

Sami Kivimäki

# Voimalaitoksen dieselvaravoimakoneen käyttövarmuuden parantaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

23.11.2015

Tekijä(t) Otsikko	Sami Kivimäki Voimalaitoksen dieselvaravoimakoneen käyttövarmuuden parantaminen
Sivumäärä Aika	50 sivua + 2 liitettä 23.11.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Eero Kupila Projektipäällikkö Karoliina Muukkonen
<p>Insinööriyön aiheena on Salmisaaren voimalaitoksen dieselvaravoimakkoneiden käyttövarmuuden parantaminen. Salmisaaren voimalaitos on Helen Oy:n omistama voimalaitos, joka tuottaa sähköä ja kaukolämpöä.</p> <p>Insinööriyössä tutkittiin, mihin varavoimajärjestelmää tarvitaan ja millainen se on rakenteeltaan. Varavoimajärjestelmä hyvin usein sisältää dieselgeneraattorin, jonka avulla varmennetaan tärkeimpien sähkölaitteiden ja laitteistojen sähkönsyöttö, pidempi aikaisten jännitehäiriöiden aikana.</p> <p>Varavoimakone on oltava toiminnaltaan luotettava ja käyttövarma. Varavoimakoneen kunnossapito perustuu jatkuvaan käynnistysvalmiuden ylläpitoon. Työssä selvitettiin, mihin asioihin kunnossapidossa tulee kiinnittää huomiota sekä miten eri osajärjestelmiä pystytään uusimaan, jotta haluttu käyttövarmuustaso saadaan ylläpidettyä.</p> <p>Työssä kartoitettiin Salmisaaren dieselvaravoimakkoneiden kunto. Kartoituksen pohjalta selvitettiin, mitä laitteistoja kannattaa uusida, jotta varavoimakkoneen käyttövarmuus parane.</p> <p>Aineistoa työtä varten saatiin pääosin sähköalankirjallisuudesta sekä ST-käsikirjoista. Lisäksi teknistä ja käytännön tietoa saatiin laitetoimittajien haastatteluista ja sähköpostikeskusteluista.</p> <p>Työn lopputulokseksi saatiin paljon tietoa varavoimaverkon rakenteesta sekä varavoimakkoneen toiminnasta. Lisäksi selvitettiin Salmisaaren varavoimakkoneisiin saatavilla olevat varaosat sekä käyttövarmuuden kannalta uusinnan tarpeessa olevat laitteistot. Laitteistojen hankintaa varten saatiin aineistoa, jonka pohjalta on mahdollista hankkia uudet laitteistot.</p>	
Avainsanat	sähkö, varavoima, diesel, generaattori

Author(s) Title	Sami Kivimäki Operational Reliability Upgrade for Diesel Reserve Power System
Number of Pages Date	50 pages + 2 appendices 23 November 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Eero Kupila, Senior Lecturer Karoliina Muukkonen, Project Manager
<p>This thesis was made in co-operation with Helen Ltd Salmisaari power plant to support the modernization project of diesel reserve power systems.</p> <p>This thesis studies what the reserve power system is needed for and how it is structured. Backup power network very often includes a diesel generator which provides electricity supply for the most important equipment and installations over the longer blackouts in the main power supply.</p> <p>Reserve power machine must be reliable in operation. The maintenance of reserve power machine is based on the upkeep of continuous start preparedness. This thesis explains what issues in maintenance should be paid attention to and how the various parts of the system can be renewed, to maintain the desired level of reliability.</p> <p>The thesis surveyed the condition of Salmisaari diesel backup power system. On the basis of the survey was identified which parts of the system should be paid attention to, and how the various part systems can be renewed, to maintain the level of reliability. Condition of the backup diesel generators was surveyed with the equipment manufacturers.</p> <p>Resources for the work were obtained from electricity-related literature and ST-manuals. Technical information was obtained from equipment manufacturers.</p> <p>As an outcome of this thesis, information was achieved concerning the function of reserve power networks and diesel generators. List of available spare parts for Salmisaari reserve diesel power machinery was created. In addition clarified system parts which were in need of renewal are clarified. Material created can be used for implementation of the project.</p>	
Keywords	electricity, diesel, reserve power, generator,

