaitteiston käytölle yksittäisenä varasyöttönä (SFS 2012, 329). Standardi SFS 6000 551.6 määrää, ettei saarekekäyttönä käytettävä generaattori saa toimia yleisen jakeluverkon kanssa rinnan. Ennen käyttöä on varmistettava standardin SFS 6000-5-53 mukaisten erotusvaatimusten toteutuminen. Standardi SFS 551.6.1 antaa myös viisi menetelmää, joilla saarekekäyttö voidaan varmistaa:

- vaihtokytkimen käyttömekanismien tai ohjauspiirien välillä on mekaaninen, sähköinen tai sähkömekaaninen lukitus
- lukitusjärjestelmään on yksi siirrettävä avain
- toisen syötön ennen seuraavan syötön kytkeytymistä katkaiseva kolmiasentoinen vaihtokytkin
- automaattinen vaihtokytkin on lukittava
- jokin muu turvallisen työskentelyn mahdollistava menetelmä



### **3 TAMPEREEN SÄHKÖVERKKO OY JA VARAVOIMAKONEET**

Tampereen Sähköverkko Oy on osa Tampereen Sähkölaitos- konsernia, joka koostuu kolmesta yhtiöstä. Tampereen kaupunki on konsernin omistaja. 1.1.2016 konsernissa suoritettiin fuusio, jonka seurauksena aikaisemmista kuudesta yhtiöistä neljä sulautettiin konsernin emoyhtiöön Tampereen Sähkölaitos Oy:n. Jäljelle jääneet yritykset ovat Tampereen Sähkölaitos Oy, Tampereen Sähköverkko Oy sekä Tampereen Vera Oy. Lisäksi vuonna 2012 on perustettu konsernin tytäryhtiö Tammervoima Oy, jonka uusi hyötyvoimalaitos on aloittanut toimintansa Tarastejärvellä. (Tampereen sähkölaitos: Tampereen Sähkölaitos – yhtiöt.)

Tampereen Sähkölaitos on vanha yhtiö, jonka toiminta on alkanut jo vuonna 1888 ja se oli Suomen ensimmäinen kunnallinen sähkölaitos (Tampereen sähkölaitos: Historia). Konsernissa työskentelee kokonaisuudessaan noin 390 henkilöä ja vuonna 2015 sen liikevaihto oli 270 miljoonaa euroa (Tampereen sähkölaitos: Työnhaku). Konserniin kuuluvan Tampereen Sähköverkon omistuksessa on varavoimakoneita, joita käytetään sähköverkon rakennus- ja huoltotöiden aiheuttaminen katkoksiensa aikana tuottamaan energiaa asiakkaille.

#### **3.1 Tampereen Sähköverkko Oy**

Tampereen Sähköverkko Oy on sähköverkkoyhtiö, joka toimii Tampereen alueella sekä pieneltä osin Pirkkalan ja Lempäälän kunnissa. Yhtiön toimipiste sijaitsee ratinansirinassa osoitteessa Voimakatu 17. Verkkoyhtiöllä oli vuonna 2015 yhteensä 3726 km pituinen sähköverkko, jonka suurin jännitetaso oli 110 kV. Vuonna 2015 TSV työllisti 50 henkilöä ja sähkönjakelun asiakkaita oli 144 052. Asiakaskunta koostuu laajalti pienjänniteverkon yksityishenkilöistä ja yrityksistä. Yhtiöllä on myös keski- ja suurjänniteliittymiä paljon tehoa tarvitseville asiakkaille. (Tampereen Sähkölaitos: Sähkön siirto ja liittymät.)

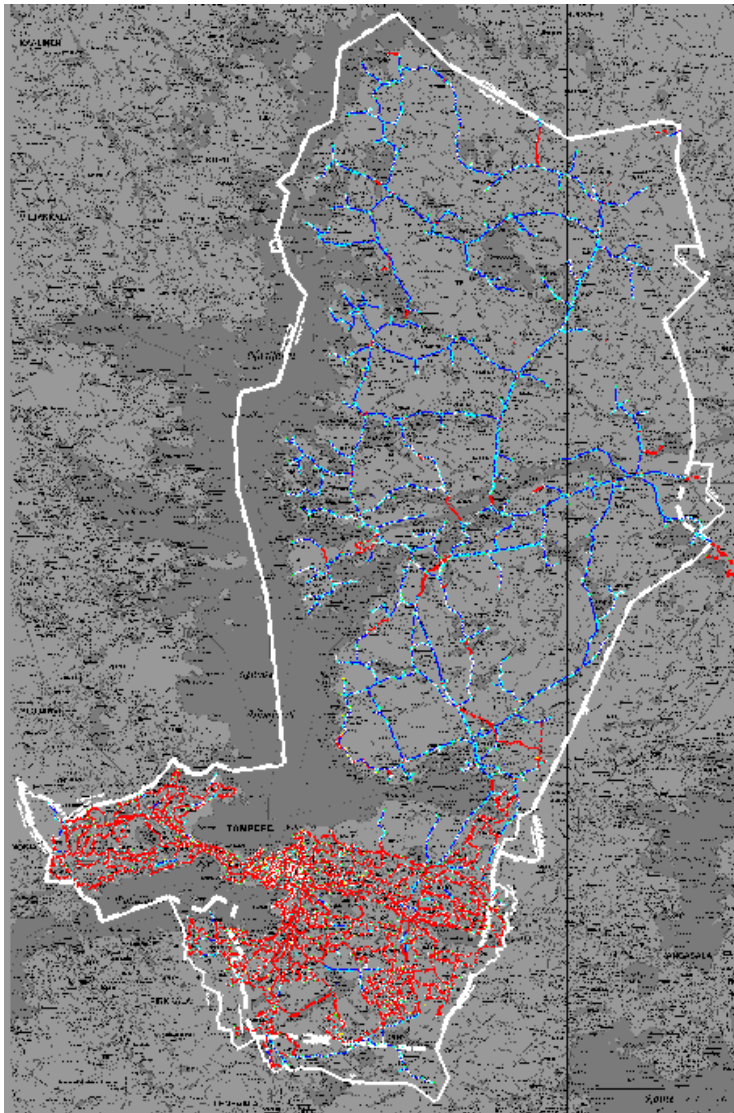
TSV:n vastuualueita ovat sähköverkon suunnittelu, rakennuttaminen, kunnossapito ja käyttö. Yhtiön organisaatio on jaoteltu vastuualueiden mukaisesti. Omaisuuden hallintayksikköön kuuluvat rakennuttamis- ja kehitystiimit. Yksikön tehtävänä on verkon rakennuttaminen sopimusurakoitsijoiden kanssa, verkon dokumentointi sekä omaisuuden hallinta. Käyttö- ja kunnossapitoyksikkö on jaettu jakelu- ja alueverkkotiimeihin, jotka

kummatkin vastaavat kyseisen verkon käytöstä ja kunnossapidosta. TSV:llä on Voimakadulla verkon käyttökeskus, jossa valvotaan verkon tilaa vuorokauden ympäri. Suunnitteluyksikkö tekee verkon laajentamiseen ja uudistamiseen liittyvät suunnittelutyöt. Asiakaspalveluyksikkö puolestaan hoitaa tiedonvaihtoa ja ylläpitää asiakaspalvelua sähköverkkoon liittyvissä asioissa.

### **3.2 TSV:n sähköjakeluverkko**

Tampereen Sähköverkko Oy on kaupunkiverkkoyhtiö, jonka verkon maakaapelointiaste oli vuonna 2015 67 %. Sähköverkon rakenne on kaksijakoinen. Keskusta-alueella suurin osa sähköverkosta on kaapeloitu mutta Olkahisesta pohjoiseen mentäessä verkon rakenne muuttuu ilmajohtoverkoksi. Yhtiön tavoitteena on jatkaa verkon maakaapelointia ja uusia ilmajohtoverkkoja ei enää rakenneta yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta. Vuonna 2015 sähköverkon siirtämän sähkön kokonaiskulutus oli 1,8 TWh ja hetkellinen huipputeho 318 MW. Sähköverkossa on 13 sähköasemaa ja 1357 muuntajaa. (Tampereen sähkölaitos: Sähkön siirto ja liittymät.)

Kuvassa 1 on Tampereen Sähköverkon hallinnoima keskijänniteverkko. Kuva on otettu TSV:n käyttämästä verkkotietojärjestelmästä Trimble NIS:stä. Punaiset viivat ovat maakaapeleita ja siniset ilmajohtoverkkoa. Kuvasta havaitaan selkeästi, kuinka yksittäisiä kaapeleita lukuun ottamatta, Tampereen pohjoisen osan eli Teiskon sähköverkko on ilmajohtoverkkoa. Keskusta-alueella puolestaan on lähes kaikki keskijänniteverkko maakaapeloitu.



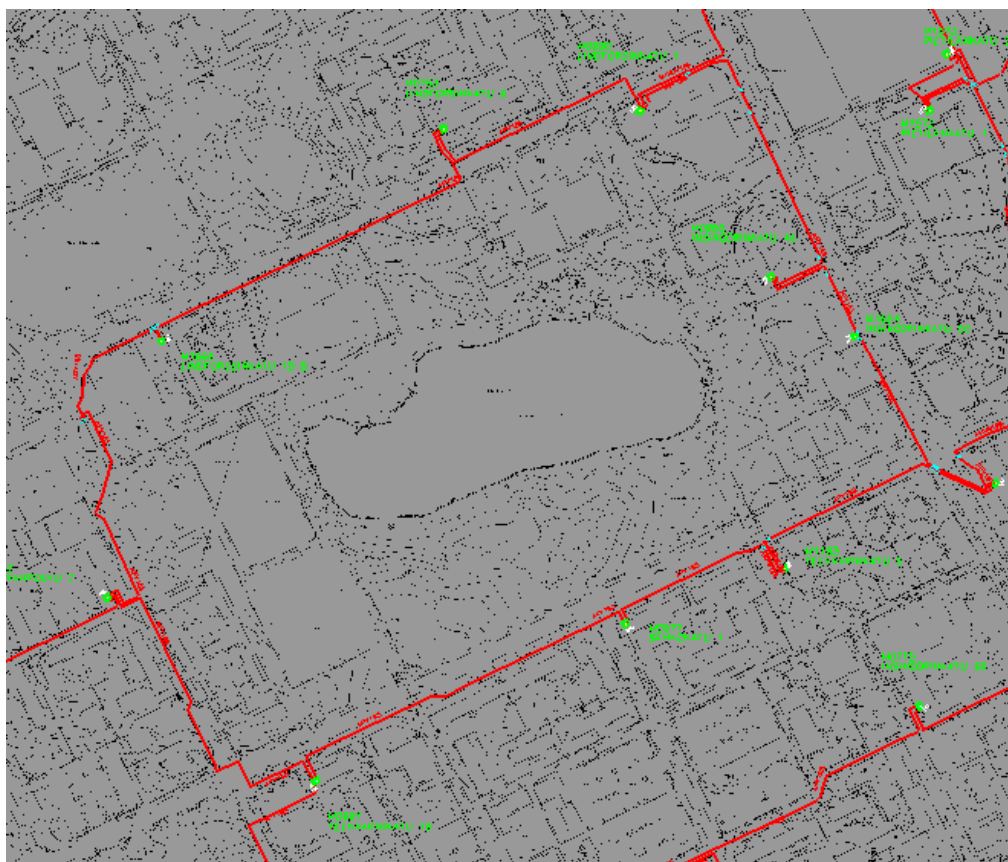
KUVA 1. Tampereen Sähköverkko Oy:n keskijänniteverkko

Ilmajohtoverkossa on varsinkin pohjoisessa ja Näsijärven rannalla lukuisia haaroja, jotka syöttävät jakelumuuntajia. Moni haaroista on vailla rengasyhteyttä ja vian sattuessa voi sähköjen palauttaminen kestää haaran päässä oleville asiakkaille. Kuvassa 2 on verkko-tietojärjestelmästä otettu kuva ilmajohtoverkon yksittäisestä haarasta. Siitä nähdään, että haara on suhteellisen pitkä ja syöttää neljää vihreällä tekstillä näkyvää jakelumuuntajaa.



KUVA 2. Ilmajohtoverkon yksittäinen haara

Keskusta-alueella on pyritty minimoimaan haarat rakentamalla sähköverkkoa renkaaksi. Kuvassa 3 on Hervannan kaupunginosan maakaapeliverkkoa, joka on tehty rengasmaiseksi. Jos yhdessä kohdassa verkkoa tapahtuu vika, niin rengasverkossa voidaan sähköä siirtää toista reittiä pitkin avaamalla ja sulkemalla verkon katkaisijoita sekä erottimia. Näin pystytään minimoimaan vian aiheuttama sähkökatkos.



KUVA 3. Maakaapeli rengasverkko

### 3.3 Varavoimakoneet

Tampereen Sähköverkon omistuksessa on siirrettäviä varavoimakoneita, joita käytetään pienjänniteverkon kunnossapito-, huolto- ja rakennustöiden aiheuttamien katkoksien aikana tuottamaan sähköä asiakkaille. Koneita käytetään varsinkin keskusta-alueella, jossa sähkökatkoksien kestoajat halutaan pitää mahdollisimman lyhyinä. Varavoimakoneita käyttävät lähinnä TSV:n sopimusurakoitsijat verkostotöiden yhteydessä.

#### 3.3.1 814 kVA varavoimakone

Voimalaitos Service Oy on valmistanut suurikokoisen 814 kVA nimellistehon omaavan varavoimakoneen, jonka nimellisjännite on 400 V (Kuva 4). Laitteiston paino on kokonaisuudessaan 12850 kg ja polttoainesäiliön tilavuus 1000 litraa. Koneen pituus on 8270 mm, leveys 2550 mm ja korkeus 2920 mm. Kuvassa 4 on nähtävillä koneen kaapelikelojen sijainnit. Edessä on päällekkäin kahden lähdön kaapelit, joista jokainen on omassa kelassaan. Niiden avulla kone liitetään sähköverkkoon.



KUVA 4. 814 kVA varavoimakone (Voimalaitos Service Oya)

Taulukossa 1 on koneen pääarvot, eli dieselmoottorin ja generaattorin yhdistelmän kilpiarvotiedot, joiden mukaan määritetään koneikon koko. Taulukossa 1 on teho sekä virta kerrottuna jatkuvana. Nämä ovat tehon ja virran suuruudet, jotka voidaan laitteistolla tuottaa

pitkäaikaisesti. Tehon varavoima sekä virran maksimi-arvot kertovat laitteiston ylikuormitettavuuden. Sen mukaan koneella voidaan tuottaa 10 % nimellistehoa enemmän 1 tunnin ajan 12 tunnin jakson aikana. Tämä määräytyy standardin ISO 3046-1 kohdan 8.3 mukaan. (Hakala ym. 2012, 87; Liite 2.)

TAULUKKO 1. 814 kVA varavoimakoneen pääarvot

Pääarvot		
Tyyppi		VL03-814C-KT
Jännite		400/230 V
Teho	jatkuva	814 kVA / 651 kW
	varavoima	895 kVA / 715 kW
Virta	jatkuva	1175 A
	max	1292 A
Taajuus		50 Hz
Kierrosluku		1500 rpm
cos φ		0,8
Polttoainetankki		1000 litraa
Kokonaispaino		12850 kg
Aisapaino		600 -1000 kg

Varavoimakone koostuu dieselmoottorista, jonka akseli pyörittää generaattoria. 814 kVA koneessa nelitahtinen turboahdettu dieselmoottori on Cumminsin valmistama ja kestopaineilla magnetoidun tahtigeneraattorin on tehnyt Newage-Stamford. Taulukossa 2 on ilmoitettu dieselmoottorin ja generaattorin tiedot. Taulukossa 2 on moottorin ja generaattorin teho sanottu jatkuvana sekä varavoimana. Jatkuvalle tarkoitetaan koneiden tuottamaan pitkäaikaista tehoa. Varavoima teho on puolestaan koneiden suurin sallittu ylikuormitus. Nämä arvot ovat moottorin ja generaattorin omia suoritusarvoja. Varavoimakoneessa syntyy häviöitä, jotka laskevat koneen kokonaistehon komponenttien suoritusarvoja alhaisemmaksi. (Hakala ym. 2013, 91–94; Kantonen 2014, 9; Liite 2.)

TAULUKKO 2. Dieselmoottorin ja generaattorin tiedot

Laite		Dieselmoottori	Generaattori
Valmistaja		Cummins	Newage-Stamford
Tyyppi		QSK 23 G3	HCI 634 H
Teho	jatkuva	966 kW	910 kVA
	varavoima	1062 kW	1001 kVA
Pyörimisnopeus		1500 rpm	1500 rpm

Kokonaisuudessaan 814 kVA varavoimakone on massiivinen rakenteeltaan ja sen liikuttamiseen täytyy kehittää erikoisratkaisuja. 1000 litran polttoainetankin riittävyys riippuu koneen kuormituksesta. Jatkuvan kuorman teholla polttoainetta kuluu valmistajan mukaan 161 litraa tunnissa. Käytännössä sähköverkossa konetta ei kuitenkaan käytettäisi näin lähellä suurinta kuormitusta, jolloin tankin riittävyudeksi voidaan arvioida 6-12h. 12 tunnin aika on laskettu puolen tehon mukaan, jolla valmistaja kertoo kulutuksen olevan 85 l/h. (Liite 3).

### 3.3.2 200 kVA varavoimakone

200 kVA nimellistehon omaava varavoimakone on myös Voimalaite Service Oy valmistama. Kone on rakennettu jarrulliseksi perävaunuksi, joka voidaan kiinnittää ajoneuvon perään. Kuvassa 5 on Voimalaitos Servicen ottama kuva varavoimakoneesta. Siitä nähdään, että koneen etuosassa on yksi kaapelikela vararenkaan edessä. Näillä kaapeleilla kone kytketään haluttuun kohteeseen.



KUVA 5. 200 kVA varavoimakone (Voimalaitos Service Oy)

200 kVA koneen tuottama jännite on 400 V ja jatkuvan kuormituksen virta 289 A. Se kykenee jatkuvalla teholla tuottamaan 200 Kva. Koneita voidaan ylikuormittaa 10 % jatkuvan tehon arvosta mutta ainoastaan 1 tunnin ajan 12 tunnin aikana. Kone on suurikokoinen ja painaa 3000 kg mutta on kuitenkin selvästi pienempi kuin 814 kVA kone. Sen pituus on 6016 mm, leveys 2099 mm ja korkeus 1715 mm. Polttoainesäiliöön mahtuu 300 litraa dieseliä. Taulukossa 3 on koneen tarkemmat tiedot. (Liite 6).

TAULUKKO 3. 200 kVA varavoimakoneen tiedot

Pääarvot		
Tyyppi		VL03-200JD-KT
Teho	jatkuva	200 kVA / 160 kW
	varavoima	220 kVA / 176 kW
Virta	jatkuva	289 A
	varavoima	317 A
Jännite		400/230 V
Taajuus		50 Hz
Kierrosluku		1500 rpm
cos $\phi$		0,8
Polttoainetankki		300 l
Kokonaispaino		3000 kg

Varavoimakoneen dieselmoottori on John Deeren valmistama turboahdettu nelitahtinen 6068 HFU 74 dieselmoottori. Moottori pystyy jatkuvalla käytöllä tuottamaan 188 kW tehon (Liite 5). Moottorin polttoaineen kulutus 100 % jatkuvan käytön kuormituksella on 40,1 l/h ja 50 % kuormituksella 20,4 l/h. Säiliöön dieseliä mahtuu 300 litraa, jolloin varavoimakonetta voidaan käyttää kuormituksesta riippuen 7–15h. Generaattorina varavoimakoneessa on Leroy Somer LSA 46.2 M5C6/4. (Liite 6; Liite 7.)

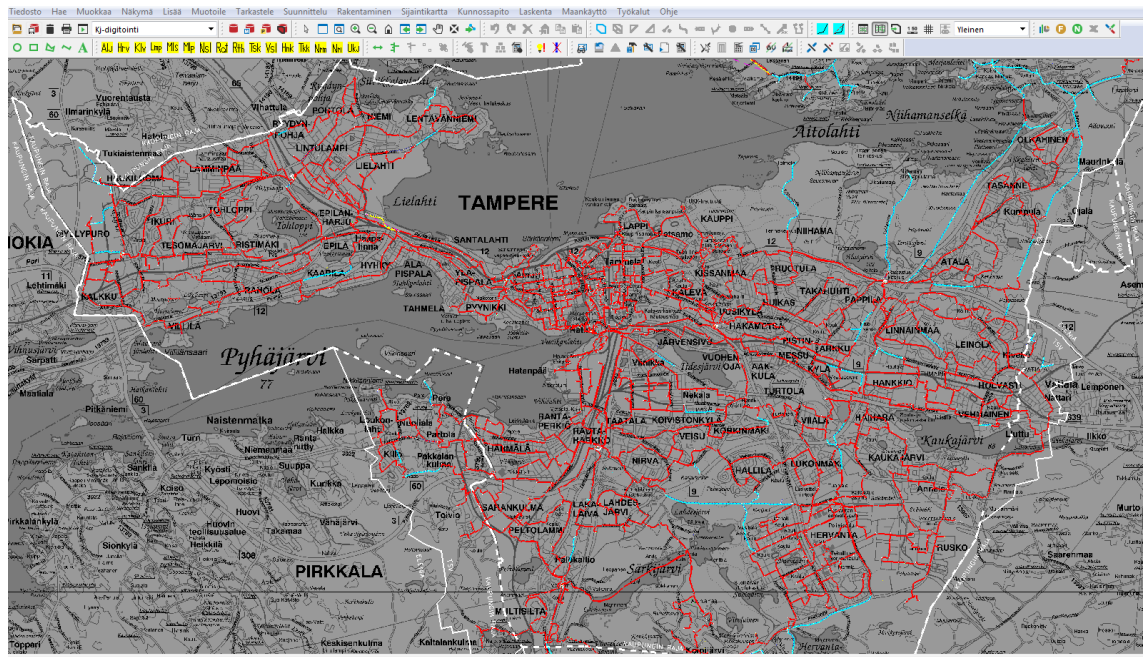
### 3.4 Trimble NIS-verkkotietojärjestelmä

Tampereen Sähköverkko käyttää Trimble NIS verkkotietojärjestelmää sähköverkkonsa dokumentoinnissa, hallinnassa sekä suunnittelussa. NIS (lyhenne sanoista Network Information System) on suomalaisen Tekla Oyj luoma ohjelmisto, jonka alkuperäinen nimi oli Tekla Xpower (Kantonen 2014, 21). Vuonna 2011 Teklasta tuli osa yhdysvaltalaisesta Trimblen konsernia, jolloin ohjelman nimi vaihtui Trimble NIS:ksi (Tekla 2011).

NIS on verkkotietojärjestelmä, joka koostuu sähköverkkomallista ja siihen yhdistetyistä paikka- ja asiakastiedoista. Näiden avulla voidaan NIS:llä tehdä verkostolaskentaa, suunnitella verkkoa, käyttää verkon kuvia rakentamisessa, hallita verkkoinvestointeja sekä käyttää apuna omaisuudenhallinnassa ja kunnossapidossa. NIS:llä on yksi tietokanta, johon sähköverkkoyhtiön hallinnoima sähköverkko on mallinnettu. Tämän avulla järjestelmää voidaan käyttää moneen eri tarkoitukseen samanaikaisesti usealla käyttäjällä. (Trimble: Trimble NIS sähköverkoille; Elovaara & Haarla 2011, 164.)