## Sisällys

### Lyhenteet ja määritelmät

1	Johdanto	1
2	Varavoimajärjestelmä	2
2.1	Varmennuksen tarve	2
2.2	Häiriöt	3
2.3	Rakenne ja kustannukset	4
3	Varavoimalaitos	6
3.1	Dieselmoottori	7
3.2	Tahtigeneraattori	7
3.3	Vaihde	8
3.4	Kytkin	9
3.5	Ohjaus- ja valvontakojeisto	10
3.5.1	Ohjauksen toimintaselostus	10
3.5.2	Pääpiirin kojeet	12
3.5.3	Suojaukset ja hälytykset	12
3.5.4	Mittaukset ja valvonnat	14
3.6	Apujärjestelmät	14
3.6.1	Käynnistysjärjestelmät	15
3.6.2	Polttoainejärjestelmä	15
3.6.3	Moottorin jäähdytysjärjestelmä	16
3.6.4	Moottorin esilämmitys	16
4	Varavoimalaitoksen toiminta	17
4.1	Vaatimukset jakeluverkkoon liityttäessä	17
4.2	Varavoimalaitosten käyttötavat	17
4.2.1	Saarekkeessa toimiva käyttö	18
4.2.2	Katkottomalla verkkoon palautuksella toimiva käyttö	18
4.2.3	Yleisen jakeluverkon rinnalla toimiva käyttö	18
4.3	Varavoimakoneiston suorituskyky	19
4.4	Dieselgeneraattorin käynninsäätö	21
4.5	Automaattinen jännitteensäätö	23

4.6	Generaattorin tahdistus	24
5	Varavoimakoneen käyttövarmuus	26
5.1	Luotettavuus ja käyttövarmuus	26
5.2	Varavoimakoneen vastuuhenkilö ja koekäyttö	27
5.3	Vikaantumiseen johtavat syyt	28
5.4	Yleisimmät viat	28
5.5	Huolto ja kunnossapito	30
5.6	Varavoimakoneen osauudistukset	31
6	Salmisaaren varavoimaverkon tarkastelu	32
6.1	Varavoimaverkon rakenne	32
6.2	Varmennettavia laitteistoja	33
6.3	Toiminta	33
6.4	Syöttöhäiriöt salmisaaren voimalaitoksella	34
7	Varavoimakone 1EY/0EY	35
7.1	Moottori	35
7.2	Generaattori	36
7.3	Ohjaus- ja valvontakojeisto	38
7.4	Apujärjestelmät	39
7.5	Varavoimakoneen suojaus ja valvonta	40
8	1EY/0EY käyttövarmuuden parantaminen	41
8.1	Dieselgeneraattorin huolto	41
8.2	Varaosien saatavuus	43
8.3	Varavoimakoneen järjestelmien arviointi	44
8.4	Uusinnassa huomioitavaa laitteistoista	45
8.5	Hankinta	46
8.6	Kustannukset	47
9	Yhteenveto	49
	Lähteet	50
	Liitteet	
	Liite 1. 1EY-varavoimalaitoksen piirikaaviot	
	Liite 2. Salmisaaren B-voimalaitoksen pääkaavio	

## Lyhenteet ja määritelmät

A	Ampeeri on SI-järjestelmän virran yksikkö
Hz	Hertsi on SI-järjestelmän mukainen taajuuden yksikkö
IP	IP-luokitusjärjestelmä on Euroopassa käytössä oleva järjestelmä sähkölaitteiden tiiviyden määrittämiseksi
RPM	Revolutions Per Minute eli kierrosta minuutissa
SFS	Suomen standardisoimisliitto ry on suomalainen standardisoinnin keskusjärjestö
UPS	Uninterruptible Power Supply eli keskeytymätön virransyöttö on järjestelmä tai laite, jonka tehtävä on taata tasainen virransyöttö lyhyissä katkoksissa ja syöttöjännitteen epätasaisuuksissa
V	Voltti on SI-järjestelmän jännitteen yksikkö
VA	Volttiampeeri on SI-järjestelmän näennäistehon yksikkö
Varavoimajärjestelmä	varavoimalaitos ja sen varmentama sähkönjakelujärjestelmä
Varavoimalaitos	yhden tai useamman varavoimakoneikon ja sen apujärjestelmien muodostama varavoimasähkön tuotantolaitteisto
Verkkosähkö	yleisestä sähköverkosta saatavilla oleva sähkö
W	Watti on SI-järjestelmän pätötehon ja säteilyvirran yksikkö

## 1 Johdanto

Tämä insinööriyö tehdään Helen Oy:lle Salmisaaren B-voimalaitoksen dieselvaravoimakoneiden modernisointiprojektin ehdotusta tukemaan.

Insinööriyössä keskitytään dieselgeneraattoreilla varmennettuun sähkön syöttöön.

Työssä selvitetään varavoiman tarvetta ja käyttöä yleisesti sekä paneudutaan varavoimakoneen rakenteeseen. Dieselvarvoimajärjestelmän tarkoituksena on turvata sähkönsyöttö voimalaitoksen tärkeimmille laitteistoille, joiden avulla laitos saadaan turvallisesti pois tuotannosta sekä nopeutetaan tuotantoon palaamista. Lisäksi järjestelmän tarkoituksena on turvata sähkönsyöttö laitteistoille, joiden avulla voimalaitoksella voidaan työskennellä turvallisesti.

Työssä tutkitaan varavoimakoneissa yleisimmin vikaantuvia järjestelmiä sekä miten vikaantumisia voidaan ehkäistä. Lisäksi tutkitaan varavoimakoneen eri osajärjestelmiä, joita voidaan uusida käyttövarmuuden parantamiseksi. Käyttövarmuutta pyritään ylläpitämään ehkäisevän kunnossapidon avulla.

Salmisaaren varavoimakoneen modernisoinnin tarvetta ajatellen, tässä työssä on tarkoituksena selvittää varavoimalaitoksen nykykunto. Voimalaitoksella olevat vanhat varavoimakoneet toimivat, mutta niiden käyttövarmuus on laskenut huomattavasti vuosien saatossa. Varavoimakoneen ohjaus- ja valvontajärjestelmä on alkuperäinen vuodelta 1983, eikä siihen saa varaosia. Lähtökohtana on tutkia kannattaako ohjausjärjestelmä uusida. Työssä käydään läpi kaikki varavoimakoneen laitteistot ja niihin saatavilla olevat varaosat sekä tarkastellaan, mitkä laitteet tulisi uusida, jotta käyttövarmuutta saataisiin nostettua. Tuloksena työstä saadaan valmius modernisointiprojektin toteutukselle.

## 2 Varavoimajärjestelmä

Varavoimajärjestelmän avulla tuotetaan sähköä tarvittaville laitteille normaaliverkon jännitehäiriöiden aikana. Järjestelmän tehtävä on havaita jännitehäiriöt ja minimoida vahingot, pitämällä yllä tarvittavien laitteiden sähkön syöttöä.

### 2.1 Varmennuksen tarve

Varmennettua sähkön syöttöä tarvitaan monissa eri yhteyksissä, joiden taustalla ovat aina turvallisuuden liittyvät tai taloudelliset näkökohdat. Varmennuksen turvallisuusnäkökohtien erojen tunteminen on tärkeää, jotta panostukset kohdistuvat oikeisiin paikkoihin. Usein varmennuskohteet vaikuttavat joko suoraan tai välillisesti sekä henkilöihin että omaisuuteen. Lainsäädännössä myös varmennukselle on asetettu vaatimuksia ja määräyksissä, joiden avulla turvataan yhteiskunnallisia toimintoja ja huoltovarmuutta sekä henkilöitä ja omaisuutta. (1, s. 27.)