NIS on käyttöliittymältään graafinen ja siinä on oletusasetuksilla ylhäällä työkaluvalikko. Sähköverkko on mallinnettu oikeiden verkon komponenttien tiedoilla taustakarttojen päälle. Kuvassa 6 on ruutukaappaus NIS:n oletus käyttöliittymästä.



KUVA 6. Trimble NIS:n graafinen käyttöliittymä

NIS:n tietokantaan on mallinnettu koko TSV:n sähköverkko ja sieltä näkyvät myös verkon komponenttien tiedot. NIS:iin voidaan luoda projekteja, joilla pystytään esimerkiksi suorittamaan verkostolaskentaa eri verkon käyttötilanteissa ilman, että tietokantaa muutetaan. Ohjelman avulla voidaan laskea halutun verkon osan oiko- ja maasulkutilanteet, tehonjako- sekä luotettavuuslaskennat. (Trimble: Trimble NIS sähköverkoille.)

## 4 VARAVOIMAKONEIDEN KÄYTTÄMINEN KESKIJÄNNITEVERKOSSA

Varavoimakoneita käytetään silloin, kun normaali sähkönjakelu on katkennut. Siirrettävien varavoimakoneiden käytöllä pienennetään sähkökäyttäjien kokemaa katkosta sähköjen palauttamisen aikana. Koneiden siirtämiseen tarvitaan siihen soveltuvaa kuljetuskalustoa, joilla koneita voidaan kuljettaa haluttuun kytkentäkohtaan. Keskijänniteverkkoon siirrettävät varavoimakoneet kytketään erillisjärjestelyllä kiinni. Kytkennässä täytyy ottaa huomioon koneiden saarekekäyttäminen, sähköinen suojaus ja sähkötyöturvallisuus. Ennen liittämistä pystytään verkkotietojärjestelmään mallinnetun varavoimakoneen mallin avulla laskemaan koneiden kytkemisen vaikutukset verkon osalle.

### 4.1 Varavoimakoneiden käyttötilanteet

Varavoimakoneita voidaan käyttää keskijänniteverkon syöttämiseen verkon erilaisissa tilanteissa. Yhteistä niille on se, että koneiden käytöllä pyritään pienentämään tai poistamaan sähkökäyttäjien kokemaa katkosta. Varavoimakoneita käytetään kohteissa, joissa ei ole muutoin mahdollista lyhentää sähkökatkoksen pituutta tai sähkökatkos aiheuttaisi kohtuuttomia haittoja sähkökäyttäjille. Sähkökatkos voi johtua verkossa olevasta viasta tai verkon kunnossapito-, huolto- ja saneeraustöistä, joiden aikana joudutaan katkaistamaan sähköt työskenneltävältä osuudelta. (Lakervi & Partanen 2008, 133.)

Verkon vikatilanteessa keskijännitelähdön relesuojaus pyrkii aluksi pikajälleenkytkennällä ja aikajälleenkytkennällä poistamaan verkossa olevaa vikaa. Jos nämä eivät auta, niin relesuojaus katkaisee sähkön lähdöltä. Vian aikana varavoimakoneilla voidaan syöttää ehjänä olevaa verkon osaa. Yksinkertainen syötettävä kohde on yksittäinen verkon haara, joka voidaan erottaa muusta verkosta yhdellä erottimella. Haaran verkon täytyy kuitenkin olla kunnossa, jotta varavoimakoneita voidaan käyttää. Jos keskijänniteverkossa on vianilmaisia tai -paikantimia, voidaan verkon käyttökeskuksessa määrittää vikaantumun verkon osa. Esimerkki varavoimakoneen hyvästä käyttötilanteesta on vailla rengasyhteyttä olevan keskijännitekaapelin vikaantuminen talvelle, jolloin maan kaivaminen on haasteellista. Verkon käyttäjien kokemaa katkosta voidaan lyhentää kytkemällä varavoimakone vikakohdan jälkeiseen verkkoon, johon ei ole varayhteyttä. Varavoimakoneeseen kytkettävä verkon osa erotetaan aluksi muusta sähköverkosta ja konetta käytetään saarekekäyttönä. (Korpelan Voima.)

Pahimmillaan myrsky voi aiheuttaa ilmajohtoverkkoon lukuisia samanaikaisia vikoja esimerkiksi puiden kaatuessa linjojen päälle. Jos sähköverkossa on samanaikaisesti monia vikoja, ei varavoimakoneita välttämättä pystytä hyödyntämään tehokkaasti. Vikoja voi olla liikaa, jolloin kytkemisen kohteeksi aiotun verkon osan ehjänä olemisesta ei ole tarkeitakaan. Myrskyn aikana on luonnollisesti huono sää, joka hidastaa tai jopa kokonaan estää koneiden kuljettamisen, turvallisen kytkemisen tai käyttämisen. Esimerkiksi puita voi olla kaatunut suunnitellulle kuljetusreitille tai kytkentäpaikalle ja niiden raivaamiseen kuluu aikaa. Lisäksi henkilöstöä voi olla hankala irrottaa verkon raivaus- ja kunnostustöistä varavoimakoneille.

Sähköverkossa tehdään jatkuvasti huolto-, kunnossapito- ja saneeraustöitä, joiden aikana joudutaan katkaisemaan työskenneltävältä verkon osalta sähköt. Nämä työt saattavat viedä aikaa kymmenestä minuutista useaan tuntiin riippuen työn laajuudesta. Keskijänniteverkossa on yksittäisiä haaroja, joissa kiinni olevia kuormia ei voida syöttää muuta kautta. Tämän kaltaisten verkon osien verkostotöiden aikana pystytään varavoimakoneilla turvaamaan asiakkaiden sähkönsaanti. Jos verkostotyö on laaja ja paljon aikaa vievä, niin sähkönjakelun turvaaminen muilla keinoilla on hankalaa, koska yksittäistä verkostotyötä varten ei ole taloudellisesti järkevää rakentaa rengasyhteyttä. Varavoimakoneiden käyttäminen mahdollistaakin paremman säteittäisen verkon käytön. Sähköverkkoa voidaan suunnitella ja rakentaa nykyistä enemmän säteittäisesti, koska katkoksien aikana voidaan varavoimakoneilla turvata sähkön käyttöpaikkojen sähkönsaanti.

## 4.2 Liikuteltavuus

Varavoimakoneet ovat rakenteeltaan suuria ja niiden kuljettamiseen täytyy olla tarpeeksi tehokkaita ajoneuvoja. Molemmat tutkittavat koneet ovat rakennettu perävaunuksi ja ne voidaan liittää kiinni ajoneuvoon. 200 kVA varavoimakonetta voidaan kuljettaa nelivetoisella pakettiautolla. Pakettiauton täytyy kuitenkin pystyä vetämään 3000 kg jarrullista perävaunua (Taulukko 3). Isomman 814 kVA nimellistehon varavoimakonetta kuljettamaan tarvitaan kuorma-auto. Kone painaa yli 12 000 kiloa, joten sitä ei pystytä muulla liikuttamaan (Taulukko 1).

Tällä hetkellä kumpaankin konetta siirretään kuorma-autoilla. Teiskossa on TSV:n nykyisen urakoitsijan käytössä Mercedes-Benzin valmistamia nelivetoisia kevytkuorma-autoja Unimogeja, joilla voidaan kuljettaa 200 kVA konetta. Koneiden kuljetuksessa pitää

ottaa huomioon niiden kokonaismassojen asettamat rajoitukset. Pienempää 200 kVA konetta voidaan käyttää lähes kaikkialla Tampereen Sähköverkon hallinnoiman verkon alueella mutta suuremman koneen kuljetusreitti täytyy suunnitella etukäteen. Kuljetusreitien suunnittelussa on tarkastettava teiden ja siltojen painorajoitukset, mahdolliset routavauriot ja muut kelirikot, tietyömaat sekä korkeusrajoitteet.

### 4.3 Varavoimakoneiden kytkentä sähköverkkoon

Varavoimakoneita ei voida kytkeä suoraan keskijänniteverkkoon, koska ne tuottavat 400 V jännitettä. Jännitteen nostamiseksi 20 kV:iin tarvitaan erillinen syöttömuuntaja, johon varavoimakone kiinnitetään. Syöttömuuntajan nimellistehon tulee olla lähellä varavoimakoneen nimellistehoa. Tällä varmistetaan, että varavoimakoneista saadaan siirrettyä tarpeeksi tehoa keskijänniteverkkoon. Lisäksi muuntajalle ei koidu ylikuormitusvaaraa pitkässä käyttötilanteessa. Käytännössä varavoimakoneita ei käytetä lähellä niiden tuottaman jatkuvan tehon arvoa, koska verkon kuormitus vaihtelee ja koneita ei voida ylikuormittaa kuin 10 % nimellistehoa suuremmalla teholla 1 tunnin ajan 12 tunnin aikana. Ennen koneiden käyttöä lasketaan verkon osan huippukuorma, jonka avulla voidaan valita verkon osassa käytettävä varavoimakone. (Hakala ym. 2013, 91–94.)

Syöttömuuntajan mitoittamisessa voidaan huomioida muutama tavallisesta muuntajan mitoittamisesta poikkeava asia. Mitä pienitehoisempi syöttömuuntaja on, niin sitä pienikokoisempi se myös on. Pienemmällä fyysisellä koolla on merkitystä syöttömuuntajan kuljettamisessa ja kytkentäpaikalle asentamisessa. Pienikokoisemmat muuntajat myös ovat edullisempia ja jo yhden vakiotehokoon alentaminen mitoituksessa tuo säästöjä. Jakeluverkon muuntajien mitoituksessa pyritään maksimoimaan muuntajien käyttöikä ja niiden taloudellinen hyöty verkon asettamien kriteereiden mukaisesti. Jakeluverkon muuntajat ovat käytössä jatkuvasti, jolloin muuntajien täytyy kestää verkon kuorman vaihtelua menettämättä kuitenkaan suunniteltua elinikää. Muuntajan ylikuormitus, eli tehon siirtäminen yli nimellistehon, alentaa sen elinikää. Eliniän aleneminen johtuu muuntajassa syntyvistä tehohäviöistä, jotka kuumentavat muuntajan rakennetta. Muuntajia voidaan kuitenkin ylikuormittaa kohtuullisesti, kunhan niiden jäähdytyksestä huolehditaan. (Korpinen b, 2–4; Aura & Tonteri 1996, 18–23.)

Varavoimakoneen kanssa käytettävä syöttömuuntaja voidaan alimitoitaa verrattuna dieselgeneraattorin nimellistehoon. Useassa yksittäisessä ilmajohtoverkon haarassa kuormitustasot ovat matalia ja varavoimakoneen ei tarvitse tuottaa nimellistehonsa verran tehoa verkkoon. Monessa kohteessa voi verkon kuormitus olla jopa alle puolet siirrettävän varavoimakoneen nimellistehosta. Lisäksi dieselgeneraattoria ei käytetä sen nimellistehon tasolla ylikuormitusvaaran vuoksi. Kuitenkin tarpeen vaatiessa voidaan dieselgeneraattoriin verrattuna alimitoitettua syöttömuuntajaa ylikuormittaa. Tämä on mahdollista, koska varavoimakoneen kanssa käytettävän syöttömuuntajan ei tarvitse olla ylikuormitustilanteissa jatkuvasti ja kytkentäpaikat ovat ulkona. Syöttömuuntajan kuormitukseen vaikuttaaakin näin ilman lämpötila. Pakkasilla verkon kuormitustasot ovat suurimmillaan rakennusten lämmitessä mutta tällöin muuntajan kannalta on hyvä luonnollinen jäähdytys. (Väärämäki 2004, 18–19.)

814 kVA varavoimakoneella voidaan käyttää syöttömuuntajana 630 kVA nimellistehon muuntajaa. 630 kVA muuntaja pystyy 1,3-kertaisella ylikuormituksella hetkellisesti siirtämään dieselgeneraattorin nimellistehon. Tämä on kuitenkin jo suuri ylikuormitusaste ja tämänkaltaisia tilanteita kannattaa välttää muuntajan toimintavarmuuden kannalta. Jos tiedetään, että koneen kytkentäkohdissa verkon kuormitukset tulevat olemaan usein lähellä 814 kVA, niin muuntajan kooksi kannattaa valita 800 kVA. Puolestaan 200 kVA varavoimakoneella syöttömuuntajan nimellisteho voi olla 160 kVA, joka pystyy 1,25-kertaisella ylikuormituksella hetkellisesti siirtämään 200 kVA tehoa. Tarpeen vaatiessa voi olla kuitenkin perusteltua varustaa kone 200 kVA muuntajalla. 630 kVA ja 160 kVA pienemmillä muuntajilla varavoimakoneita ei kannata varustaa, koska silloin ei pystytä enää käyttämään koneita lähellä niiden nimellistehoja ja muuntajien lämpötiloja joudutaan tarkkailemaan entistä tarkemmin.

Siirrettäville varavoimakoneille joudutaan tällä hetkellä rakentamaan aina erillinen kytkentä liitäntäkohdassa. Syöttömuuntajat sekä koneet täytyy kuljettaa kytkentäpaikalle ja siellä rakentaa kytkentä, jossa varavoimakone yhdistetään syöttömuuntajaan, joka puolestaan liitetään kiinni keskijänniteverkkoon. Tämä ei ole kovin nopea tai käytännöllinen tapa. Käyttämisen kannalta tehokkainta on rakentaa valmis kokonaisuus, johon kuuluvat kiinteästi dieselgeneraattori, syöttömuuntaja, liitäntäkaapelit, sähköinen suojaus sekä ohjanta- ja valvontakojeisto. Yhtenäisessä kokonaisuudessa on sisäänrakennettu dieselgeneraattori, joka on kytketty kiinteästi sisäänrakennettuun muuntajaan. Keskijännite-

verkkoon sopivan varavoimakoneen kokonaisuuden rakentamisessa täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että siirrettäviä dieselgeneraattoreita tarvitaan paljon pienjänniteverkossa. Tästä syystä samoja koneita pitäisi pystyä käyttämään sekä keski- että pienjänniteverkossa, joten varavoimakoneen ja syöttömuuntajan välinen kytkentä on tehtävä siten, että tarpeen tullen voidaan käyttää pelkästään varavoimakonetta. Tähän tarkoitukseen on kokonaisuudesta saatava ulostulona pj-kumikaapeleita. Syöttömuuntajasta tulee ulos kolme keskijännitteelle sopivaa kumikaapelia kj-verkkoon liittämistä varten. Sähköiset suojaukset ovat toteutettu sisäisesti ja koko järjestelmän ohjauskojeisto on sijoitettu yhteen kohtaan. Kokonaisuus kannattaa rakentaa perävaunuksi tai erilliseen kuljetuskonttiin. Ideaalisessa tilanteessa se pystytään kuljettamaan haluttuun verkon kohtaan ja liittämään suoraan verkkoon kiinni. Tämä säästää kytkemisessä kuluva aikaa, helpottaa käyttämistä, vaatii vähemmän tilaa kytkentäpaikalla ja on myös turvallisempi, kun jännitteiset osat ovat paremmin suojattuina.

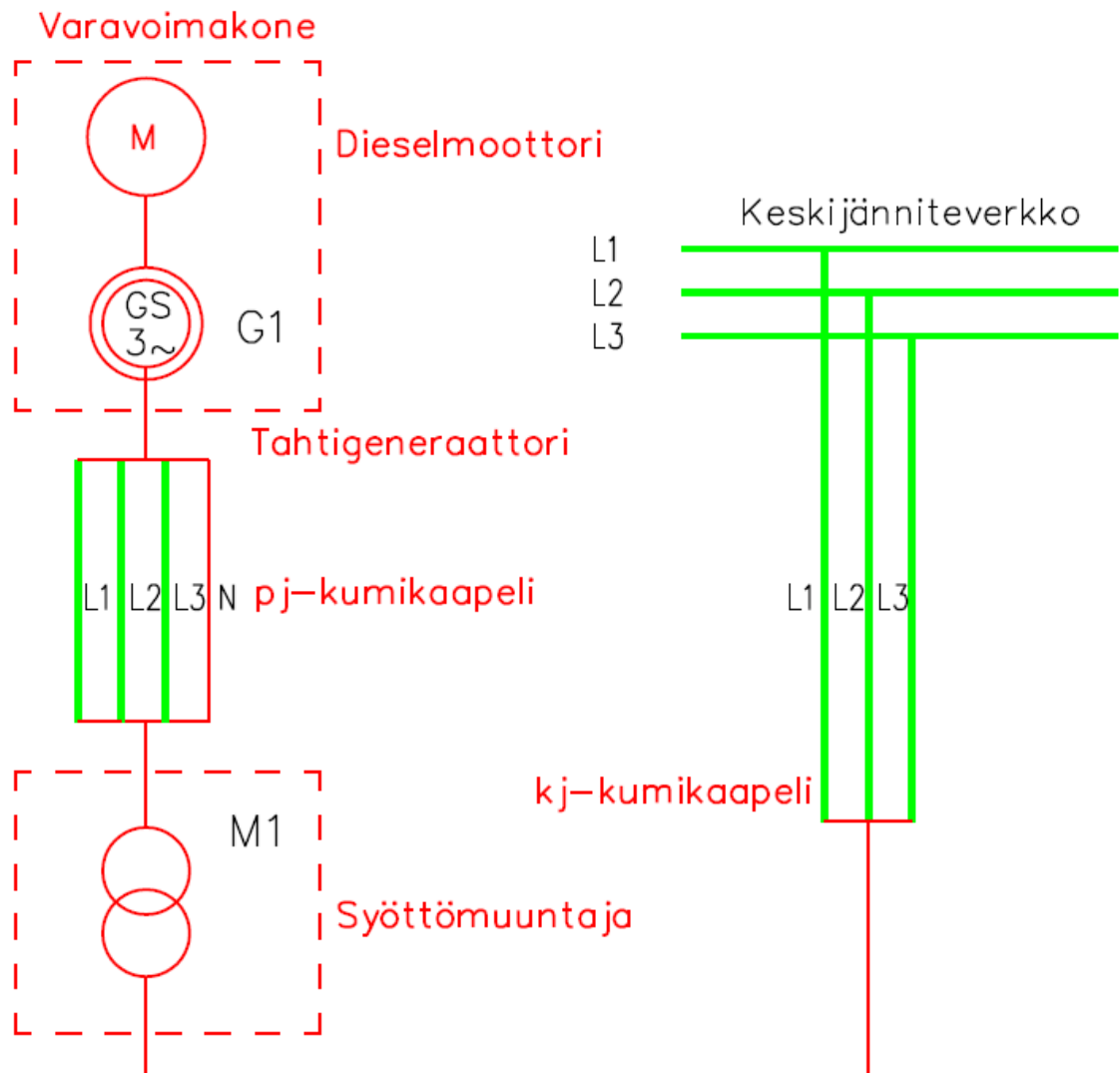
Toinen vaihtoehto on kokonaisen paketin sijasta valita varavoimakoneelle pysyvä syöttömuuntaja, joka rakennetaan omaksi siirrettäväksi muuntamoksi. Muuntamo voidaan rakentaa perävaunuksi, erilliseen kuljetuskonttiin tai siirrettäväksi puistomuuntamoksi. Rakenteeseen lisätään kiinteästi sähköinen suojaus ja liitäntäkaapelit. Rakentamalla pelkästään siirrettävä muuntamo pystytään varavoimakonetta vielä käyttämään myös pienjännitepuolella mutta kytkeminen keskijänniteverkkoon on helpottunut. Tämä vaihtoehto on halvempi ja varavoimakoneen pj-puolen käyttäminen ei olisi muuttunut. Huonona puolena verrattuna yhtenäiseen rakennelmaan on, että joudutaan tekemään yksi lisäkytkentä keskijänniteverkkoon liitettäessä. Syöttömuuntajapaketin yhteydessä kannattaa olla kaikki tarvikkeet, joita keskijänniteverkkoon liittämiseen tarvitaan. Tarvikkeita ovat esimerkiksi kumikaapelit, liittimet, työmaadoitusvälineet, alkusammutuskalusto ja tielle sopivat varoituskolmiot sekä muut opasteet.

### **4.3.1 Liitäntä**

Varavoimakone kytketään kiinni keskijänniteverkkoon syöttömuuntajalta lähtevillä kaapeleilla. Ennen liitännän tekemistä täytyy varmistua siitä, ettei sähkölinjassa ole jännitettä ja kytkettävä verkon osa on ehjä. Erottimien ja katkaisijoiden avulla voidaan liitäntäkohta erottaa muusta sähköverkosta. Kytkenän aluksi tehdään työmaadoitus, jolla varmistetaan, ettei työskentelyn aikana ole vaaraa jännitteen palautumisesta. Työmaadoitus tehdään liitettävän sähköverkon vaihejohtimien syöttösuunnan puolelle tai tarpeen vaatiessa

työskenneltävän linjan kummallekin puolelle. Muuntajan maadoitus voidaan kytkeä kiinni pylvässä olevaan maadoitukseen. Luvussa 4.4 käsitellään tarkemmin varavoimakoneen kytkennän aikaista sähköturvallisuutta ja työmaadoittamista. (SFS 2015, 25–27.)

Kun maadoitukset ovat asianmukaisesti tehty, voidaan aloittaa tekemään varavoimakoneen kytkentää. Kuvassa 7 on periaatteellinen kytkentäkaavio, jossa näkyvät varavoimakoneen, pj-kaapelin, syöttömuuntajan ja kj-kaapelin kytkentäjärjestys.



KUVA 7. Varavoimakoneen kytkentäkaavio

Varavoimakoneissa on kumikaapelit, jotka yhdistetään syöttömuuntajan pienjännitepuolella oikeassa vaihejärjestyksessä. Kummassakin varavoimakoneessa on pienjännitelähtöjä, jotka ovat varustettu sulakesuojauksella ja kumikaapelikeloilla. 814 kVA koneessa on kolme 400 A sulakkeen kytkinvarokelähtöä 185 mm<sup>2</sup> alumiinikaapeleilla. Kaksi lähdoistä on 60 metriä pitkiä ja yksi lähtö on 30 metriä pitkä. Lähdoissä on vaihejohtimet ja

yhdistetty PEN-johdin. Jokainen kumikaapeli on yksivaiheinen ja sillä on oma kaapelikela. 60 metrin lähdön kaapelikelat ovat dieselgeneraattorivaunun etuosassa. 200 kVA koneessa on yksi kytkinvarokelähtö, joka on varustettu 400 A sulakkeilla. Lähtöön on kiinnitetty 5 yksivaiheista kumikaapelia, jotka ovat yhdessä kaapelikelassa. Kumikaapelit ovat yksivaiheisia H07RN-F 1x95 mm<sup>2</sup> alumiinikaapeleita, joiden pituus on 30 metriä. Kummankin koneen kaikkien kaapeleiden päät on varustettu 12 mm reiän kaapelikengillä, joilla ne voidaan kiinnittää haluttuun kohteeseen. (Liite 4; Liite 8.)

Syöttömuuntajan suurjännitepuolelle kiinnitetään kaapelit, jotka liitetään keskijänniteverkkoon. Ilmajohdoverkkoon kytkemistä varten tarvitaan keskijännitteelle sopivia kumikaapeleita. Kumikaapeleiden on hyvä olla ainakin 30 metriä pitkiä, jotta kytkentä on mahdollista monessa verkon kohdassa. Kj-kumikaapelit nostetaan ilmajohdoverkon tasalle pylvään runkoa pitkin. Kaapelit voidaan kiinnittää kuormaliinoilla pylvään rungon ympärille, jolloin niiden massa ei aiheuta suurta alaspäin kohdistuvaa voimaa ilmajohdoverkon johtimille. Jännitteettömään ilmajohdtimeen kaapelit kiinnitetään esimerkiksi jänniteyöliittimien avulla. Kaapelit tarvitsevat lisäksi ylijännitesuojat liitäntäkohdassa. Käytännöllisintä on varustaa kumikaapeleiden toinen pää kiinteästi ylijännitesuojilla ja jänniteyöliittimillä. Ilmajohdoverkkoon kytkettäessä on ilmajohdoverkon johtimien oltava avojohtimia. Jos johtimessa on päällyste, joudutaan se rikkomaan, jolloin johtimen eriste vaurioituu. Rikkinäisen eristimen kohta on myöhemmin altis vioille ja johdin jouduttaa kunnostamaan tai korvaamaan uudelle. Kytkennässä täytyy käyttää nostolavaa tai muuta työturvallista menetelmään, että kaapelit saadaan kiinnitettyä ilmajohdoverkkoon. (Aura & Tonteri 1993, 139–142.)

Kytkentöjen ollessa valmiita puretaan työmaadoitus ja varavoimakone voidaan käynnistää. Jos kytkettävässä verkossa on suuri kuormitus, täytyy kuormitus kytkeä vaiheittain syötettävän verkon piiriin. Tällä voidaan pienentää muuntajan kytkentävirtasysäystä, joka saattaa laukaista verkon suojauskäytöksi, jos niiden asettelussa ei ole otettu huomioon kytkentäilmiöitä.

### 4.3.2 Sähköinen suojaus

Sähköverkon suojauskäytöksi täytyy toimia, kun keskijänniteverkkoon syötetään varavoimakoneella. Koneen käyttämisen aikaisessa sähköisessä suojauskäytöksessä pitää huomioida, että koneen omasuojaus, pj-verkon suojaus sekä kj-verkon oikosulku- ja maasulkusuojauskäytökset



katkaisevat sähkön syötön, jos käytön aikana syntyy vika verkkoon. Varavoimakoneet tuottavat oikein mitoitetuna tarpeeksi virtaa, jotta verkossa kiinni olevat suojaukset toimisivat asetetulla tavalla. Oikosulkuvirran riittävyteen vaikuttaa koneen oikea mitoittaminen verkon vaatimalle teholle. Jarno Kantonen on aikaisemmassa aiheesta Tampereen Sähköverkolla tehdyssä opinnäytetyössään osoittanut, että 814 kVA varavoimakone kykenee tuottamaan lähes saman oikosulkuvirran kuin mitä tavallisessa tilassa oleva sähköverkko (Kantonen 2014, 26). Tältä osin voidaan olettaa, että verkossa kiinni olevat sulakkeet ja muut komponentit toimivat tavalliseen tapaan varavoimakoneen ollessa kytkettynä sähköverkkoon. Sen sijaan sähköasemalla sijaitsevat lähdön relesuojaukset eivät ole toiminnassa, vaan verkon oikosulku- ja maasulkusuojaus täytyy toteuttaa dieselgeneraattorin kytkentäpaikalla. (Aura & Tonteri 1993, 167–168; Kantonen 2014, 26.)

Dieselgeneraattorit ovat varustettu varsin kattavalla suojauksella. 814 kVA koneessa generaattorin jälkeen on Merlin Gerinin kompaktikatkaisija Compact NS1600, johon kuuluvat Micrologic 2.0 suojarele, MCH moottoriohjain ja kolme apukosketinta. Katkaisin on generaattorin oikosulku- ja ylivirtasuojaja, joka suojaa dieselgeneraattoria ja sen komponentteja. Micrologic suojarele on kolmiportainen rele ylivirran ja oikosulkuvirran suojaukseen. Moottoriohjaimella pystytään katkaisijaa ohjaamaan sähköisesti tai manuaalisesti. 814 kVA koneella on jokaisella kolmella lähdöllä kytkinvarokkeet, joihin voidaan liittää 400 A kahvasulakkeet. (Liite 4; Liite 5.)

200 kVA koneessa on generaattorin jälkeinen suojauskokonaisuus, johon kuuluvat kompaktikatkaisija, suojarele, alijännitekela, moottoriohjain ja vaihtokosketin. Nämä ovat sijoitettuna laitteiston sisälle generaattorin ja lähtöjen välille. Kompaktikatkaisija on Merlin Gerinin valmistama generaattorin oikosulku- ja ylivirtasuojaja NSX400F 3P, jonka tehtävänä on suojata generaattoria käytön aikana. Se suojaa laitteen sisäisiä johtimia ja kiskoja ylikuormitukselta ja oikosulkuvirralla. Suojarele Micrologic 2.3 400A 3p3D on elektroninen kolmiportainen rele kaapelien ja laitteiden suojaukseen ylivirralla. Alijännitekela MN 220VAC katkaisee generaattorin verkosta, jos kelan mittaama jännite laskee suojausasettelun alapuolelle. Moottoriohjaimella 220VAC MT400 pystytään puolestaan ohjaamaan katkaisijaa manuaalisesti tai sähköisesti. 200 kVA tehonjakelu kulkee kytkinvarokelähdön kautta, joka voidaan varustaa 400 A kahvasulakkeilla. (Liite 8; Liite 9.)

Syötettävän sähköverkon tai varavoimakoneen kytkentäpaikan oikosulun aikana, täytyy sähkönsyöttö verkkoon katketa automaattisesti. Jos oikosulku tapahtuu kytkentäpaikan

pienjännitepuolella, niin varavoimakoneissa olevat suojaukset irrottavat dieselgeneraattorit sähköverkosta. Keskijännitelinjassa tapahtuva oikosulku synnyttää verkkoon suuren oikosulkuvirran, joka on vaarallinen sähköverkolle, ympäristölle ja verkon käyttäjille. Dieselgeneraattorin käytönaikaisen oikosulkusuojauksen pitää kyetä katkaisemaan nopeasti sähköt syötettävältä verkolta ja erottamaan generaattori verkosta. Kytkenän pienjännitepuolen katkaisijat eivät toimi, jos oikosulku on keskijänniteverkossa, koska välissä on muuntaja galvaanisena erottimena. Oikosulkusuojausten toteuttamiseen on eri keinoja. Käytettäessä pelkästään syöttömuuntajaa ilman, että sitä on valmistettu varavoimakoneen kanssa käytettäväksi, sähkön katkaisun on tapahduttava varavoimakoneen katkaisijalla. Tähän täytyy yhdistää mitattu tieto verkon oikosulusta. Oikosulun havaitseminen voi perustua virran taajuuksien mittaamiseen. Oikosulkuvirta vääristää vaihevirtojen taajuuksia, jolloin mittaamalla pienjännitepuolen virran vaihekulmia pystytään asettamaan taajuusreleelle sopivat asetteluarvot oikosulun poistamiseksi. Kytkentä vaatii, että taajuusrele yhdistetään nykyisien varavoimakoneiden katkaisijaan. (ABB 2000, 1; ABB 2002, 3; Aura & Tonteri 1993, 171.)

Oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa myös perinteisesti vakioaikaylivirtareleellä. Tämä vaihtoehto vaatii, että syöttömuuntamo on rakennettu varavoimakone käyttöön soveltuvaksi. Ylivirtarele voidaan asentaa kiinteästi muuntamoon, johon asennetaan virtamuuntajat mittaamaan syöttömuuntajalta verkkoon kulkevia vaihevirtoja. Lisäksi täytyy muutamien suurjännitepuolelle kytkeä katkaisija, joka kykenee sammuttamaan sähkönsyötön. Releen asetteluarvojen ylittyessä rele lähettää käskyn katkaisijalle toimia ja tämä eristää sähkönsyötön verkosta. Suuri etu tässä ratkaisussa on pika- ja aikajälleenkytkentöjen mahdollinen käyttö, jotka pystyvät poistamaan suuren osan verkon mahdollisista vioista. Toinen mahdollisuus on käyttää keskijännitesulakkeita rakennetun muuntamon lähdössä. (ABB 2000, 21–23; Aura & Tonteri 1993, 170–171.)

Suurin haaste varavoimakoneen sähköisen suojausten toteuttamisessa on maasulkusuojaus. Jakeluverkossa maasulkusuojauksessa käytetään sähköasemilla suuntareleitä mutta ne tarvitsevat toimiakseen taustaverkon. Varavoimakoneita käytetään saarekekäyttönä, jolloin maasulkusuojausten toteuttamiseen täytyy kehittää muita keinoja kuin suuntarele. Yksi ratkaisu on nollajännitteeseen perustuva suojaus. Nollajännite on verkon tähtipisteen ja maan välinen jännite, joka on verkon kunnossa ollessa 0 V. Maasulun sattuessa viallisen vaiheen jännite laskee, terveiden vaiheiden jännitteet kasvavat ja nollajännite nousee. Nollajännitteen kasvu on riippuvainen maasulun aikaisesta vikaimpedanssista. Suurella

vikaimpedanssilla jännite ja varsinkin vikavirta jäävät alhaisiksi, jotka vaikeuttavat suo-  
jauksien toimivuutta. Alhaisella tai olemattomalla vikaimpedanssilla nollajännite voi kas-  
vaa vaihejännitteen arvoon. Varavoimakoneen maasulkusuojaus voidaankin toteuttaa  
nollajännitteen mittauksen avulla. Nollajännite voidaan mitata muuntajan suurjännite-  
puolen avokolmiokäämityksestä, maan ja verkon tähtipisteen välille kytketyn yksivai-  
hemuuntajan toisista tai jännitesensorien ja laskennallisen summamittauksen avulla.  
Nollajännitteeseen perustava suojaus pystytään tekemään nollajännitereleellä. (Lakervi  
& Partanen 2008, 186; ABB 2007, 13.)

#### 4.4 Varavoimakoneiden käytön sähkötyöturvallisuus

Varavoimakoneen käytössä täytyy noudattaa SFS 6002:2015 sähkötyöturvallisuus stan-  
dardeja. Varavoimakoneen kanssa työskentelevien henkilöiden tarvitsee olla tarpeeksi  
ammattitaitoisia ja opastettuja työhön. Koneen liittäminen tehdään sähköverkon ja ko-  
neen ollessa jännitteettöminä. Ennen työn aloittamista varmistetaan, että työkohde on ja  
säilyy jännitteettömänä työn ajan. Jännitteettömyys voidaan varmentaa viidellä peräkkäi-  
sellä toimintatavalla, jotka ovat (SFS 2015, 25):

- täydellinen erottaminen
- jännitteen kytkemisen estäminen
- laitteiston jännitteettömyyden toteaminen
- työmaadoittaminen
- suojaus lähellä olevilta jännitteisiltä osilta

Varavoimakoneeseen kytkettävä ilmajohtoverkko on erotettava täydellisesti muusta ver-  
kosta. Tämä voidaan tehdä keskijänniteverkossa avaamalla erottimia tai jomppeja, jolloin  
saadaan muodostettua näkyvä ilmaväli työnaikaisen verkon osan ja muun verkon välille.  
Avattavien erottimien valinnassa pitää huomioida mahdollisuus jännitteen kytkeytymi-  
selle usealta suunnalta esimerkiksi verkkoon kiinnitetyiltä varavoimalaitteistoilta, UPS-  
laitteistoilta tai muilta vastaavilta lähteiltä. Varavoimakoneen tulee luonnollisesti olla  
sammutettuna työn aikana. (SFS 2015, 25.)

Varavoimakoneen käynnistämisen estämiseksi työn aikana, täytyy sen käynnistyslait-  
teisto lukita tai muulla tavalla varmistaa, ettei sitä voida käynnistää. Keskijänniteverkon

erottimien kytkinlaitteet lukitaan. Erityistä tarkkuutta pitää käyttää kauko-ohjattavien erottimien jännitteen kytkemisen estämisessä. (SFS 2015, 25–26.)

Varavoimakoneen ja keskijänniteverkon jännitteettömyys täytyy todeta luotettavalla tavalla. Keskijännitteisten ilmajohtojen jännitteettömyys voidaan todeta standardien mukaisella jännitteenkoettimella tai työn käytönjohtajan hyväksymällä luotettavalla keinolla, joka tehdään ilman kosketusta. Keskijännitteellä jännitteenkoetin ilmaisee käyttöjännitteen olemassaolon ja ei yleensä kerro mahdollisista varausjännitteistä, eikä näin takaa täydellistä jännitteettömyyttä. Keskijänniteverkko on aina työmaadoitettava ennen kytkentöjen aloittamista. (SFS 2015, 26.)

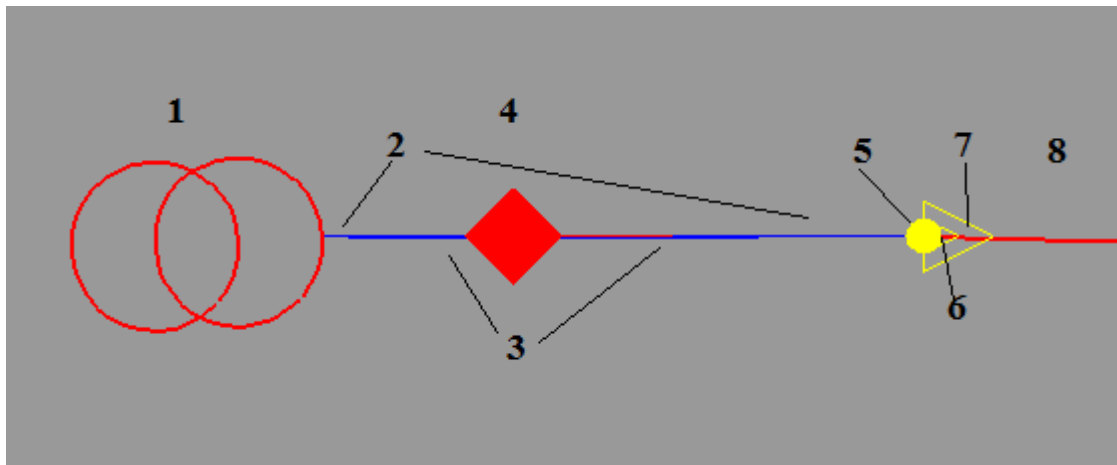
Työmaadoittaminen on tehtävä ilmajohtoverkon osalle ennen kytkennän tekemisen aloittamista. Työmaadoituksen tulee olla aina kun mahdollista nähtävissä työalueelta. Työmaadoittamisella estetään työkohteen tuleminen jännitteiseksi kytkennän tekemisen aikana. Työmaadoittaminen aloitetaan kytkemällä aluksi työmaadoitusvälineet maadoituspisteeseen ja vasta tämän jälkeen ilmajohtoverkon vaihejohtimiin. Työmaadoitus puretaan vastakkaisessa järjestyksessä. (SFS 2015, 27.)

Viimeisenä turvallisen työskentelyn sääntönä on suojaus lähellä olevilta jännitteisiltä osilta. Jos kytkentäalueen lähellä on sähkölaitteiston osia, joita ei voida tehdä jännitteetöiksi, sähköstä aiheutuvat vaarat on estettävä ennen työn aloittamista. (SFS 2015, 29.)

#### **4.5 Varavoimakoneen mallintaminen Trimble NIS-verkkotietojärjestelmään**

Varavoimakoneen mallinnus Trimble NIS-verkkotietojärjestelmään mahdollistaa NIS:llä suoritettavan laskennan, jolla voidaan todentaa liittämisen vaikutukset sähköverkon osalle ennen koneen fyysistä kytkemistä. Tärkein laskentatoimi on oikosulkulaskenta, jonka tuloksista pystytään tarkastamaan varavoimakoneen ja syöttömuuntajan synnyttämä oikosulkuvirta keskijänniteverkkoon. Verkkotietojärjestelmään ei kuitenkaan voida mallintaa varavoimakonetta ja muuntajaa omina komponentteinaan suoraan, koska NIS vaatii laskennan toteuttamiseksi aina 110 kV taustaverkon. Tämän vuoksi varavoimakone ja syöttömuuntaja joudutaan digitoimaan päämuuntajalla varustetuksi sähköasemaksi.

Mallintaminen aloitetaan rakentamalla NIS:llä normaali sähköasema mutta vain laskennan kannalta tarpeellisilla komponenteilla. Tarvittavia osia ovat päämuuntaja, kiskot, erotin, mittauspiste, juuripiste ja sisäpäätte. Kuvassa 8 on NIS:stä otettu kuvakaappaus luodusta sähköasemasta ja sen sisältämistä numeroiduista osista, jotka ovat 1 päämuuntaja, 2 kisko-osa lähtö, 3 kisko-osa, 4 erotin, 5 mittauspiste, 6 juuripiste, 7 sisäpäätte ja 8 kaapeli. Liitteessä 10 on taulukko, jossa on NIS komponenttien tarkat nimet sekä numerot. Sinisellä ja katkaisijan luona punaisella viivalla on sähköaseman kiskostot. Juuripisteen jälkeen on paksumpi punainen viiva, joka on AHXAMK-W 3x185+35 maakaapelia 814 kVA koneella tai AHXAMK-W 3x95+35 kaapelia 200 kVA koneella. Laskentaa varten joudutaan digitoimaan nämä kaikki osat mutta tärkein on päämuuntaja, jonka arvoihin asetetaan syöttömuuntajan ja varavoimakoneen generaattorin tiedot sovelletusti. Muiden komponenttien arvoja ei tarvitse mitoittaa laskennan kannalta.



KUVA 8. Varavoimakonetta ja muuntajaa kuvaava sähköasema

Päämuuntajan tietoihin laitetaan syöttömuuntajan arvot. Varavoimakoneen generaattorin tiedot syötetään taustaverkon tietoihin. Syöttömuuntajan arvoista päämuuntajalla laitetaan mitoitus-teho, tyhjäkäyntihäviöt, oikosulkuresistanssi, oikosulkuimpedanssi, nol-laresistanssi ja nol-lareaktanssi. Generaattorilta resistanssi, reaktanssi, nol-laresistanssi ja nol-lareaktanssi annetaan syöttävän taustaverkon arvoihin. Syöttömuuntajien arvot ovat kat-sottu ABB:n 630 kVA ja 160 kVA jakelumuuntajien tietojen perusteella (ABB 2010, 8-9). Generaattoreiden tiedot löytyvät valmistajien materiaaleista (Stamford 2010, 3; Leroy Somer 2007, 4). Muuntajien lähtötiedot ovat taulukossa 4, jossa  $S_N$  on nimellisteho,  $z_k$  on suhteellinen oikosulkuimpedanssi,  $LL$  on kuormitushäviö ja  $NLL$  on tyhjäkäyntihäviö.

TAULUKKO 4. Muuntajien kilpiarvotiedot

$S_N$	630 kVA	160 kVA
$z_k$	6 %	4 %
$LL$	8700 W	2350 W
$NLL$	1120 W	460 W

Aluksi lasketaan tarvittavat tiedot muuntajien kilpiarvojen perusteella. Laskentaesimerkit ovat 630 kVA muuntajalta. Muuntajan suhteellinen oikosulkuresistanssi  $r_k$  voidaan laskea kaavalla 3 (Korpinen b, 8).

$$r_k = 100 \% \cdot \frac{P_k}{S_N} \quad (3)$$

Jossa  $r_k$  on suhteellinen oikosulkuresistanssi,  $P_k$  on kuormitushäviöt ja  $S_N$  on nimellisteho.

Sijoittamalla tähän kaavaan 630 kVA muuntajan tiedot (Taulukko 4) saadaan laskettua suhteellinen oikosulkuresistanssi:

$$r_k = 100 \% \cdot \frac{P_k}{S_N} = 100 \% \cdot \frac{8700 \text{ W}}{630000 \text{ VA}} = 1,381 \% \quad (3)$$

Suhteellisen oikosulkuimpedanssin ja resistanssin avulla voidaan laskea suhteellinen oikosulkureaktanssi  $x_k$  kaavalla 4 (Hietalahti 2013, 98).

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{6^2 - 1,381^2} = 5,839 \% \quad (4)$$

Muuntajan nollaimpedanssi on riippuvainen muuntajan kytkentäryhmästä. Tähti-kolmio kytkennällä varustetun muuntajan nollaimpedanssin voidaan olettaa olevan sama kuin oikosulkuimpedanssin. Nollaimpedanssi  $Z_{MO}$  lasketaan kaavalla 5 (Koskinen 2013, 33).

$$Z_{MO} = 6 \% \cdot \frac{U_N^2}{S_N} = 0,06 \cdot \frac{20000 \text{ V}^2}{630000 \text{ VA}} = 38,06 \Omega \quad (5)$$

Jossa  $Z_{MO}$  on nollaimpedanssi,  $U_N$  on nimellisjännite ja  $S_N$  on nimellisteho.

Nollaresistanssi  $R_{M0}$  lasketaan kaavalla 6 (Koskinen 2013, 34).

$$R_{M0} = \frac{NLL}{S_N} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{1200 \text{ W}}{630000 \text{ VA}} \cdot \frac{20000 \text{ V}^2}{630000 \text{ VA}} = 1,209 \Omega \quad (6)$$

Näiden perusteella pystytään selvittämään nollareaktanssi  $X_{M0}$  kaavalla 7 (Koskinen 2013, 35).

$$X_{M0} = \sqrt{Z_{M0}^2 - R_{M0}^2} = \sqrt{38,06^2 \Omega - 1,209^2 \Omega} = 38,04 \Omega \quad (7)$$

Päämuuntajan tekniset tiedot välilehdelle sijoitetaan syöttömuuntajan nimellisteho ja tyhjäkäyntihäviöt. Ension mitoitusjännitteen täytyy olla 115 kV, jotta NIS voi suorittaa laskennan. Käytännössä ohjelmaa hämätään päämuuntajalla, johon on muuten sijoitettu syöttömuuntajan arvot. Kuvassa 9 on päämuuntajalle asetetut tekniset tiedot.