Ihmisten turvallisuudelle tärkeiden laitteiden sähkön syötön varmentavaa järjestelmää kutsutaan aina turvasyöttöjärjestelmäksi. Yleisimpiä henkilöturvallisuuden liittyviä järjestelmiä ovat turvalaistus-, paloilmoitin-, sammutus- sekä valvontajärjestelmät. Yleisissä vaatimuksissa vaaditaan, että kyseisten järjestelmien toiminta tulee varmentaa joko laite- tai keskuskohtaisesti akustoin. Vaatimus täytyy ilman erillistä turvasyöttöjärjestelmää, mutta on perusteltua että myös laitekohtaisesti varmennettavien laitteistojen syötöt varmennetaan varavoimajärjestelmän avulla. (1, s. 28.)

Laitevaurioiden ja omaisuuden turvaamiseksi käytetään varmennusta esimerkiksi teollisuuslaitoksissa, joissa on useita prosesseja ja laitteita, jotka eivät siedä hallitsematonta sähkönsyötön katkeamista. Sähkölaitteiden hallitsematon pysähtyminen johtaa laitteiden välittömiin tai välillisiin vaurioihin. Nopeat lämpötilamuutokset voivat aiheuttaa laitteisiin rakenteellisia vaurioita ja eristevaurioita, jotka huomataan yleensä vasta, kun laitetta seuraavan kerran käynnistetään. Tuotannon kannalta paras vaihtoehto olisi, jos tuotantolaitoksen tuotanto ja keskeiset toiminnot pystyttäisiin varmentamaan niin, että ne voisivat jatkua sähkönjakelun häiriöistä huolimatta. Käytännössä kaikkea ei yleensä pystytä varmentamaan, koska siihen tarvittaisiin erittäin suuritehoisia ja kalliita järjestelmiä. Näin ollen useimmiten joudutaan tekemään ratkaisu, jossa varmennetaan vain tärkeim-



mät prosessilaitteet tai vain laitteet, joiden avulla tuotantolaitos voidaan ohjata turvallisesti pois tuotannosta. Molemmissa vaihtoehtoissa pyritään minimoimaan katkoksesta aiheutuvat menetykset. (1, s. 30.)

Tuotannon keskeytymisestä johtuvat menetykset voidaan jakaa yleisimmin seuraaviin osiin:

- tuotannon keskeytymisestä aiheutuvat välittömät kustannukset
- keskeytysaikana syntyvät liikeloudellisista tappiot
- tuotantoon palautumisesta syntyvät kustannukset
- pitkän aikavälin kustannukset, kuten imagon tai asiakkaiden menetys (1, s. 35.)

## 2.2 Häiriöt

Yleisimpinä varmennuksen syinä ovat yleisen sähkönjakelun häiriöt. Varmennuksen tarve riippuu paljon kohteen sijainnista. Tyypillisesti maaseudulla käytetyt avojohtolinjat ovat haavoittuvaisempia kuin kaupunkien kaapeliverkot. Sähkön jakelun luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat verkon ikä, käytetyt tekniset ratkaisut, verkon mitoitus ja huolto-toimenpiteiden säännöllisyys. Jakeluverkon häiriöiden lisäksi kiinteistöjen ja tuotantolaitosten sisäisissä jakeluverkoissa tapahtuvat häiriöt vaikuttavat luotettavaan sähkön saatavuuteen. (1, s. 41.)