Liitteet	Huomautus	Kunnossapitotiedot	Mittauseriä
Yleistiedot	Tekniset tiedot	Impedanssit	Sijainti
		Vapaat attribuutit -lista	
Mitoitusteho (MVA)	0.630	Kytkentäryhmä	YNd11
Ensiön mitoitusjännite (kV)	115.000	Käämikytin	Jännitesäätö
Toision mitoitusjännite (kV)	21.000		Ei
Laskentajännite (kV)	20.600	Portaan koko (%)	0.000
Tyhjäkäyntihäviöt P0 (kW)	1.200	Maksimiasento	0
Tyhjäkäyntihäviöt Q0 (kvar)	14.350	Keskiasento	0
Näennäishäviöteho (kVA)	14.400	Minimiasento	0
Kokonaispaino (kg)	0	Asento	0
Öljymäärän paino (kg)	0	Minimijännite (kV)	0.000
		Maksimijännite (kV)	0.000

KUVA 9. Päämuuntajan tekniset tiedot

Generaattorin valmistajan materiaalista pystytään asettamaan syöttävän alueverkon tiedot päämuuntajan impedanssit välilehdelle, johon sijoitetaan myös syöttömuuntajan lasketut arvot. Oikosulkuresistanssien kohdalle laitetaan kaikkiin kohtiin laskettu suhteellinen oikosulkuresistanssi. Samoin toimitaan myös oikosulkuimpedanssien kanssa. Nollaresistanssiksi ja nollareaktanssiksi asetetaan lasketut arvot. Kuvassa 10 on päämuuntajan impedanssit välilehti, johon on täytetty generaattorin ja syöttömuuntajan tiedot.

Liitteet		Huomautus		Kunnossapitotiedot		Mittauserä			
Yleistiedot		Tekniset tiedot		Impedanssit		Sijainti		Vapaat attribuutit -lista	
Minimioikosulkuresistanssi (%)	1.381			Minimioikosulkuimpedanssi (%)	5.839				
Keskioikosulkuresistanssi (%)	1.381			Keskioikosulkuimpedanssi (%)	5.839				
Maksimioikosulkuresistanssi (%)	1.381			Maksimioikosulkuimpedanssi (%)	5.839				
Nollaresistanssi (ohm)	1.209			Nollareaktanssi (ohm)	38.060				
Kuormitushäviöt (kW)	8.700								
Ensiön tähtipiste					Toisios tähtipiste				
Maadoitustapa	Ei määritelty			Maadoitustapa	Ei määritelty				
Resistanssi (ohm)	0.000			Sammutus	Ei määritelty				
Reaktanssi (ohm)	0.000			Resistanssi (ohm)	0.000				
				Reaktanssi (ohm)	0.000				
Syöttävä alueverkko									
Resistanssi (ohm)	0.008			Nollaresistanssi (ohm)	0.000				
Reaktanssi (ohm)	2.700			Nollareaktanssi (ohm)	0.020				

KUVA 10. Päämuuntajan impedanssit

Kun on luotu sähköasema ja asetettu päämuuntajalle oikeat arvot, voidaan mallinnettu kokonaisuus kytkeä kiinni sähköverkkoon NIS:ssä. Kytkentäkaapeleiksi valitaan 814 kVA koneella 185 mm<sup>2</sup> alumiinikaapeli ja 200 kVA koneella 95 mm<sup>2</sup> alumiinikaapeli. Nämä ovat samaa kokoa, kuin todellisilta varavoimakoneilta syöttömuuntajalle kulkevat kumikaapelit. Kuvassa 11 on Kämmenniemessä verkkoon yhdistetty mallinnettu sähköasema.



KUVA 11. Mallinnetun sähköaseman kytkeminen kiinni sähköverkkoon



Ennen laskennan suorittamista erotetaan tutkittava verkko avaamalla erotin. Näin saadaan luotua verkon osa, jota syöttää ainoastaan mallinnettu varavoimakone ja sen syöttömuuntaja. Esimerkkilaskennassa on laskettu oikosulkulaskenta tutkittavassa Kämmenniemen verkossa. Sieltä avattiin erotin E431, jonka sijainti on merkitty kuvaan 14 valkoisella nuolella. Oikosulkulaskennan tulokset ovat kuvassa 12.

Lähdön tunnus	Sähköaseman tunnus	Muuntajan tunnus	Unim (kV)	Ulas (kV)	Rf (ohm)	Xf (ohm)	Ik3max (kA)	Ikmin (kA)
Varavoimakon	Genu	Genu+syöttö	21.0	20.6	9.667	39.803	0.290	0.230

KUVA 12. Oikosulkulaskennan tulokset mallinnetulla varavoimakoneella

Oikosulkulaskennan tulokset ovat matalia, joka asettaa haasteita kytkennän oikosukusuojauksen toteuttamiselle. Toisaalta tutkittavan keskijänniteverkon huippukuormitusvirta on vain 12 A (Kuva 15), johon verrattuna oikosulkuvirrat ovat suuria. Vertailuksi laskettiin myös verkon normaalitilanteen oikosulkuvirrat, jotka ovat kuvassa 13.

Alkusolmun tunnus	Loppusolmun tunnus	Johtolaji	Pit (m)	Etäis (m)	Ik3 (A)	Ik1 (A)	SulA (A)	SulL (A)	Ikmin /In
L Ä H T Ö : 01									
VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET									
3	01	5	AM35	300	301	1685	365	63	63 5.8

KUVA 13. Verkon normaalitilanteen oikosulkulaskennan tulokset

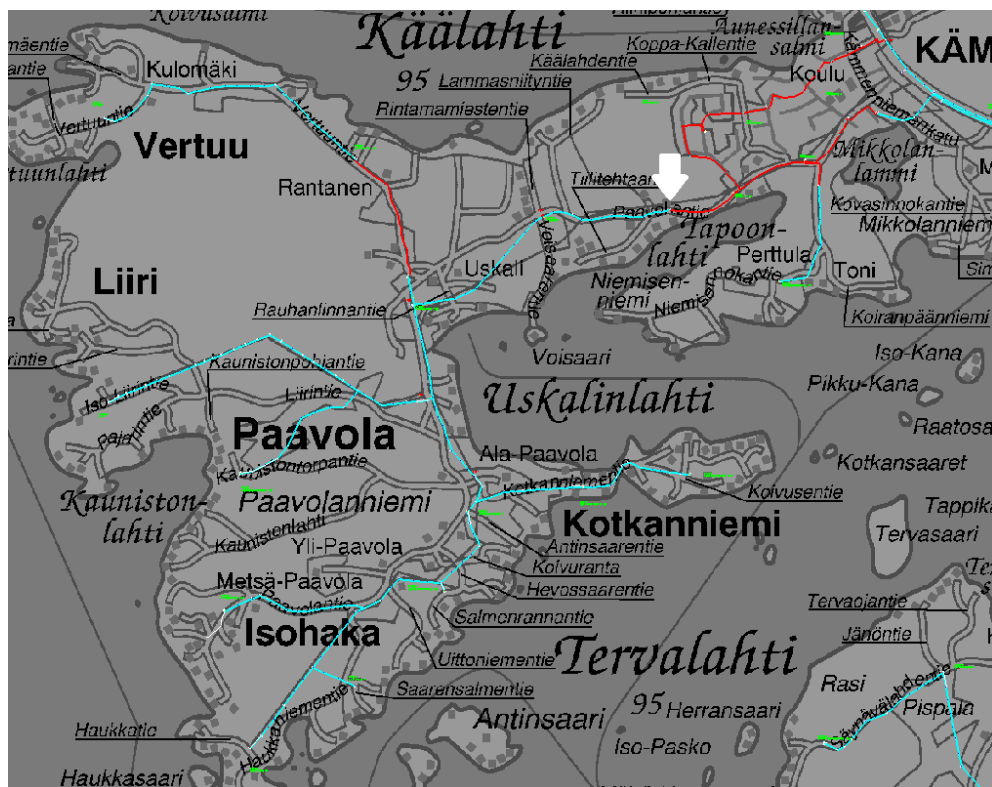
Kun verrataan mallinnuksen ja normaalitilanteen oikosulkuvirtoja, niin suurin ero tulee maksimioikosulkuvirran arvossa. Se on 1685 A normaalitilanteessa ja 290 A varavoimakoneen ollessa kytkettynä (Kuvat 12 ja 13). Suojauksen kannalta olennaisemmat minimioikosulkuvirrat eivät eroa jyrkästi toisistaan. Verkon normaalitilanteessa minimioikosulkuvirta on 365 A ja mallinnuksen tuottama minimioikosulkuvirta on 230 A (Kuvat 12 ja 13).

## 5 814 kVA VARAVOIMAKONEEN KYTKENTÄPAIKAT

Tampereen Sähköverkon omistamasta keskijänniteverkosta etsittiin kohteita, joissa voitaisiin käyttää nimellistehoaltaan 814 kVA varavoimakonetta. Tutkittaviksi verkon kohteiksi valittiin paikkoja, joissa ei ole rengasverkkoa. Näin ollen verkkoa syöttävän lähdön vikaantuessa katkeaisivat sähköt myös tutkittavilta verkoilta. Tutkittavat verkon kohteet sijaitsevat Kämmenniemessä ja Taulaniemessä. Ne ovat kummatkin niemiä Näsijärven itäpuoleisessa Teiskossa, joihin johtaa yksittäiset ilmajohtoverkon haarat.

### 5.1 Kämmenniemi

Kämmenniemi sijaitsee Tampereelta pohjoiseen Näsijärven itäpuolella. Se on niemi, joka on Uskalinlahden ja Käälahden välissä kapeana mutta laajenee kohti Näsijärveä. Kämmenniemen kj-sähköverkko on osittain maakaapeloitu. Suurin osa verkosta on kuitenkin avojohdollista- tai PAS-johdollista ilmaverkkoa (Kuva 14). Uskalisella kohdalla sähköverkko kulkee yksittäisenä linjana Paavolantien reunassa ja osittain peltojen halki (Kuva 14). Tässä kohdassa on kauko-ohjattava erotin E431, joka on merkitty kuvaan 14 valkoisella nuolella.



KUVA 14. Kämmenniemen keskijänniteverkko

Ilmajohdoverkko haarautuu kahteen suuntaan Paavolantien ja Vertuuntien risteuksen jälkeeseen erottimen kohdalla. Pohjoiseen päin kulkee avojohdollinen Sparrow-linja ja etelään jatkuu päällystetty PAS 95-johtolinja. Sähköverkko on osa Teiskon sähköaseman lähtöä B26 Kämmenniemi. Kauko-ohjattavasta erottimesta E431 eteenpäin keskijänniteverkkoon on kytketty 12 jakelumuuntajaa. Muuntajien tehot ovat 30–100 kVA ja ne ovat esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Kämmenniemen jakelumuuntajat

<b>Muuntaja</b>	<b>Osoite</b>	<b>Teho kVA</b>
M1604	Paavolantie 269	100
M1806	Vertuuntie 78	50
M0581	Vertuu	50
M0550	Liiri	50
M1334	Kaunistontorpantie 78	30
M1382	Kotkanniementie 114	100
M0549	Kotkanniementie 63	50
M0505	Antinsaarentie 2	100
M1450	Salmenrannantie 10	50
M1338	Paavolantie 514	50
M1024	Saarensalmi	100
M0463	Haukkaniemi	50

### 5.1.1 Laskentatulokset

Ehtona varavoimakoneen käytölle on, että koneen tuottama teho riittää kattamaan verkossa olevan kulutuksen. Verkon kulutus ei saa olla korkeampi kuin koneen jatkuva arvoisesti tuottama teho, koska varavoimakonetta ei voida ylikuormittaa pitkäkestoisesti. Alhaisemmalla kuormituksella kone kuluttaa vähemmän polttoainetta, joka mahdollistaa pidemmän käytön. Verkon kulutuksen laskemisen apuna käytettiin Trimble NIS verkko-tietojärjestelmää. Sillä laskettiin tehonjakolaskenta erottimen E431 jälkeisessä verkossa (Kuva 15). Verkon kuormitus on selvitettävä tässä verkon osassa, koska koko Kämmenniemen kuormitus kulkee tämän verkon kohdan lävitse.

## T U L O K S E T   K J - J O H T O - O S I L L E

Alkusolmun tunnus	Loppusolmun tunnus	Johtolaji	Pit Etäis		K U O R M I T U S			J Ä N N I T E			H U O M	
			(m)	(m)	I (A)	K-aste (%)	Ph (kW/km)	Aika	U (kV)	Uh (%)		Aika (%/MW)
L Ä H T Ö : B26KÄMMENNIEMI												
VIIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET												
126	127	PAS95	744	6916	12	3	0.1	2636	20.44	0.8	2635	0.6

KUVA 15. Laskentatulokset Kämmenniemielle

Paavolantien kohdalla kuormavirta on kauko-ohjattavan erottimen E431 jälkeen NIS laskentatuloksen mukaan 12 A (Kuva 15). Tämä virran arvo on verkon huippukuorman aikainen, jolloin sitä voidaan käyttää koneen tehon mitoittamisessa. Tällä vältetään, että verkon vaatima teho ylittäisi koneen jatkuvan arvon tehon. Samassa verkon kohdassa oleva jännite on 20,44 kV (Kuva 15). Verkossa siirtyvä teho lasketaan kaavalla 8 (Elovaara & Haarla 2011, 141).

$$S = \sqrt{3} \cdot I \cdot U_N \quad (8)$$

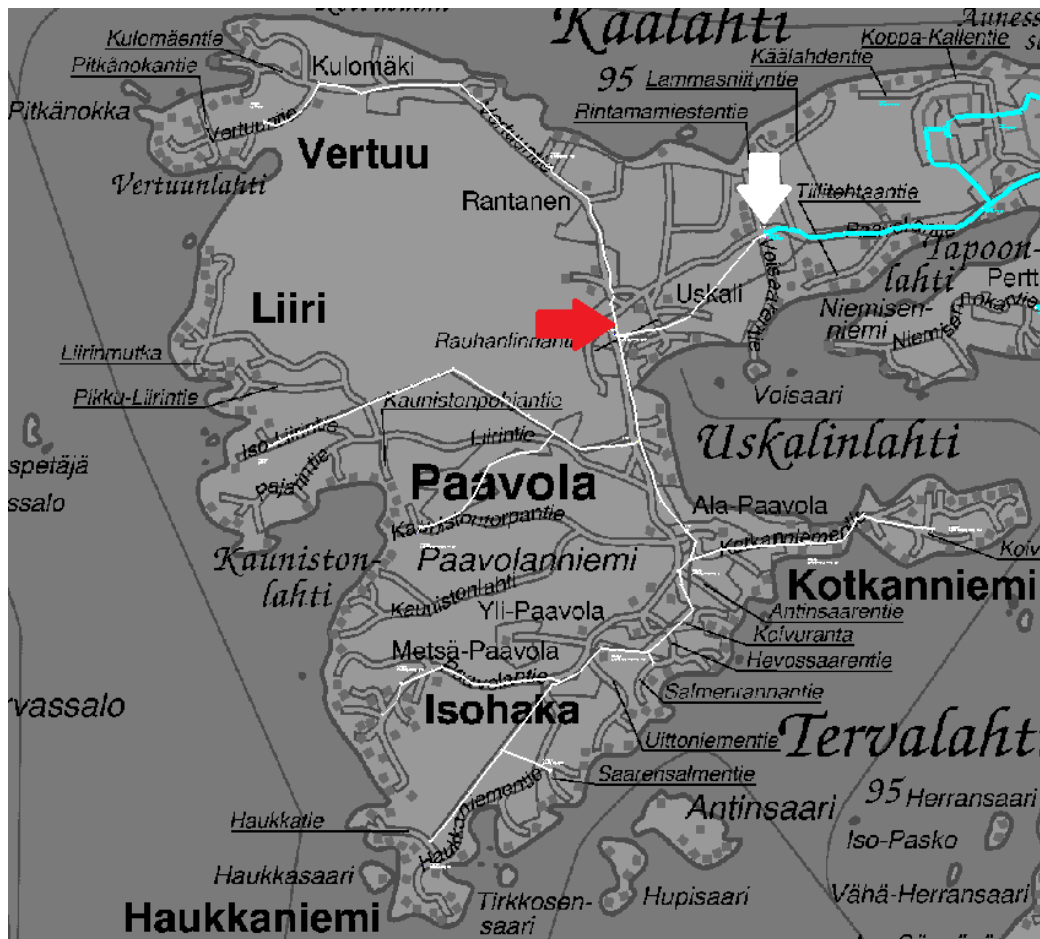
Jossa  $S$  on kolmivaiheteho,  $I$  on kuormavirta ja  $U_N$  on verkon nimellispääjännite. Sijoittamalla kaavaan 8 NIS:n laskentatulokset saadaan verkon teho laskettua:

$$S = \sqrt{3} \cdot I \cdot U = \sqrt{3} \cdot 12 \text{ A} \cdot 20440 \text{ V} = 424,84 \text{ kVA} \quad (8)$$

Verkon huipputeho on selkeästi alhaisempi kuin varavoimakoneen jatkuvan käytön teho, joka on 814 kVA. Varavoimakonetta voidaan näin tehontuotannon puolesta käyttää syöttämään Kämmenniemen haaraa.

### 5.1.2 Mahdollinen kytkentäpaikka

Varavoimakonetta käytetään, jos sähköverkon normaali sähkönjakelu ei toimi. Kone kytketään kiinni ehjään jännitteettömään verkkoon, joka on erotettu muusta sähköverkosta, jolloin varavoimakonetta käytetään saarekekäyttönä. Paavolan alueen erottaminen pystytään tekemään kauko-ohjattavalla kuormaerottimella E431 (Kuvat 14 ja 16). Kuormaerotin voidaan avata jännitteellisenä (Aura & Tonteri 1993, 285). Vikatilanteessa sähköt olisivat katkenneet, kun verkon suojaukset olisivat havainneet vian. Kuvassa 16 on esitetty valkoisella verkon osat, jotka ovat sähköittä, jos erotin E431 on auki. Tämä on myös verkko, jota varavoimakoneella syötettäisiin.



KUVA 16. Varavoimakoneella syötettävä verkko

Varavoimakoneen kytkentäpaikan täytyy olla erottimen jälkeen mutta mielellään ennen verkon haarautumista (Kuva 16). Ilmajohtoverkko Paavolantien varressa on kuitenkin PAS-johtoa ja linja kulkee pellolla. Kytkentä päällystettyyn johtimeen ei onnistu johdinta rikkomatta ja varavoimakoneen siirtäminen pellolle on haastavaa. Konetta kuljetetaan kuorma-autolla, jolla täytyy päästä kytkentäpaikalle. Kuljetusreitti ei saa olla painorajoitettu ja sen täytyy olla tarpeeksi korkea sekä leveä koneen mitoille. Kytkentäpaikan pitäisi olla tien vieressä tarpeeksi kovalla maalla, että se kestäisi kuorma-auton kuljetuksen ja itse koneen painon (Taulukko 1). Lisäksi täytyy ottaa huomioon vuodenaikojen vaihtelu. Talvella voi olla paljon lunta, joten paikan täytyy olla aurattu tai tarpeen tullen nopeasti aurattavissa.

Mahdollinen nykyinen kytkentäpaikka on erottimen E253 luona, jossa linja haarautuu pohjoiseen ja etelään. Kytkentäpaikka on merkitty punaisella nuolella kuvaan 16. Etelään päin kulkeva linja on edelleen PAS-johtoa, mutta pohjoisen suuntaan kulkevaan avojohdoton varavoimakone pystytään kiinnittämään ennen kuin keskijännitelinja vaihtuu maa-kaapeliksi. Paavolantielle voidaan kuljettaa raskastakin kalustoa ja reitti on Paavolantielle

asti päällystetty. Itse Paavolantie on päällystämätön mutta hyvässä kunnossa ja varavoimakonetta voidaan siirtää sitä pitkin. Käytännössä kone on pysäköitävä kytkentää varten tien laitaa tai pellolle. Pellolle kone voidaan viedä, jos arvioidaan maan sen hetkisen kantokyvyn olevan tarpeeksi suuri koneen painolle. Tämänkaltainen tilanne on esimerkiksi vähälumisena talvena, jolloin pelto on roudassa. Kone on yli 2,5 metriä leveä, joten se peittää merkittävän osan Paavolantiestä. Sparrow-linja kulkee Paavolantien yli ja jatkaa lyhyen matkaa pellon sekä metsän läpi.

Kuvassa 17 on keväällä otettu kuva erottimesta E253 ja sen ympäristöstä. Erotinpylväs on pylväsmuuntajalla varustettu päätepylväs ja sijaitsee pellon ja Paavolantien laidalla. Sen vieressä on pienjännitepylväs, jota pitkin syöttömuuntajalta lähtevät kumikaapelit voidaan kiinnittää keskijännitteiseen ilmajohtoverkkoon. Kytkemiseen tarvitaan nostolava tai muu työturvallinen keino, jolla kumikaapelit voidaan nostaa ilmajohtimien tasalle. Nykyisen koneen käyttämisessä täytyy lisäksi ottaa huomioon, että syöttömuuntaja ei ole osa varavoimakonetta, vaan sille täytyy varata tarpeeksi tilaa. Näin ollen kytkentä vaatii ympärilleen tarpeeksi suuren suoja-alueen, joka asettaa nykyisellä verkolla haasteita varavoimakoneen tehokkaalle käytölle.

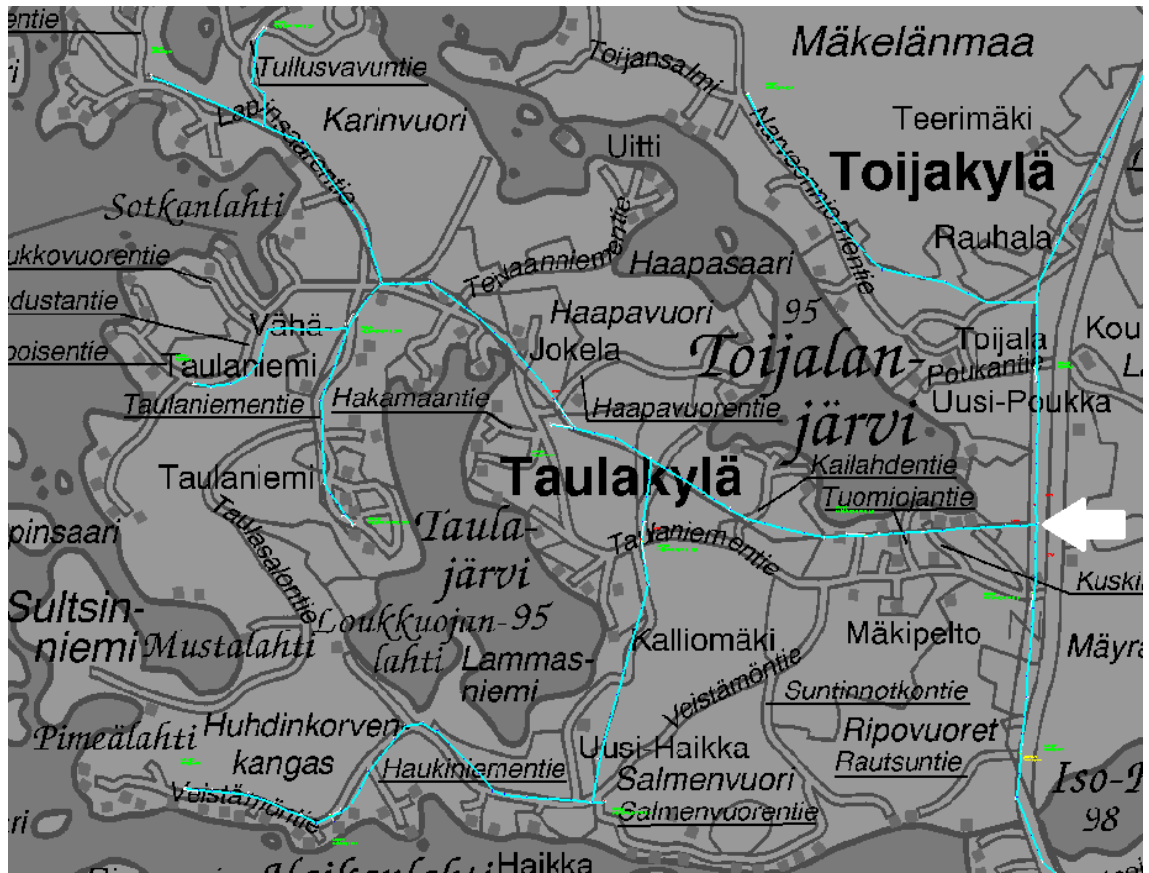


KUVA 17. Mahdollinen kytkentä paikka erottimen E253 luona

## 5.2 Taulaniemi

Taulaniemi sijaitsee hieman Kämmenniemestä pohjoiseen Näsijärven itäpuolella Teiskossa. Se on niemi, joka levittäytyy Näsijärvelle ja jonka sisällä on Taulajärvi. Taulaniemen keskijänniteverkko on kokonaan ilmajohtoa. Kuvassa 18 on NIS:stä otettu kuva Taulaniemen sähköverkosta. Verkko erkaantuu yksittäisenä haarana runkolinjasta erottimen E215 kohdalla. Erottimen sijainti on merkitty kuvaan 18 valkoisella nuolella. Erkaantuneen linjan tullessa Taulakylään, hajaantuu linja ympäri niemeä (Kuva 18). Taulaniemen

sähköverkko osa on Teiskon sähköasemalta lähtevää Polson B25 lähtöä. Erottimen E215 jälkeinen keskijänniteverkko siirtää sähköä 11 jakelumuuntajalle. Muuntajien tehot ovat taulukossa 6.



KUVA 18. Taulaniemen keskijänniteverkko

TAULUKKO 6. Taulaniemen jakelumuuntajat

Muuntaja	Osoite	Koko kVA
M1292	Taulaniementie 68	50
M1308	Taulaniementie 138	100
M1750	Salmenvuorentie 1	50
M1071	Haikanlahti	50
M1190	Riposaari	100
M0508	Taulaniemi	100
M0543	Taulaniementie 300	50
M0548	Taulaniementie 370	50
M1061	Padusta	100
M0544	Lapinniemi	50
M1416	Tullusvavuntie 29	100



### 5.2.1 Laskentatulokset

Varavoimakoneen tuottaman jatkuvan tehon arvo täytyy olla suurempi, kuin verkon kuormitus. NIS:llä laskettiin tehonjakolaskenta erottimen E215 jälkeisessä verkon osassa (Kuva 19).

T U L O K S E T   K J - J O H T O - O S I L L E												
Alkusolmun tunnus	Loppusolmun tunnus	Johtolaji	Pit Etäis		K U O R M I T U S			J Ä N N I T E			H U O M	
			(m)	(m)	I (A)	K-aste (%)	Ph Aika (kW/km)	U (kV)	Uh (%)	Aika (h)		Uhk (%/MW) A
L Ä H T Ö : B25POLSO												
VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET												
78	79	Sp40	259	7495	11	5	0.2	2635	20.31	1.4	2636	0.8

KUVA 19. Taulaniemen laskentatulokset

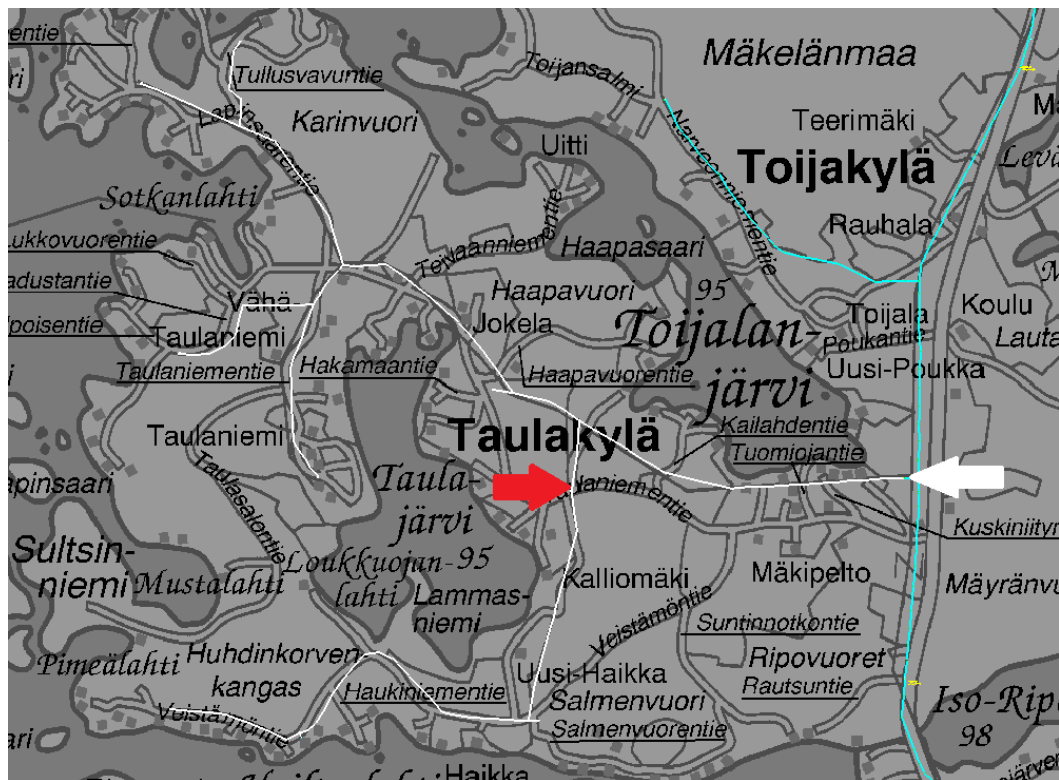
Laskentatuloksien mukaan verkossa kulkee huippukuormituksen aikana 11 A kuormavirta ja jännite on 20,31 kV (Kuva 19). Näiden tuloksien avulla voidaan laskea verkon tehontarve sijoittamalla NIS:n laskentatulokset kaavaan 8.

$$S = \sqrt{3} \cdot I \cdot U = \sqrt{3} \cdot 11 \text{ A} \cdot 20310 \text{ V} = 386,96 \text{ kVA} \quad (8)$$

Taulaniemen verkon huipputeho on 386,96 kVA ja varavoimakone kykenee tuottamaan 814 kVA pitkäkestoisesti. Laskennan mukaan varavoimakone selviää helposti verkon kuormituksen syöttämisestä. Konetta voidaan ajaa pienemmällä tehontuotannolla, jolloin se käy myös pitempään yhdellä tankillisella, koska polttoaineen kulutus on vähentynyt.

### 5.2.2 Mahdollinen kytkentäpaikka

Taulaniemen haara on järkevin erottaa muusta verkosta erottimella E215. Siitä kohdasta lähtee yksittäinen ilmajohtohaara, joka syöttää koko Taulaniemen sähköverkkoa. Erottamista ei voida tehdä verkon ollessa jännitteinen (Aura & Tonteri 1996, 285). Mahdollisen vian aikana verkon suojaukset ovat kuitenkin katkaisseet sähköt ja huoltotöiden yhteydessä voidaan käyttää verkon katkaisijoita sammuttamaan haaralla kulkeva virta. Jos erotin E215 avataan, niin kuvassa 20 valkoisella oleva sähköverkko on jännitteetön. Tämä on samalla se verkon osa, jota varavoimakoneella syötettäisiin.



KUVA 20. Taulaniemen keskijänniteverkko jännitteettömänä

Taulaniemessä suuren varavoimakoneen kytkentäpaikan löytäminen on haasteellista. Koko linja erottimelta E215 Taulakylän kohdalla olevalle ensimmäiselle verkon haaralle sijaitsee metsässä tai pellolla, joihin konetta ei saada kuljetettua. Taulaniemen sähköverkko on pääosin avojohtoista Sparrow-ilmajohdoverkkoa. Taulaniementie on päällystämätön, mutta ympäri vuoden kunnossapidetty. Sitä ei myöskään ole painorajoitettu ja leveytensä puolesta konetta voidaan kuljettaa tietä pitkin. Varavoimakoneen helpoin kytkentäpaikka on Taulaniementiellä erottimen E279 kohdalla. Kohta on merkitty kuvaan 20 punaisella nuolella. Ilmajohdoverkko on avojohtoa, johon varavoimakoneen syöttämä muuntaja voidaan liittää. Kumikaapelit pystytään nostamaan linjan tasalle erottimen E279 pylväitä pitkin. Kytkentäkohdassa Taulaniemen tie laajenee ja on tarpeeksi kantavaa myös reunalta, jotta kone saadaan tuotua tien sivuun. Erottimen vieressä kulkee pellolle menevä reitti, jota pitkin voidaan rakentaa kytkentäpaikkaa. Kuvassa 21 on keväällä otettu kuva erottimesta E279 ja sen ympäristöstä Taulaniementieltä päin.



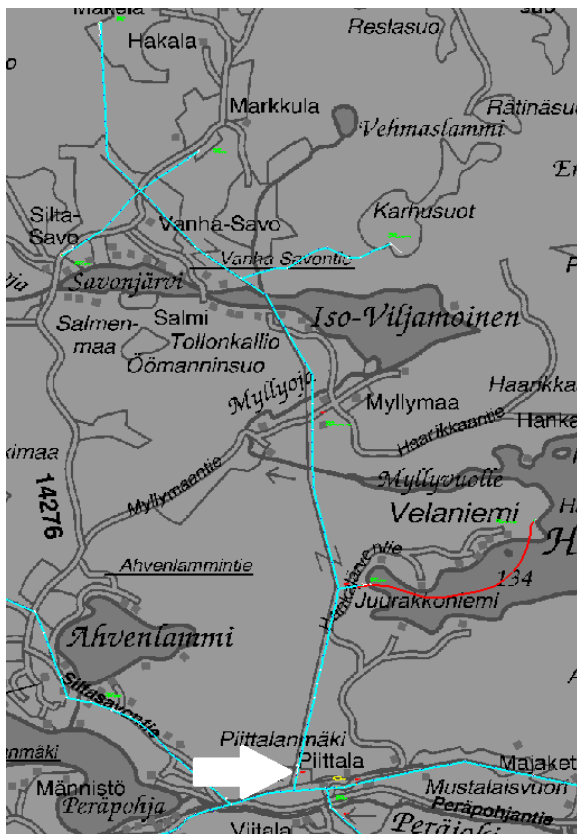
KUVA 21. Mahdollinen kytkentäpaikka erottimen E279 luona

## 6 200 kVA VARAVOIMAKONEEN KYTKENTÄPAIKAT

200 kVA varavoimakoneen tutkittaviksi verkon käyttökohteiksi valittiin Viitapohjan ja Kuorannan keskijänniteverkon haarat. Viitapohja sijaitsee Teiskon itäosassa Hankajärven lähetyvillä. Kuoranta on Teiskon pohjoisosassa Näsijärven itäpuolella. Kummatkin verkot ovat ilmajohtoverkon haaroja, jotka ovat lähtöjensä sähkökatkoksien aikana vailla varayhteyksiä. Tällä hetkellä ei myöskään ole tiedossa, että haaroja maakaapeloitaisiin tai muulla tavalla parannettaisiin niiden toimitusvarmuutta. Tästä syystä on hyvä tutkia varavoimakoneen käyttömahdollisuuksia Viitapohjassa ja Kuorannassa.

### 6.1 Viitapohja

Viitapohja on Teiskon itäpuolella. Sen sähköverkko haarautuu yksittäiseksi haaraksi erottimelta E263, joka on merkitty valkoisella nuolella kuvaan 22. Erotin sijaitsee pellolla Peräpohjantien ja Hankajärventien risteuksen läheisyydessä. Verkko kulkee siitä eteenpäin osittain pellolla ja metsässä haarautuen kohti jakelumuuntajia. Verkossa on yksi maakaapeloitu osuus, joka haarautuu ilmajohtodosta. Kuvassa 22 on NIS:stä otettu yleiskuva Viitapohjan haarasta. Maakaapeli on merkitty kuvaan 22 punaisella viivalla.



KUVA 22. Viitapohjan sähköverkko

Erottimelta E263 haarautuva Viitapohjan ilmajohtoverkko on osa Teiskon sähköasemalta alkavaa lähtöä B03 Viitapohja. Ilmajohto haaran perässä on 7 jakelumuuntajaa. Viitapohjan haara on pitkä ja koostuu maakaapelia lukuun ottamatta avojohdollisesta Sparrow-ilmajohdosta. Muuntajien tehot ovat taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Taulaniemen jakelumuuntajat

Muuntaja	Osoite	Koko kVA
M0701	Hankajärvi	50
M1834	Hankajärventie 250	50
M0546	Myllymaantie 131	50
M1595	Vanha-Savontie	50
M0856	Silta-Savo	50
M0857	Markkula	30
M0525	Savo	30

### 6.1.1 Laskentatulokset

Jotta Viitapohjan verkon haaraa voidaan syöttää 200 kVA varavoimakoneella, on selvitettävä, paljonko verkko tarvitsee tehontuotantoa. Laskenta tehtiin Trimble NIS verkko-tietojärjestelmällä. Valitsemalla erottimen E263 jälkeisen verkon osan pystyttiin tehonjakolaskennalla laskemaan verkon osassa kulkeva kuormavirta ja sen aikainen jännite. Nämä arvot ovat verkon huippukuormituksen aikaisia, joiden mukaan koneen tehontuotannon riittävyys on tarkastettava. Mahdollisessa koneen käyttötilanteessa ei saa tulla vaaraa koneen liiallisesta ylikuormituksesta. NIS:n laskentatulokset ovat kuvassa 23.

```

T U L O K S E T   K J - J O H T O - O S I L L E

Alkusolmun      Loppusolmun   Johtolaji      Pit Etäis      KUORMITUS      JÄNNITE      HUOM
tunnus          tunnus        Sp40           (m) (m)          I K-aste Ph Aika  U  Uh Aika  Uhk
                (A) (%) (kW/km)      (kV) (%)      (%/MW) A
=====
L Ä H T Ö : B03VIITAPOHJA
VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET
141 E263      142          Sp40           969 11261      2  1  0.0 335 20.44 0.8 2635  1.6

```

KUVA 23. NIS:n laskentatulokset Viitapohjassa

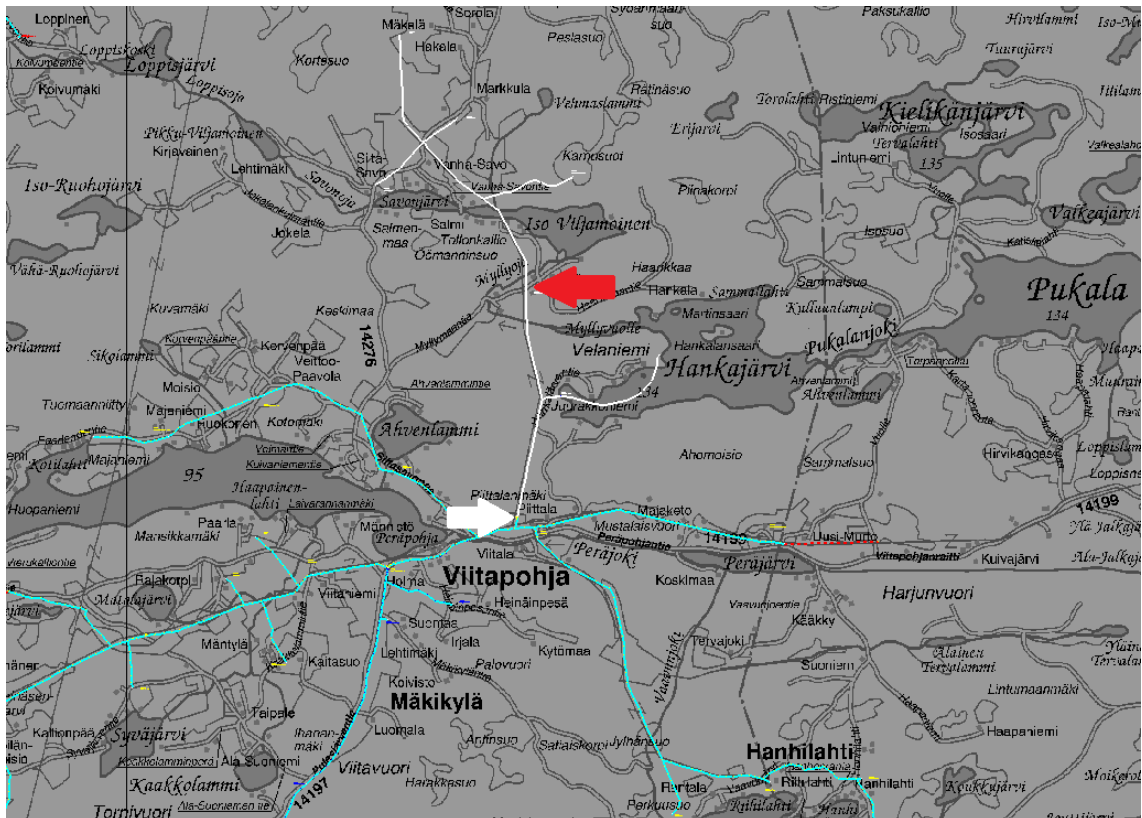
NIS:n laskentatuloksien mukaan Viitapohjan huippukuormituksen aikainen virta erottimen E263 jälkeisessä verkossa on 2 A. Jännite on 20,44 kV. Sijoittamalla laskentatulokset kaavaan 8, voidaan laskea verkon tarvitsema teho.

$$S = \sqrt{3} \cdot I \cdot U = \sqrt{3} \cdot 2 \text{ A} \cdot 20440 \text{ V} = 70,81 \text{ kVA} \quad (8)$$

Verkko tarvitsee 70,81 kVA tehon, johon 200 kVA varavoimakone kykenee helposti. Konetta voidaan käyttää pienemmällä teholla, jolloin sen polttoaineen kulutus on laskunut ja kone on toiminnassa pidemmän ajan.

### 6.1.2 Mahdollinen kytkentäpaikka

Viitapohjan haara pystytään erottamaan muusta verkosta erottimella E263, joka on merkitty valkoisella nuolella kuvaan 24. Se on manuaalisesti ohjattava ja erotinta ei voida avata, kun verkko on jännitteinen (Aura & Tonteri 1996, 285). Lähdössä tapahtuva vika kuitenkin katkaisee sähköt erottimelta, kun verkon suojaukset laukeavat. Huoltotöiden aikana voidaan katkaisijoilla sähköverkko tehdä jännitteettömäksi, jonka jälkeen erotin pystytään turvallisesti avaamaan. Avaamalla erotin saadaan kuvassa 24 valkoisella piirretty verkko erotettua muusta sähköverkosta. Kuva on otettu NIS:stä ja siinä näkyvä Viitapohjan erotettu verkko on myös varavoimakoneen syötön kohde.



KUVA 24. Viitapohjan keskijänniteverkko, kun erotin E263 on auki

200 kVA varavoimakonetta pystytään kuljettamaan nelivetoisella pakettiautolla, mutta sitä liikutetaan käytännössä kuorma-autolla. Kone on rakennettu autolla vedettäväksi perävaunuksi, joka painaa 3000 kg. Konetta voidaan kuljettaa normaaleilla teillä, joten kuljetus asettaa vain vähän rajoituksia koneen käyttökohteille. KytKentäpaikan ympäristössä tulee olla paikka, johon kone ja syöttömuuntaja voidaan asettaa. Kohdan maaperän pitää kestää koneen paino. Koneen kytKentäpaikassa täytyy olla myös avojohtoista ilmajohtoverkkoa, johon varavoimakoneeseen yhdistetty syöttömuuntaja voidaan kytkeä. KytKentään tarvitaan nostolava tai jokin muu vastaava työturvallinen tapa saada kj-kaapelit kiinnitettyä ilmassa oleviin johtimiin.

Mahdollinen varavoimakoneen kytKentäpaikka Viitapohjan haaran syöttämistä varten on heti erottimen E263 jälkeen. Erotinpylväs sijaitsee pellolla, johon on tietä pitkin hankala päästä, mutta siitä pohjoiseen jatkuva ilmajohtolinja kulkee läheltä peltojen vieressä olevaa asuinkiinteistöä. Varavoimakone pystytään kuljettamaan kiinteistön alueelle, jossa on sopiva paikka kytkemiselle. Tähän tarvitaan kuitenkin maanomistajan suostumus, joten siksi koneelle etsittiin myös toinen kytKentäpaikka. Hankajärventie muuttuu varsin nopeasti kapeaksi yksityistieksi, jota pitkin varavoimakoneen kuljettaminen on haasteellista. Alueella kulkemiseen tarvitaan lisäksi tienomistajien lupa. Keskijänniteverkko on rakennettu suurilta osin metsään ja se ylittää Hankajärventien vain muutamissa kohdissa. Nämä paikat eivät sovellu nykyisellään varavoimakoneen kytKentäkohdiksi.

200 kVA varavoimakoneen mahdollinen kytKentäpaikka löytyi lopulta Myllymaantien varrelta ja se on merkitty punaisella nuolella kuvaan 24. Keskijännitelinja ylittää tien erottimen E284 kohdalla, joka sijaitsee Myllymaantien varrelle. Myllymaantie on päällystämätön mutta tarpeeksi hyväkuntoinen koneen kuljetukselle. KytKentäkohdassa tie on kuitenkin kapea ja koneen pysäköiminen tien laitaan peittää huomattavan osan tiestä. Myllymaantie on varsin vähäliikenteinen, joten erikoisjärjestelyillä kytKentäpaikan rakentaminen on mahdollista. Erotin E284 on metsän puolella ja sen pylväisiin on lisäksi kiinnitetty jakelumuuntaja M0546. Kaapelin kytKeminen niitä pylväitä käyttäen onkin haasteellista mutta kymmenisen metrin päässä on toinen pylväs, jota hyväksi käyttämällä kaapelit saadaan nostettua liitettäväksi ilmajohtoverkkoon. Kuvassa 25 on erotin E284 ja sen lähiympäristö nähtävissä.

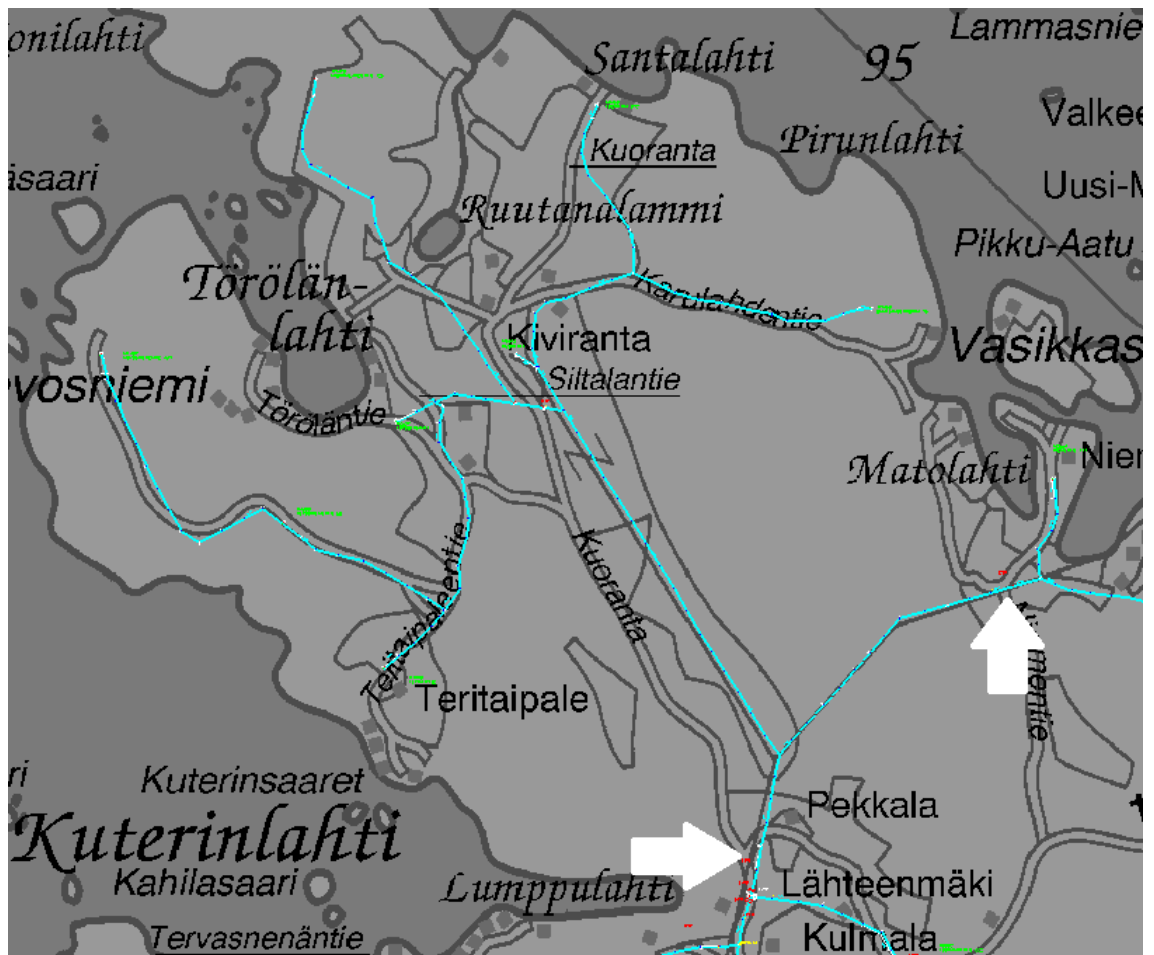


KUVA 25. Mahdollinen kytkentäpaikka erottimen E284 luona

## 6.2 Kuoranta

Kuoranta niminen tie haarautuu seututie 338:sta ja jatkaa kulkuaan Näsijärven itäpuolella olevalle niemelle Pohjois-Teiskossa. Kuorannassa oleva keskijänniteverkko on ilmajohtoverkkoa, joka haarautuu yksittäiseksi haaraksi Pekkalan kohdalla (Kuva 26). Kuvassa 26 on NIS:llä otettu kuva Kuorannan keskijänniteverkosta.





KUVA 26. Kuorannan keskijänniteverkko

Pekkalalta alkava sähkölinjan haara kulkee osittain metsän ja peltojen poikki. Ennen Kivirantaa verkko haarautuu jälleen moneen suuntaan ympäri niemeä. Verkko on osa Teiskon sähköasemalta alkavaa lähtöä B25 Polso ja siihen on kytketty 8 jakelumuuntajaa. Maisemaltaan Kuorannantien ympäristö on mäkiä ja metsäistä, joiden keskellä aukeaa pieniä pelto-alueita. Ilmajohtoverkko kulkee pääosin vaikeasti lähestyttävässä maastossa. Kuvaan 26 on merkitty valkoisilla nuolilla erottimet E246 ja E223. Kuorannan jakelumuuntajat ovat taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Kuorannan jakelumuuntajat

Muuntaja	Osoite	Koko kVA
M1469	Syvälahdennokka 16	50
M1468	Kuoranta 312	50
M1470	Vasikkalahdentie 126	50
M0512	Kuoranta	50
M0637	Törölahti	50
M1039	Teritaipale	30
M1466	Hevosniementie 53	50
M1467	Hevosniementie 141	100

### 6.2.1 Laskentatulokset

200 kVA varavoimakoneen tehon riittävyys kahdeksan jakelumuuntajan tehonlähteeksi täytyy varmentaa laskuin. Verkkotietojärjestelmällä laskettiin tehonjakolaskenta Pekkan jälkeen luoteeseen kulkevalla haaralla (Kuva 26). Laskentatulokset ovat kuvassa 27.

T U L O K S E T   K J - J O H T O - O S I L L E												
Alkusolmun tunnus	Loppusolmun tunnus	Johtolaji	Pit (m)	Etäis (m)	K U O R M I T U S				J Ä N N I T E			H U O M
					I (A)	K-aste (%)	Ph (kW/km)	Aika	U (kV)	Uh (%)	Aika	
VIIMEISIMMÄN LASKENNAN TULOKSET												
220	221	Sp40	1150	14584	4	2	0.0	2636	20.17	2.1	2636	1.8

KUVA 27. NIS:n laskentatulokset Kuorannasta

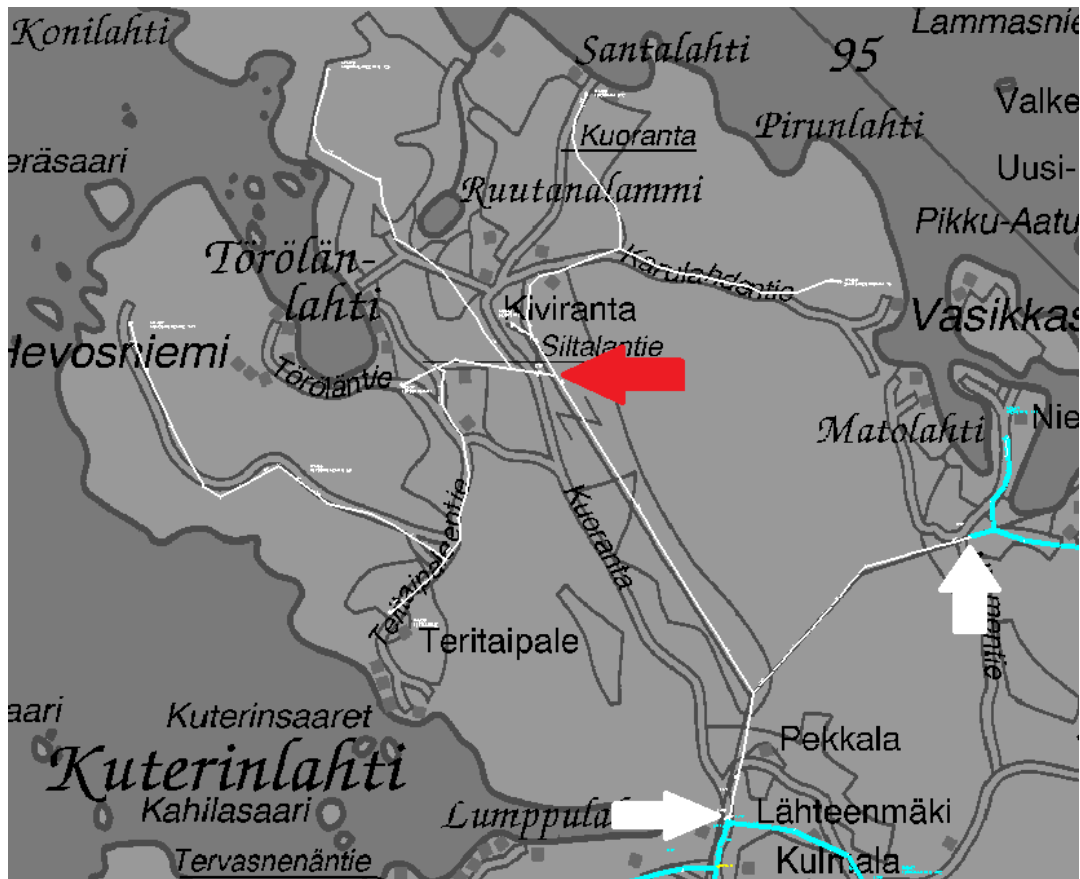
Trimble NIS:n tehonjakolaskenta ilmoittaa valitulla verkon osalla kulkevan kuormavirran arvioidun huippukuorman mukaan. Verkon kohdassa olevassa jännitteen arvossa on huomioitu jännitteenalenema. Laskenta antaa kuormavirralle 4 A arvon ja jännitteelle 20,17 kV. Sijoittamalla nämä kaavaan 8 voidaan laskea Kuorannan haaran vaatima huipputeho.

$$S = \sqrt{3} \cdot I \cdot U = \sqrt{3} \cdot 4 \text{ A} \cdot 20170 \text{ V} = 139,74 \text{ kVA} \quad (8)$$

Kuorannan keskijänniteverkko vaatii suurimmillaan 139,74 kVA tehon, jonka 200 kVA varavoimakone kykenee tuottamaan.

## 6.2.2 Mahdollinen kytkentäpaikka

Kuorannan sähköverkon erottaminen muusta verkosta ei onnistu yhdellä erottimella. Kuvassa 28 on NIS:llä otettu kuva Kuorannan keskijänniteverkosta, jota varavoimakoneella syötettäisiin. Lähteenmäellä sijaitseva erotin E223 ja Niementiellä oleva erotin E246 täytyy kummatkin avata, jotta saadaan Kuorannan niemen verkko erotettua. Erottimet ovat manuaalisesti ohjattavia ja niitä ei voida avata jännitteisenä (Aura & Tonteri 1996, 285).



KUVA 28. Kuorannan jännitteettömänä oleva sähköverkko

Varavoimakoneelle sopivan kytkentäpaikan löytäminen on haasteellista Kuorannassa. Kuorannan tie on kapea hiekkatie, jota pitkin kuitenkin voidaan 200 kVA konetta vielä kuljettaa. Sähkölinja kulkee vaikeassa maastossa ja vain muutamassa kohdassa päästään tietä pitkin tarpeeksi lähelle linjoja. Näissäkin kohdissa ei ole tien sivussa kovin sopivia paikkoja varavoimakoneelle. Lisäksi syöttömuuntaja ja kytkennän tekeminen vaativat tilaa. Ilmajohtoverkko on kuitenkin suurilta osin avojohtoista.

Mahdollinen kytkentäpaikka on Kuorannan tien ja Vasikkalahdentien risteyksessä. Se on merkitty punaisella nuolella kuvaan 28. Siinä kohdassa sähkölinja kulkee risteuksen

ylitse. Risteyksen ympäristössä on tasaista peltojen ympäröivää maata. Ilmajohdo on avojohtoista Sparrow-johdinta ja verkon rakenteen puolesta kone voidaan siihen kiinnittää. Kuitenkin runsas lumisena talvena voi olla hankala saada asetettua konetta kytkentää varten. Kuvassa 29 on Kuorannan ja Vasikkalahdentien risteys, jonka taustalla on pylvä, jota voidaan käyttää kaapeleiden nostamiseen.



KUVA 29. Kuorannan verkon mahdollinen kytkentäpaikka

## 7 MUIDEN VERKKOYHTIÖIDEN KÄYTTÖKOKEMUKSET VARAVOIMAKONEISTA

Varavoimakoneiden käyttö keskijänniteverkossa on ajankohtainen aihe monella sähköverkkoyhtiöllä ja opinnäytetyön aloittamisen aikana heräsi kysymys siitä, kuinka muut verkkoyhtiöt käyttävät varavoimakoneita. Tähän päätettiin hakea vastauksia kyselyllä. Kyselyllä pyrittiin selvittämään varavoimakoneiden käytön yleisyyttä keskijänniteverkossa, verkon kohtia, joissa koneita käytetään sekä teknistä toteutusta. Lisäksi selvitettiin tapoja, joilla verkkoyhtiöt pyrkivät parantamaan sähkön toimitusvarmuutta.

### 7.1 Kysely

Kyselyssä lähestyttiin KV11-sähköverkkoyhtiöitä, Elenia Oy:ta ja Oulun Seudun Sähköä. KV11-yhtiöillä tarkoitetaan kaupunkiolosuhteissa toimivia sähköverkonhaltijoita, johon kuuluu 11 sähköverkkoyhtiötä. Tampereen Sähköverkko on yksi yhdestätoista yhtiöstä. Kaupunkiverkkoyhtiöille on tyypillistä korkea maakaapelointiaste, jonka seurauksena verkko on rakenteeltaan erilainen kuin maaseutuyhtiöissä. Elenia on suuri ja TSV:n naapuri verkkoyhtiö. Oulun Seudun Sähköstä saatiin vihje kyselyn toteuttamisen aikana, jonka mukaan Oulun Seudun Sähkössä olisi tutkittu varavoimakoneiden käyttämistä ja näin ollen heidät valittiin mukaan kyselyn kohteiksi.

Kyselyn toteuttaminen aloitettiin hankkimalla sähköverkkoyhtiöiden käyttöpäälliköiden yhteystiedot. Kysely päätettiin lähettää käyttöpäälliköille, koska heidän katsottiin olevan kykeneväisiä vastaamaan verkon käytöstä tai välittämään kysely parhaaksi katsomalleen henkilölle. Jokaisen yhtiön käyttöpäällikköä lähestyttiin aluksi sähköpostilla, jossa kysyttiin halukkuutta osallistua nettilomakkeella tehtävään kyselyyn varavoimakoneiden käytöstä. Kaikille myönteisesti vastanneille lähetettiin tämän jälkeen uusi sähköpostiviesti, jossa oli linkki kyselyyn.

Kysely tehtiin Googlen tarjoamalla nettilomakkeella, jonka tekemiseen tarvittiin ilmainen Google-tili. Tilin luomisen jälkeen, pystyttiin Googlen Drive palvelimelle luomaan kysely. Valittavina oli monia eri kysymysmuotoja ja kysymysten sekä kyselyn rakenteen muokkaaminen oli tehty helpoksi. Vastaaminen kyselyyn onnistui myös vähällä vaivalla. Kyselyyn pääsi suoraan sähköpostitse lähetetystä linkistä. Vastattuaan viimeiseen kysymykseen, käyttäjän tarvitsi vain painaa Lataa- painiketta, jolloin kyselyn vastaus tallentui

automaattisesti Googlen Drive-palvelimelle. Tämän jälkeen vastaaja saattoi sulkea sivuston tai vielä muokata vastaustaan.

## 7.2 Kyselyn sisältö

Kyselyn luominen oli teknisesti yksinkertaista mutta kyselyn sisällön määrittäminen haasteellista. Vaarana oli liian vaikeaselkoisten tai helposti väärin ymmärrettävien kysymysten tekeminen, jotka veisivät kyselyltä hyödyn. Lisäksi kyselystä piti luoda sopiva, sekä varavoimakoneita käyttävälle, että ei-käyttävälle yhtiölle. Kysely pituuden tuli myös olla hallittava ja lyhyt. Lopputuloksena kysymyksiä karsittiin, jottei kyselystä tulisi liian pitkää. Lopullinen kysely koostui 15:sta kysymyksestä, jotka oli jaettu viiteen osioon. Monivalintakysymyksiä oli 9. Avoimet kysymykset olivat suunniteltu niin, että niihin pystyi vastaamaan lyhyesti. Kyselyn arvioitu vastaamisaika oli 7-13 minuuttia. Kysely on kokonaisuudessaan Liitteessä 1.

Kysely koostui viidestä eri osiosta, jotka näkyivät vastaajalle yksi kerrallaan. Ensimmäisessä osiossa oli 5 kysymystä ja sillä selvitettiin onko yrityksellä siirreltäviä varavoimakoneita, käyttäkö se niitä keskijänniteverkossa, onko aihetta tutkittu yhtiössä ja onko tulevaisuudessa tarkoituksena käyttää varavoimakoneita keskijänniteverkossa. Toinen osio rakentui kolmesta kysymyksestä, joilla kysyttiin varavoimakoneiden lukumäärää sekä nimellistehoja ja varavoimakoneiden kiinteän kokonaisuuden rakentamista keskijänniteverkkoon sopivaksi. Kolmas osio käsitteli koneiden sähköverkon käyttöpaikkoja ja siinä oli neljä kysymystä. Neljännessä osiossa kysyttiin kahdella monivalintakysymyksellä oikosulku- ja maasulkusuojauksen toteuttamisen teknisiä ratkaisuja. Viimeisessä osiossa yhdellä kysymyksellä tarkasteltiin toimia, joilla yhtiö pyrkii parantamaan sähkönjakelun toimitusvarmuutta. (Liite 1.)

## 7.3 Kyselyn tulokset

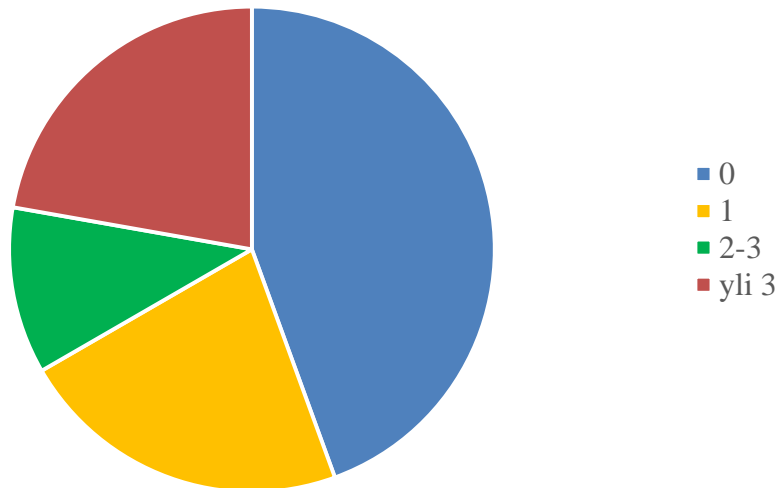
Kyselyä varten lähestyttiin 12 verkkoyhtiötä, joista 10 ilmaisivat halukkuutensa vastata kyselyyn. Kahdelta yhtiöltä ei saatu lainkaan vastausta. Kysely lähetettiin 10 sähköverkkoyhtiölle ja lopulta 9 heistä täytti sekä palautti kyselylomakkeen. Kyselyn vastausprosentti oli siis 75 %, joka on todella korkea. Hyvään vastausprosenttiin vaikuttivat ajankohtainen ja mielenkiintoinen aihe. Usealta vastaajalta tuli palautetta, että he olisivat kiinnostuneita

kuulemaan työn tuloksista sen valmistuttua. Kyselyyn oli myös helppo vastata ja se ei vienyt kovin paljoa aikaa, jotka varmasti vaikuttivat positiivisesti vastaushalukkuuteen.

Kyselyn ensimmäisessä osiossa selvitettiin vastanneiden sähköverkkoyhtiöiden varavoimakoneiden nykyistä ja tulevaisuuden aiottua käyttämistä keskijänniteverkossa sekä aiheen tutkimista. 8 verkkoyhtiöllä on käytössään siirrettäviä varavoimakoneita. Yhdellä yhtiöllä ei ole omia koneita mutta heillä on sopimus naapuriverkkoyhtiön kanssa koneiden lainaamisesta, mikäli ne ovat vapaina. Keskijänniteverkossa siirrettäviä varavoimakoneita käyttää ainoastaan 2 yhtiötä ja 5 yhtiöllä ei ole valmiuksia käyttää koneita kj-verkossa. Yhdessä yhtiössä on aikaisemmin käytetty varavoimakoneita keskijänniteverkon syöttämisessä mutta tällä hetkellä laitteistot ovat heillä käyttökiellossa, jonka syytä ei mainittu. Eräässä yhtiössä on toteutettu muutamia käyttökertoja pienillä kuormituksilla. Nämä kaksi kysymystä olivat kyselyn ainoat, joihin oli pakko vastata. Muiden kysymysten kohdalla vastaaja saattoi jättää kysymykseen vastaamatta jos ei osannut vastata, ei halunnut vastata tai kysymys ei ollut heille mielekäs. Esimerkiksi jos yhtiössä ei ole käytössä varavoimakoneita, niin niiden käyttämistä tarkentavat kysymykset ovat turhia vastaajan kannalta. Tulosten arvioinnissa onkin kerrottu myös kuinka moni on vastannut käsiteltävään kysymykseen.

Sähköverkkoyhtiöistä 8 vastasi kohtaan, jossa kysyttiin, että tutkitaanko tai onko yhtiössä tutkittu varavoimakoneiden käyttämistä kj-verkossa. Kolmessa yhtiössä aiheetta ei ole tutkittu lainkaan ja yhdessä yhtiössä on aiheen selvitystyö sekä laitteen kokoonpano kehitteillä. Aiheesta on tehty alustavia selvityksiä yhden vastaajan sähköverkkoyhtiössä. Kolmessa yhtiössä on tutkittu varavoimakoneiden käyttämistä ja heistä yksi mainitsi myös koneiden käyttömahdollisuuden nykytilanteessa. Kysymykseen, jossa käsiteltiin siirrettävien varavoimakoneiden tulevaisuutta keskijänniteverkon käytössä, vastasi 8. Tulevaisuudessa 6 yhtiössä on tarkoituksena käyttää varavoimakoneita keskijänniteverkossa. Kaksi kielteisesti vastannutta ilmoittivat, ettei heillä aiota ottaa käyttöön koneita lähitulevaisuudessa, jolla tarkoitetaan noin 5 vuoden ajanjaksoa.

Toisen osion ensimmäiseen kysymykseen vastasivat kaikki 9 verkkoyhtiötä. Siinä kysyttiin kj-verkon syöttämiseen soveltuvien varavoimakoneiden lukumääriä. Vastauksista on koottu ympyrädiagrammi (Kuvaaja 1).



KUVAAJA 1. Keski-jänniteverkon syöttämiseen soveltuvien varavoimakoneiden lukumäärä

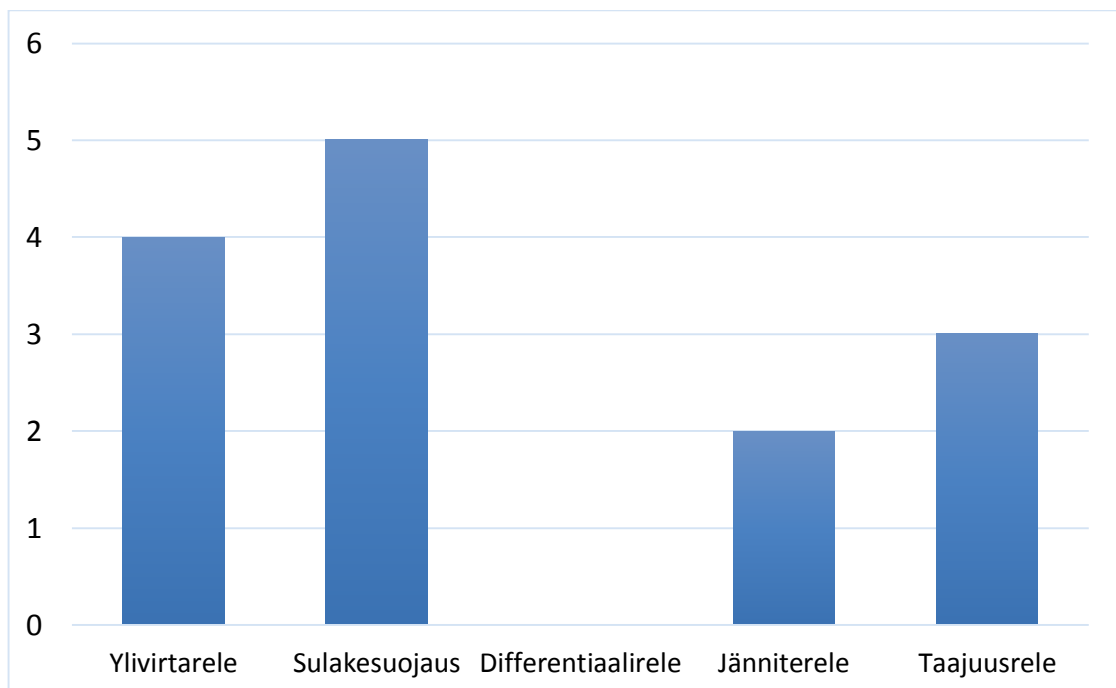
4 yhtiöllä ei ole ollenkaan varavoimakonetta, joka soveltuisi keski-jänniteverkon syöttämiseen. Kahdella yhtiöstä on 1 kone ja yhdellä yhtiöllä 2-3 konetta. Yli 3 konetta on kahdella verkkoyhtiöllä. Koneiden nimellistehot vaihtelivat 50 kVA aina 1100 kVA asti. Pienitehoisia koneita oli lukumääräisesti paljon enemmän kuin suuritehoisia. 7 yhtiötä antoi vastauksen avoimeen kysymykseen, jolla haluttiin selvittää, että onko keski-jänniteverkon käyttöä varten rakennettu yhtenäistä tai osissa olevaa kokonaisuutta laitteistoista. Näin ei ole toimittu neljässä verkkoyhtiössä. Puolestaan kaksi yhtiötä ilmoitti käyttävänsä erillistä syöttömuuntajaa. Yhdessä yhtiössä on suunnitteilla laitteisto, jossa muuntaja ja suojaus ovat integroitu yhteen ja laitteistoa pystytään syöttämään millä tahansa varavoimakoneella.

Kyselyn kolmas osio käsitteli sähköverkon käyttöpaikkoja. Yksikään yhtiö ei ole päättänyt mahdollisia varavoimakoneen käyttöpaikkoja kj-verkossa etukäteen ja tähän kysymykseen vastasi 8 yhtiötä. Maan- ja tienomistajien kanssa ei myöskään ole yhdelläkään 8 vastanneesta yhtiöstä sopimusta koneiden pysäköinnistä tai koneiden käyttöpaikkojen rakentamisesta. Samoilla linjoilla jatkettiin kolmannessa kysymyksessä, jonka 8 vastauksen mukaan yksikään sähköverkkoyhtiö ei ole rakentanut mahdollisia kytkentäpaikkoja valmiiksi. Koneiden kuljettamista käsittelevään kolmannen osion viimeiseen kysymykseen vastasi 7 yhtiötä. Varavoimakoneet ovat usein malliltaan perävaunuja ja niitä kuljetaan autolla tai kuorma-autolla riippuen koneen koosta. Muuntajat toimitetaan kytkentäpaikalle auton lavalla. Yhdessä yhtiössä on varavoimakone rakennettu kiinteästi



kuorma-auton lavalle ja käytettävä muuntamo on siirrettäväksi muokattu puistomuuntamo. Sitä on paranneltu niin, että muuntamo voidaan nostaa ja kuljettaa muuntajan ollessa sisällä.

Neljäs osio käsitteli sähköistä suojausta. Maasulkusuojauksen toteuttamiseen vastasi 5 yhtiötä. Niistä neljä kertoi suojauksen toteutettavan nollajännitteen mittaukseen perustavalla suojaustavalla. Yhden yhtiön mukaan maasulkusuojausta ei voida toteuttaa varavoi- makoneen keskijänniteverkon saarekekäytön aikana. Oikosulkusuojaukseen vastasi 6 yhtiötä. Vastauksien perusteella koottiin kuvaaja 2.

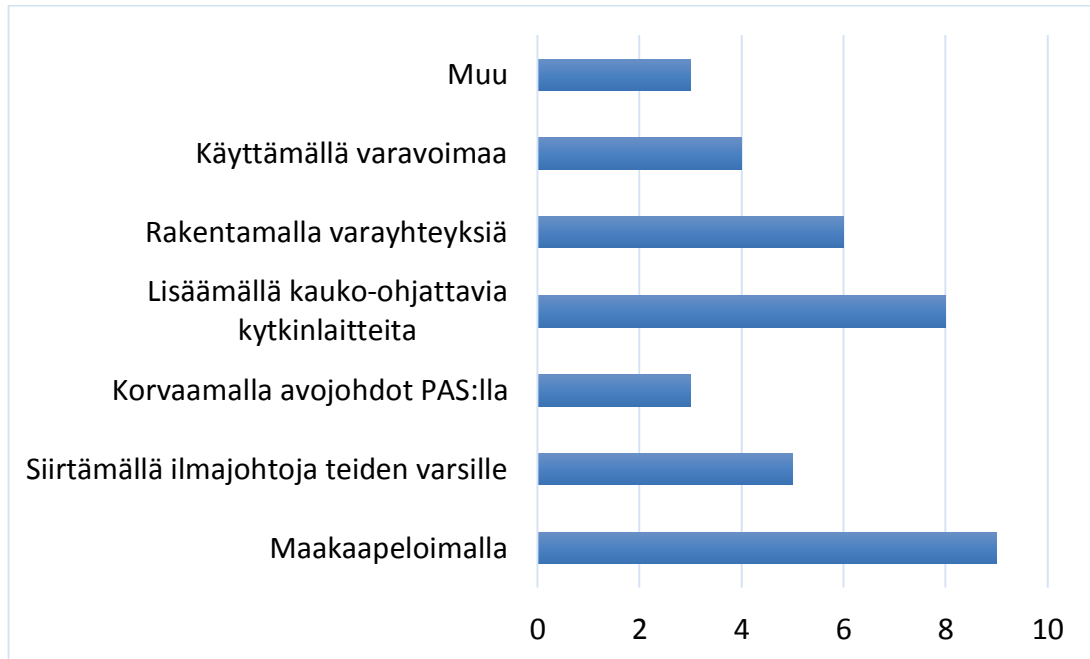


KUVAAJA 2. Vastaukset oikosulkusuojausten toteuttamiseen

Oikosulkusuojausten toteuttaminen on mahdollista vastauksien perusteella perinteisellä sulakesuojauksella ja ylivirtareleellä. Osassa tapauksissa oikosulkusuojaukseen voidaan myös käyttää taajuusreleitä ja jännitereleitä. (Kuvaaja 2).

Kyselyn viimeinen osio koostui yhdestä kysymyksestä, jossa selvitettiin yhtiöiden toimia toimitusvarmuuden parantamiseksi. Näistä vastauksista koottiin kuvaaja 3. Kysymykseen vastasivat kaikki verkkoyhtiöt. Toimitusvarmuutta voidaan parantaa usealla eri tavalla, joten jokaiseen vastauskohtaan pystyi vastaamaan. Vastausvaihtoehdoista eniten valittuja olivat maakaapeloiminen ja kauko-ohjattavien kytkinlaitteiden lisääminen. Muu- kohta sai kolme vastausta. Sieltä nousi esiin vierimetsänhoito, suojausvyöhykkeiden lisääminen

ja vuoteen 2028 asti tehty verkkosuunnitelma sähköverkkoon tehtävistä maakaapeloinneista ja muista saneerauksista.



KUVAAJA 3. Sähköverkkoyhtiöiden toimet toimitusvarmuuden parantamiseksi.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Varavoimakoneiden käyttöönottamisella keskijänniteverkossa pystytään parantamaan sähkön toimitusvarmuutta ja se tukee säteittäisen verkon käyttöä. Nämä asiat voidaan ottaa huomioon sähköverkkoyhtiön verkkostrategiassa. Toimivalla laitteistolla voidaan turvata ehjänä olevan kj-verkkohaaran sähkönkäyttöpaikkojen sähköntoimitus sähkökatkoksen aikana. Työn yhtenä päätavoitteena oli määrittää varavoimakoneen kytkentä keskijänniteverkkoon ja siinä tarvittavat koneet sekä välineet. Työssä saatiin selvitettyä, että varavoimakone voidaan kytkeä syöttömuuntajan kautta kj-verkkoon. Kytkentä on mahdollista rakentaa kj-ilmajohdoverkon viereen ja käyttää pylväsrakenteita hyväksi kaapeleiden liittämässä.

Kytkenän suurin haaste on sähköisen suojausten toteuttaminen. Kytkenän ja suojausten toimivuuden kannalta parhain ratkaisu on jatkokehittää käytettäviä laitteistoja. Siirrettävä varavoimakone ja syöttömuuntaja voidaan rakentaa yhdeksi kokonaisuudeksi, jolloin sen käyttäminen keskijänniteverkossa on nopeaa, turvallista ja tehokasta. Toinen hyvä vaihtoehto on rakentaa helposti siirrettävä muuntamo, joka voidaan kuljettaa varavoimakoneen käyttöpaikalle. Tämä työ antaa pohjatietoa edellä mainittujen laitteistojen kehittämiseksi.

Varavoimakoneen Trimble NIS mallituksen tarkoituksena oli luoda valmis malli, jonka avulla voidaan laskea varavoimakoneen ja syöttömuuntajan liitännän vaikutukset sähköverkolle. Mallituksessa onnistuttiin sovelletusti ja ohjelma pystyy verkostolaskentaan mallin pohjalta. Tällä hetkellä malli ei ole kovin helppokäyttöinen, koska se koostuu monesta yksittäisestä osasta. Mallin siirtäminen vaatii tarkkaavaisuutta, jotta se ei hajoa. Lisäksi päämuuntajalle annettavat arvot täytyy laskea ja asettaa erikseen. Mallista pystytään kuitenkin luomaan NIS-järjestelmään oma valmis komponentti, joka helpottaa sen käyttämistä.

Tampereen Sähköverkko Oy:n verkosta etsittiin sopivia paikkoja varavoimakoneen liittämiseksi. Siinä havaittiin, että tutkittavista verkoista oli haastavaa löytää tarpeeksi suurta tilaa sähkölinjan vierestä, johon varavoimakone ja syöttömuuntaja voidaan asettaa. Jos varavoimakoneita halutaan käyttää tehokkaasti keskijänniteverkossa, on hyvä suunnitella ja osittain rakentaa kytkentäpaikat valmiiksi. Kytkenäpaikaksi soveltuu erinomaisesti

tien laidassa oleva päällystetty alue, jonka välittömässä läheisyydessä on kytkentään so-piva keskijänniteverkko.

Kyselyn tarkoituksena oli selvittää muiden verkkoyhtiön käyttökokemuksia varavoima-koneen käytöstä keskijänniteverkossa. Kyselyn lopputulokseen täytyy olla tyytyväinen, sillä vastausprosentti oli korkea ja vastaukset laadukkaita. Tulokset antoivat arvokasta tietoa varavoimakoneiden käyttämisestä keskijänniteverkossa. Itse kysely olisi voinut lo-pulta olla laajempikin ja keskittyä vielä enemmän yksityiskohtiin, jolloin sen tarjoamat tiedot olisivat olleet kattavampia mutta siitä olisi tullut opinnäytetyön kannalta jo liian suuri osio. Lisäksi vastauksien määrä ja niiden laatu olisivat voineet heiketä, koska kyse-lyyn vastaaminen olisi vaatinut enemmän aikaa.

Opinnäytetyö oli aiheeltaan haasteellinen, ajankohtainen ja mielenkiintoinen. Työn teke-minen oli aikaa vievää ja vaati paljon perehtymistä aiheeseen, josta ei löytynyt valmiina juurikaan tietoa. Jälkikäteen mietittynä aihetta olisi voinut rajata tarkemmin, jolloin yk-sityiskohtiin olisi voinut vieläkin tarkemmin syventyä. Toisaalta työ antaa nykyisellään laajan katsauksen varavoimakoneen käytöstä keskijänniteverkossa. Aikataulussa joudut-tiin hieman joustamaan mutta työn tekeminen eteni silti kohtuullisella tahdilla. Jokaiseen tavoitteeseen pystyttiin vastaamaan ja aiheen tutkimista vietyä eteenpäin. Opinnäytetyö toimii hyvänä pohjana, kun varavoimakoneen käyttöä keskijänniteverkossa aletaan suun-nitella sähköverkkoyhtiössä.

## LÄHTEET

ABB. 2000. 7. Oikosulkusuojaus. ABB:n TTT-käsikirja 2000-07.

ABB. 2002. SPAF 140 C Taajuusrele. Käyttöohje ja tekninen selostus. Versio B.

ABB. 2007. 8. Maasulkusuojaus. ABB:n TTT-käsikirja 2007-07.

ABB. 2010. Liquid filled transformers. IEC standard small and medium rated power <2500 kVA, HV  $\leq$ 36 kV. Datalehti.

Aura, L. & Tonteri, A. 1993. Sähkölaitostekniikka. 1. painos. Helsinki. WSOY.

Aura, L. & Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektronikan perusteet. 1. painos. Helsinki. WSOY.

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot 1. Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta. 1. painos. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.

Energiavirasto. 3.2.2016. Energiaviraston selvitys sähkön siirtohintojen muutoksista ja siirtohinnoittelun kohtuullisuuden valvonnasta. Selvitys 298/403/2016.

Hallitus. 2013. Hallituksen esitys eduskunnalle sähkö- ja maakaasumarkkinoita koskevaksi lainsäädännöksi. Hallituksen esitys 20/2013 vp. Helsinki.

Hakala, P., Hakanen, P., Kortelainen, T., Kousa, P., Laaksonen, M., Nurmi, M. & Piippo, E. 2013. Varavoimalaitokset. ST-käsikirja 31. 3. painos. Espoo: Sähköinfo ry.

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. 1. painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Kantonen, J. 2014. Tutkimus varavoimakoneen käytöstä sähköverkon tukemisessa. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Korpelan Voima. Sähkönjakelunhäiriöt ja käyttökeskus. www-sivu. Luettu 24.8.2016. <http://www.korpelanvoima.fi/Page.aspx?pid=463>

Korpinen a, L. 10 Sähkökoneet, osa 2. PDF-tiedosto. Luettu 6.4.2016. [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/10sahkokoneet\\_2osa.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_2osa.pdf)

Korpinen b, L. 9 Muuntajat ja sähkölaitteet. PDF-tiedosto. Luettu 5.6.2016. [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/9muuntajat\\_ja\\_sahkolaitteet.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf)

Koskinen, J-M. 2013. Pankakosken 0,4 kV vaihtosähköverkon ja 110 V tasasähköverkon mallintaminen, laskeminen ja dokumentointi. Sähkövoimatekniikan koulutusohjelma. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. 1. painos. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.

Leroy Somer. 2007. Alternators LAS 46.2 – 4 Pole. Electrical and mechanical data. Datalehti.

Motiva. 2013. Dieselmoottorin energiatehokkuuden parantaminen. Artikkel. www-sivu. Päivitetty 19.12.2013. Luettu 11.4.2016. [http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/dieselmoottori/dieselmoottorin\\_energiatehokkuuden\\_parantaminen](http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/dieselmoottori/dieselmoottorin_energiatehokkuuden_parantaminen)

Motiva. 2014. Dieselmoottori. Artikkel. www-sivu. Päivitetty 22.8.2014. Luettu 11.4.2016. [http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/dieselmoottori](http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/dieselmoottori)

Nurmi, S. 2013. Sähkömarkkinalainsäädännön uudistamisen vaikutuksia sähköverkko-toimintaan. PowerPoint-esitys. Sähköverkkotoiminnan keskustelupäivä 18.11.2013. Helsinki. Luettu 4.4.2016. <https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Simo+Nurmi.pdf/ad9cda69-6353-406d-a36e-5d77de59bad2>

SFS. 2012. SFS-käsikirja 600-1. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. 1. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SFS 2015. SFS-käsikirja 600-2. Sähköasennukset. Osa 2: Sähköturvallisuus, erityisasennukset ja liittyvät standardit. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Stamford. 2010. HCI634H – Winding 311 and 312. Technical Data Sheet. Datalehti.

Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588.

Tampereen Sähkölaitos. Tampereen Sähkölaitos –yhtiöt. www-sivu. Luettu 30.3.2016. <https://www.tampereensahkolaitos.fi/yrittajaymparisto/Sivut/default.aspx#.VvkMKU-enGVo>

Tampereen Sähkölaitos. Historia. www-sivu. Luettu 30.3.2016. <https://www.tampereensahkolaitos.fi/yrittajaymparisto/toimintamme/historia/Sivut/default.aspx#.VvkO30enGVo>

Tampereen Sähkölaitos. Työnhaku. www-sivu. Luettu 30.3.2016. <https://www.tampereensahkolaitos.fi/yrittajaymparisto/tyonhaku/Sivut/default.aspx#.VvkPjUenGVo>

Tampereen Sähkölaitos. Sähkön siirto ja liittymät. www-sivu. Luettu 25.4.2016. <https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/Sivut/default.aspx#.VvkGZ-kenGVo>

Tekla. 20.12.2011. Tekla News rakennusalalle joulukuun 2011. Uutinen. Luettu 29.3.2016. <http://www.tekla.com/fi/tietoa-meist%C3%A4/ uutiset/tekla-news-rakennusalalle-joulukuun-2011>

Trimble. Trimble NIS sähköverkoille. www-sivu. Luettu 29.3.2016. <http://utilities.trimble.fi/trimble-nis-saumlhkoumlverkoille.html>

Voimalaitos Service Oya. Hinattava varavoimakone 814 kVA. Käyttöohje.

Voimalaitos Service Oyb. Varavoimakoneen käyttöohje. Version 1.0.

Väärämäki, M. 2004. Teho- ja mittamuuntajat. Fingrid. Fingrid Oyj lehti 02/2004, 18–19.

## LIITTEET

### Liite 1. Kyselylomakkeen kysymykset

1(3)

#### Osio 1. Kysely varavoimakoneiden käytöstä

##### 1. Vastaaaja ja yhtiö

##### 2. Onko yrityksellänne käytössä siirreltäviä varavoimakoneita?

- Kyllä
- Ei

##### 3. Tutkitaanko tai onko yrityksessänne tutkittu varavoimakoneiden käyttämistä KJ-verkossa?

##### 4. Käytetäänkö varavoimakoneita keskijänniteverkossa?

- Kyllä
- Ei

##### 5. Onko tulevaisuudessa tarkoituksena käyttää siirreltäviä varavoimakoneita KJ-verkossa?

#### Osio 2. Varavoimakoneiden tietoja

##### 6. Montako varavoimakonetta yhtiöllänne on, joita pystytään käyttämään keskijänniteverkossa?

- 0
- 1
- 2-3
- Yli 3
- Muu

##### 7. Kuinka suuria varavoimakoneet ovat nimellisteholtaan?



2(3)

8. Onko varavoimakoneista rakennettu kiinteitä kokonaisuuksia KJ-verkon käyttöä varten?

### Osio 3. Sähköverkon käyttöpaikat

9. Ovatko sähköverkon kohdat, joissa varavoimakoneita käytetään, päätetty etukäteen?

- Kyllä
- Käyttöpaikkoja suunnitellaan
- Ei
- Muu

10. Onko laitteistojen käytöstä sovittu etukäteen maan- ja tienomistajien kanssa?

- Kyllä
- Ei
- Muu

11. Ovatko mahdolliset kytkentäpaikat rakennettu valmiiksi?

- Kyllä
- Rakenteilla
- Suunnittelun alaisena
- Ei ole
- Muu

12. Miten varavoimakoneita kuljetetaan?

### Osio 4. Sähköinen suojaus

13. Miten maasulkusuojaus on toteutettu? (Voi valita useamman)

- Suuntareleellä
- Nollajännitereleellä
- Muu

14. Miten oikosulkusuojaus on toteutettu? (Voi valita useamman)

- Ylivirtareleellä
- Sulakesuojauksella
- Differentiaalireleellä
- Jännitereleellä
- Taajuusreleellä
- Muu

Osio 5. Verkkoyhtiön toimitusvarmuuden parantaminen

15. Millä muilla tavoilla yrityksenne pyrkii parantamaan sähkönjakelun toimitusvarmuutta? (Voi valita useamman)

- Maakaapeloimalla
- Siirtämällä ilmajohtoverkkoja teiden varsille
- Korvaamalla avojohdot päällystetyllä johdolla (esim. PAS)
- Lisäämällä kauko-ohjattavia kytkinlaitteita (esim. erottimia)
- Rakentamalla varayhteyksiä
- Käyttämällä varavoimaa ja aggregaatteja
- Muu

16. Terveiset opinnäytetyön tekijälle

Liite 2. Valmistajan tiedot 814 kVA varavoimakoneesta

## **HINATTAVA DIESELGENERAATTORI**

### **PÄÄARVOT**

Tyyppi		VL03-814C-KT
Teho	jatkuva:	814 kVA / 651 kW (ISO PRP)
	varavoima:	895 kVA / 716 kW
Jännite		400/230 V
Virta	jatkuva:	1175 A, cos phi 0,8
	max:	1292 A, cos phi 0,8
Taajuus		50 Hz
Kierrosluku		1500 rpm
Toim. No.		03.3076

### **MOOTTORI**

Valmistaja		Cummins
Tyyppi		QSK 23 G3
No.		00314491
Teho	jatkuva	966 kW
	varavoima	1062 kW
Pyörimisnopeus		1500 rpm
Jäähdytinkkenno		Bearward serial no M11857

### **GENERAATTORI:**

Valmistaja		Newage-Stamford
Tyyppi		HCI 634 H
No.		0212891/001
Teho	jatkuva	910 kVA
	varavoima	1001 kVA

### **ALUSTA**

Akselisto		GTB 14734TS/b=1450
Jousitus		Vääntöjouset
Jarrut		Paineilma
Vetosilmukka		50 mm, kiinteä
Renkaat		285/70 R19,5, 150 J
Vanteet		8.25- 19,5 OV. 6-P

### **MITAT**

Pituus		8270 mm
Leveys		2550 mm
Korkeus		2920 mm
Kokonaispaino		12850 kg (sis. 1000 l polttoaineen ja kaapelit)
Aisapaino		600...1000 kg
Polttoainetankki		1000 l

### **TILAAJA:**

Tampereen Verkkosähkö Oy VERA

### **VALMISTAJA / MYYJÄ / HUOLTO:**

VOIMALAITE SERVICE OY  
Nuutisarankatu 10  
33900 TAMPERE, FINLAND  
tel. + 358 3 265 5000  
fax + 358 3 265 5005  
E-mail: [vl@voimalaiteservice.com](mailto:vl@voimalaiteservice.com)

### **TOIMITUSVUOSI**

Maaliskuu 2007

## Liite 3. 814 kVA varavoimakoneen dieselmoottorin tiedot

## General Engine Data

Type	4 cycle, Turbocharged
Bore mm	170
Stroke mm	170
Displacement Litre	23.1
Cylinder Block	Cast iron, 6 cylinder
Battery Charging Alternator	35A
Starting Voltage	24V
Fuel System	Direct injection Cummins HPI
Fuel Filter	Spin on fuel filters with water separator
Lube Oil Filter Type(s)	Spin on full flow filter
Lube Oil Capacity (l)	103
Flywheel Dimensions	SAE 0

## Coolpac Performance Data

Cooling System Design	Air-air charge cooled	
Coolant Ratio	50% ethylene glycol; 50% water	
Coolant Capacity (l)	57	
Limiting Ambient Temp (°C)**	46.0 (50Hz)	50.5 (60Hz)
Fan Power (kWm)	17.3 (50Hz)	26.1 (60Hz)
Cooling System Air Flow (m <sup>3</sup> /s)**	14.7 (50Hz)	23.6 (60Hz)
Air Cleaner Type	Dry replaceable element with restriction indicator	

\*\* @ 13 mm H<sub>2</sub>O

## Weight &amp; Dimensions

Length	Width	Height	Weight (dry)
mm	mm	mm	kg
2895	1656	2029	3185

## Fuel Consumption 1500 (50 Hz)

%	kWm	BHP	L/ph	US gal/ph
<b>Standby Power</b>				
100	768	1030	178	46.9
<b>Prime Power</b>				
100	701	940	161	42.5
75	526	705	121	32.0
50	351	470	85	22.4
25	175	235	46	12.2
<b>Continuous Power</b>				
100	537	720	125	33.1

## Fuel Consumption 1800 (60 Hz)

%	kWm	BHP	L/ph	US gal/ph
<b>Standby Power</b>				
100	895	1200	212	56.1
<b>Prime Power</b>				
100	809	1085	189	49.8
75	607	814	139	36.7
50	405	543	97	25.7
25	202	271	56	14.7
<b>Continuous Power</b>				
100	653	875	149	39.4

## Cummins G-Drive Engines

**Asia Pacific**  
10 Toh Guan Road  
#07-01  
TT International Tradepark  
Singapore 608838  
Phone 65 6417 2388  
Fax 65 6417 2399

**Europe, CIS, Middle East and Africa**  
Manston Park Columbus Ave  
Manston Ramsgate  
Kent CT12 5BF, UK  
Phone 44 1843 255000  
Fax 44 1843 255902

**Latin America**  
Rua Jati, 310, Cumbica  
Guarulhos, SP 07180-900  
Brazil  
Phone 55 11 2186 4552  
Fax 55 11 2186 4729

**Mexico**  
Cummins S. de R.L. de C.V.  
Eje 122 No. 200 Zona Industrial  
San Luis Potosi, S.L.P. 78090  
Mexico  
Phone 52 444 870 6700  
Fax 52 444 870 6811

**North America**  
1400 73rd Avenue N.E.  
Minneapolis, MN 55432  
USA  
Phone 1 763 574 5000  
USA Toll-free 1 877 769 7669  
Fax 1 763 574 5298

Our energy working for you.™

[www.cumminsgdrive.com](http://www.cumminsgdrive.com)

©2009 | Cummins G-Drive Engines | Specifications Subject to Change Without Notice | Cummins is a registered trademark of Cummins Inc. (04/09) (GDSS133)



## Ratings Definitions

**Emergency Standby Power (ESP):**

Applicable for supplying power to varying electrical load for the duration of power interruption of a reliable utility source. Emergency Standby Power (ESP) is in accordance with ISO 8528. Fuel Stop power in accordance with ISO 3046, AS 2789, DIN 6271 and BS 5514.

**Limited-Time Running Power (LTP):**

Applicable for supplying power to a constant electrical load for limited hours. Limited-Time Running Power (LTP) is in accordance with ISO 8528.

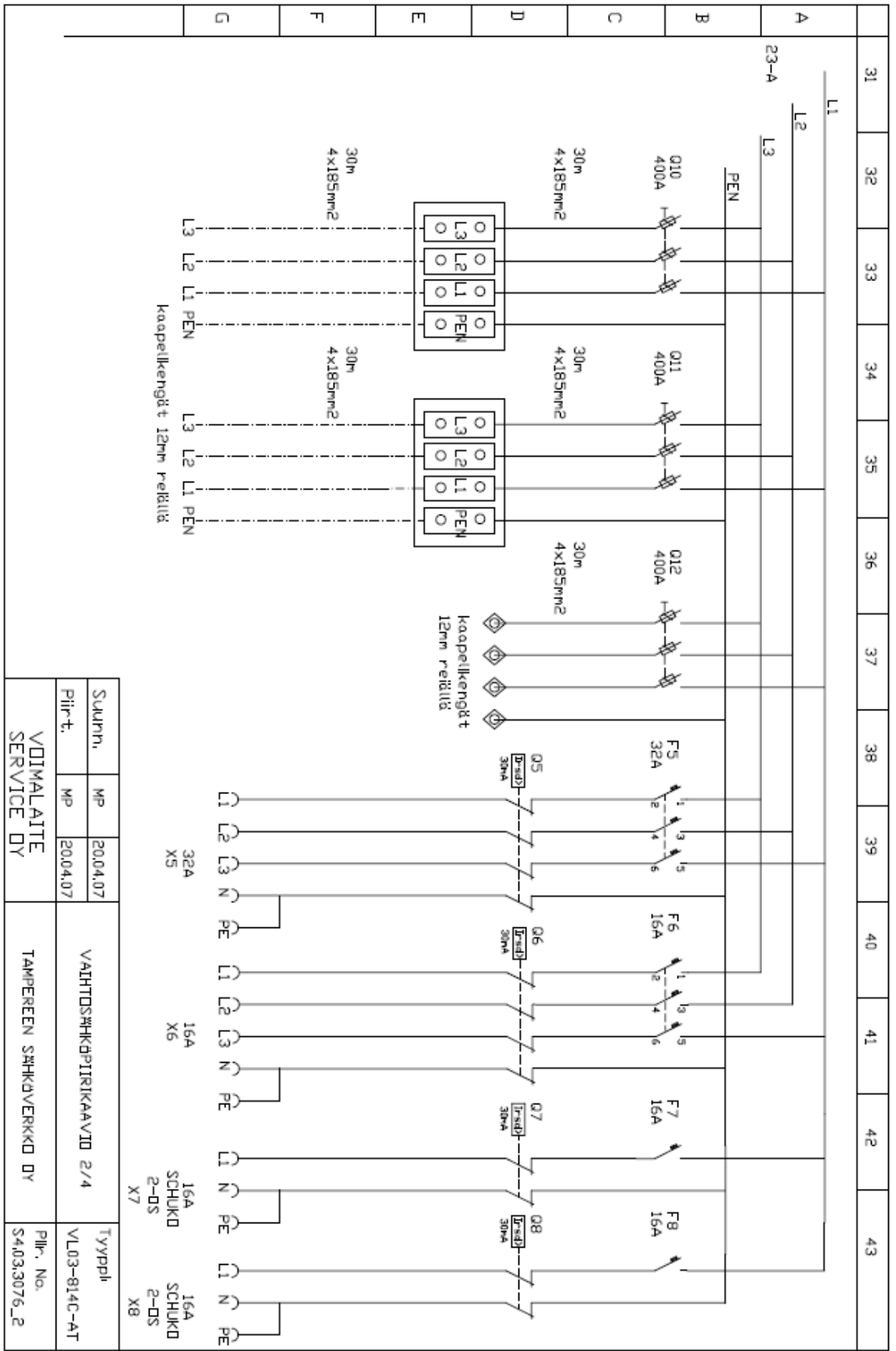
**Prime Power (PRP):**

Applicable for supplying power to varying electrical load for unlimited hours. Prime Power (PRP) is in accordance with ISO 8528. Ten percent overload capability is available in accordance with ISO 3046, AS 2789, DIN 6271 and BS 5514.

**Base Load (Continuous) Power (COP):**

Applicable for supplying power continuously to a constant electrical load for unlimited hours. Continuous Power (COP) in accordance with ISO 8528, ISO 3046, AS 2789, DIN6271 and BS 5514.

Liite 4. 814 kVA varavoimakoneen vaihtosähköpiirikaavio



## Liite 5. 814 kVA varavoimakoneen piirikaavion positioiden tarkennukset

POS	MÄÄRÄ	VALMISTAJA/ EDUSTAJA	NIMIKE
A1	1	ComAp	Intelligen -ohjausyksikkö
A4	1	Siemens	GSM-modeemi TC35 + antenni
A5	1	Powernet	Akkuvaraaja, ADC5483-1, 230/115VAC/27, 4V 10A DI
A6	1	MX-Electrix	EDFSRML 455 Energiamittari
A7	1		Kaapelikelojen invertteri, VS Mini J7 200V Single Phase 1,5kW
i-GAVRI	1	ComAp	Jännitteensäätimen muunnin
AVRI TRANS	1	ComAp	Jännitteensäätimen muunnin erotusmuuntaja, 230VAC/18VDC
Q1	1	Merlin Gerin	Gener. oikosulku- ja ylivirtasuojia, Compact NS1600, 1600A, 3-nap, kiinteä, MICROLOC 2.0 suojarole, MCH moottorihojain, MN, MX, XF + 3 NO apukosketin, hälyt. kosk. SD NC sisältyy Q1 katkaisijaan
F1	1		
F2	1	Merlin Gerin	Oikosulkuylivirtasuojia, C32, 32A, 3-nap
F4	1	Merlin Gerin	Johdonsuojakatkaisija, C10, 10A, 4-nap
F9 - F12	4	Merlin Gerin	Johdonsuojakatkaisija, C10, 10A, 1-nap
F13	1	Merlin Gerin	Johdonsuojakatkaisija, C10, 10A, 3-nap
F14	1	Merlin Gerin	Johdonsuojakatkaisija, C16, 16A, 3-nap
F20, F22	1	Merlin Gerin	Oikosulkuylivirtasuojia, C10, 10A, 1-nap
F21	1	Merlin Gerin	Oikosulkuylivirtasuojia, C32, 32A, 1-nap
F23	1	Merlin Gerin	Oikosulkuylivirtasuojia, C6, 6A, 1-nap
F24, F26	1	Merlin Gerin	Oikosulkuylivirtasuojia, C16, 16A, 1-nap
F25	1	Merlin Gerin	Oikosulkuylivirtasuojia, C10, 10A, 1-nap
F27, F30, F31	2	Merlin Gerin	Oikosulkuylivirtasuojia, C6, 6A, 1-nap
F28	1	Merlin Gerin	Oikosulkuylivirtasuojia, C10, 10A, 1-nap
F29	1	Merlin Gerin	Oikosulkuylivirtasuojia, C25, 25A, 1-nap
F40	1		Eber ohjaussulake, 15A
F41	1		Eber ohjaussulake, 1A
F50-F51	2	Merlin Gerin	Johdonsuojakatkaisija, C10, 10A, 4-nap
Typpi:		Suunn. MP	KOJEISTOJEN OSALUETTELO
VL03-814C-AT		pvm. 20.04.07	LEHTI 1/3
Piir. No.		VOIMALAITTE SERVICE OY	Tampereen Sähköverkko Oy
S4.03.3076 17			

## Liite 6. Valmistajan tiedot 200 kVA varavoimakoneesta

**DIESELGENERAATTORI****PÄÄARVOT**

Tyyppi:		VL03-200JD-KT
Teho	jatkuva:	200 kVA / 160 kW
	varavoima:	220 kVA / 176 kW
Jännite:		400/230 V
Virta	jatkuva:	289 A
	varavoima:	317 A
Taajuus:		50 Hz
Kierrosluku:		1500 rpm

**PÄÄKOMPONENTIT**

Moottori:	John Deere 6068HFU74
No.	CD6068G144052
Generaattori:	Leroy Somer LSA46.2M5C6/4
No.	253393/8
AVR	448/450

**OHJAUSYKSIKKÖ**

Intelligen NT

**ALUSTA**

Akselisto	BPW CB 1805, 5x112, S 2540-7 46.32.368408
Jousitus	Jarrullinen vääntövarsijousitus kumisin joustoelementein
Aisa ja työntöjarru	ZAV 3,5-1, 47.51.470.042
Vanteet	6J 16 H2, ET 30, 5x112, 1660
Renkaat	M+S 195/75, R16, C8, 1790700
Rengaspaine	450kPA (4,5 bar)

**MITAT**

Pituus	6016 mm
Leveys	2099 mm
Korkeus	1715mm
Kokonaispaino	3000 kg
Akselimassa	1- 1500 kg, 2- 1500 kg
Polttoainetankin tilavuus	300 litraa

**VALMISTAJA / MYYJÄ**

VOIMALAITE SERVICE OY  
Nuutisarankatu 10  
33900 Tampere  
FINLAND  
tel. + 358 3 265 5000  
fax + 358 3 265 5005  
E-mail: [vls@voimalaiteservice.com](mailto:vls@voimalaiteservice.com)  
[www.voimalaiteservice.com](http://www.voimalaiteservice.com)

**VALMISTENUMERO (VIN-KOODI)**

YK9033254C0010001

**TILAAJA**

Tampereen sähkölaitos

**KOHDE**

Tampereen sähkölaitos

**TOIM. NO.**

03.3254

**TOIMITUSAIKA**

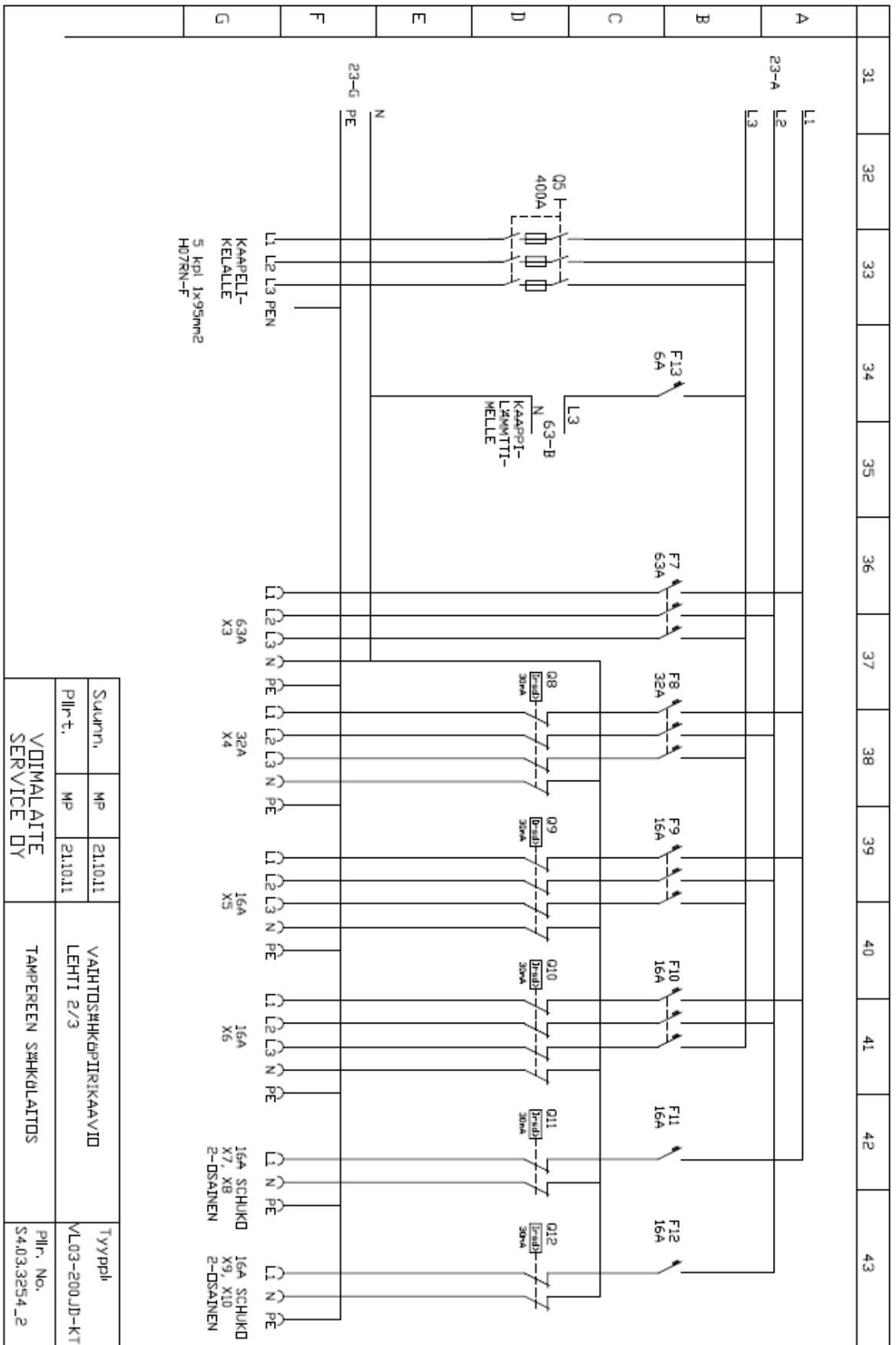
2 / 2012

## Liite 7. 200 kVA varavoimakoneen dieselmoottorin tiedot

6068HFU74-200 JOHN DEERE Engine Specifications	
General Data	
Brand	JOHN DEERE
No. Cylinders	6
Cubic capacity	6,8 l
Air intake	Turbocharged
Cooling	Water
Flywheel net power	177,6 kW
Fuel Cons. at 100% (L.T.P.)	44,5 l/h
Fuel Cons. at 100% (P.R.P.)	40,1 l/h
Fuel Cons. at 75% (P.R.P.)	30,1 l/h
Fuel Cons. at 50% (P.R.P.)	20,4 l/h
Fuel Cons. at 25% (P.R.P.)	10,9 l/h
Cont. power (P.R.P.)	206 kVA
Standby power (L.T.P.)	229 kVA
BMEP	
Speed (RPM)	1500 rpm
Sae	3-11½
TA Luft	Not available
TA Luft/2	Not available
EPA	Not available
Stage	STAGE II
Electronic Reg	Standard
Precision Class	N/A
Weight	587 kg
Oil q.ty	26 l
Antifreeze q.ty	11,3 l
Antifreeze Radiator q.ty	28,7 l
Antifreeze Total	40 l
Heat to radiator	4895 kW
Heat to exhaust	N/A
Heat to radiation	N/A
Exhaust temperature	577 °C
Cooling air flow	N/A
Combustion air flow	10,9 m³/min
Exhaust gas flow	28,3 m³/min



Liite 8. 200 kVA varavoimakoneen vaihtosähköpiirikaavio



## Liite 9. 200 kVA varavoimakoneen piirikaavion positioiden tarkennukset

POS	MAARA kpl	VALMISTAJA/ EDUSTAJA	NIMIKE
A1	1	ComAp	Intelligen NT LT ohjausyksikkö
A3	1	Powermet	Akkuvaraaja, ADC5083-4.2, 230VAC/13,7VDC, 10A
A7	1		GSM-modeemi
IG-AVRI	1	ComAp	Jänniteensäädin
AVRI-TRANS	1	ComAp	Muuntaja 230/18VAC
Q1	1	Merlin Gerin	Generaattorin oikosulku- ja ylivirtasuojia, NSX400F 3P
			Suojarele Micrologic 2.3 400A 3P3D, vaihtokoskein 1xSD, 2xOF, SDE
			Moottorilojain 220VAC MT400, alijännitekela MN 220VAC
F2	1	Merlin Gerin	Johdonsuojakatkaisija, C10, 10A, 3-nap
F3	1	Merlin Gerin	Johdonsuojakatkaisija, C10, 10A, 3-nap
F4	1	Merlin Gerin	Johdonsuojakatkaisija, C4, 4A, 3-nap
Q5	1	ABB	Kytinvaroke, 3-nap, OS400D03P
F7	1	Merlin Gerin	Oikosulku- ja ylivirtasuojia, C63, 63A, 3-nap
F8	1	Merlin Gerin	Oikosulku- ja ylivirtasuojia, C32, 32A, 3-nap
O8	1	Merlin Gerin	Vikavirtasuojia 30mA, 4-nap
F9	1	Merlin Gerin	Oikosulku- ja ylivirtasuojia, C16, 16A, 3-nap
O9	1	Merlin Gerin	Vikavirtasuojia 30mA, 4-nap
F10	1	Merlin Gerin	Oikosulku- ja ylivirtasuojia, C16, 16A, 3-nap
Q10	1	Merlin Gerin	Vikavirtasuojia 30mA, 4-nap
F11	1	Merlin Gerin	Oikosulku- ja ylivirtasuojia, C16, 16A, 1-nap
Q11	1	Merlin Gerin	Vikavirtasuojia 30mA, 2-nap
F12	1	Merlin Gerin	Oikosulku- ja ylivirtasuojia, C16, 16A, 1-nap
Q12	1	Merlin Gerin	Vikavirtasuojia 30mA, 2-nap
F13	1	Merlin Gerin	Oikosulku- ja ylivirtasuojia, C6, 6A, 1-nap
F20	1	Merlin Gerin	Tasasähköpiirin johdonsuojakatkaisija, C32, 32A 1-nap.
F21	1	Merlin Gerin	Johdonsuojakatkaisija, C10, 10A, 1-nap
F22	1	Merlin Gerin	Johdonsuojakatkaisija, C16, 16A, 1-nap
F23 - F25	3	Merlin Gerin	Jänniterele DPB51CM44, 400 VAC
K2	1	Carlo Gavazzi	Apurele G2R-2-SND, 12VDC + kanta P2FR-08
K2.2	1	Merlin Gerin	Apurele G2R-2-SN, 230 VAC + kanta P2FR-08
K3 - K5	3	OMRON	Kojeistolämmitin apurele, 2-nap, 10A, C3-A30 230VAC + S3-B
K6	1	Relco	Apurele, G2R-2-SND, 12VDC + kanta P2FR-08
K20 - K26	7	OMRON	Jäähdytysnesteen pintäytkimen rele MOL-015
K27	1	ELCOS	Akun kurto heikko -rele 12VDC (DC-vaikontarele) DUA52-C724
K28	1	Carlo Gavazzi	LEHTI 1/2
Typpi:		MP 21.10.11	OHJAUS- JA KYTKENTÄKOJEISTON OSALUETTELO
VL03-200JD-KT			
Piir. No.		VOIMALAITTE SERVICE OY	TAMPEREEN SÄHKÖLAITOS
S4.03.3254 11			

## Liite 10. Trimble NIS mallinnuksen osat

<b>NIS komponentit</b>		
<b>Komponentti</b>	<b>NIS nimi</b>	<b>NIS numero</b>
Sähköasema	SÄHKÖASEMA	10
Päämuuntaja	SÄHKÖASEMAN PÄÄMUUNTAJA	122
Kisko (lähtö)	SA-KISKO-OSA-LAHTO	2992
Kisko	SA-KISKO-OSA	2990
Erotin	KI-EROTIN SÄHKÖASEMALLA	838
Mittauspiste	MITTAUSPISTE SÄHKÖASEMA	5201
Juuripiste	SJ-JUURIPISTE	126
KJ-sisäpäätte	KJ-SISÄPÄÄTE SÄHKÖASEMA	149