Suurissa tuotantolaitoksissa, kuten voimalaitoksissa verkkoliityntä on suurjännitelinjasta. Tästä johtuen jakeluverkon katkokset ovat harvinaisia ja ne ovat usein jo ennalta tiedossa. Voimalaitoksen sisäisessä sähköverkossa on monta eri jännitetasoa, jotka muunnetaan muuntajan avulla eri jännitetason kojeistoille. Nämä jännitetasojen väliset komponentit ovat paikkoja, joista jännitehäiriöt voimalaitoksilla useimmiten johtuvat.

Suomessa keskimääräinen jakeluverkon keskeytysaika on vuositasolla maaseudulla noin kolme tuntia ja taajamissa alle tunnin. Lyhyet katkokset voidaan varmentaa akustoilla, mutta pidempiaikaiset katkokset tarvitsevat omaa sähköntuotantoa, joka toteutetaan useimmin varavoimakoneen avulla. (1, s. 41.)

Yleisimmät sähkön jakeluhäiriöt voidaan jakaa neljään eri osa-alueeseen, joita ovat:

- lyhyet katkokset käsittäen pika- ja aikajälleenkytkennän sekä käyttötoimenpiteet
- pitkät katkokset sähkönjakelussa, kuten katkokset vikakorjausten aikana
- sähkönlaadun poikkeamat, kuten jännite- ja taajuusvaihtelut
- sähkönjakelun keskeytyminen useiksi tunneiksi tai vuorokausiksi laajoissa vikatilanteissa tai tehonvajauksessa. (1, s. 41.)

### 2.3 Rakenne ja kustannukset

Varmennettua sähkön jakelua suunniteltaessa pitää aina arvioida, miten verkkoa käytetään ja ylläpidetään. Järjestelmän rakenteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. jakelureitien kahdennus ja tehonlähteiden redundanttisuus sekä varasyöttömahdollisuudet. Rakenteessa tulee huomioida, että huolto- ja vikatilanteissa varmentavien toimintojen sähkön saanti ei vaarannu. Toisaalta voidaan myös hyväksyä, että varmennus ei ole käytävissä huollon aikana. Huoltotilanteisiin varautuminen kasvattaa kustannuksia ja huollon toteutukseen kuluva aika on usein rajoitettu, kuten esimerkiksi voimalaitoksen vuosihuoltoon varattu aika. (2, s. 42.)

Varavoimajärjestelmä voidaan toteuttaa, joko keskitetysti tai hajautetusti. Keskitetyt järjestelmät ovat usein teknistaloudellisesti parempia kuin hajautetut järjestelmät. Suuritehoisten syöttölaitteistojen tehon ja hinnan suhde on parempi sekä laitteistojen huoltaminen keskitettyä. Hajautettujen järjestelmien avulla voidaan eri järjestelmiä varmentaa eritasoisesti. Tällöin kaikkein tärkeimpien laitteistojen varmennusta voidaan parantaa pienemmillä investointikustannuksilla. Lisäksi hajauttamisen ansiosta välimatkat varmentaville laitteistoille pysyvät lyhempinä. Keskitetyn ja hajautetun järjestelmän välillä valinta on tehtävä taloudellisten ja teknisten sekä riskien hallinnan määrittelemillä perusteilla. (1, s. 43-44)

Varmennettuun verkkoon kuuluu paljon erilaisia varmennettavia laitteita ja laitteistoja. Osa laitteista vaatii katkotonta syöttöä ja osalle laitteista riittää, että varavoimasyöttö kytkeytyy pienellä viiveellä verkkohäiriön sattuessa.

Kun varmennettavat laitteet vaativat katkotonta sähkön syöttöä, toteutetaan se usein staattisen UPS-järjestelmän avulla. Staattinen UPS-järjestelmä on jakeluverkon ja varmennettavan verkon väliin asennettava järjestelmä, johon kuuluu ohjauspiiri sekä akusto. Akustot koostuvat erillisistä moduuleista, joita voidaan tarvittaessa lisätä järjestelmään. Akuston avulla tuotetaan määritelty toiminta-aika katkotonta sähköä kuormalle. Järjestelmän redundanttisuus saavutetaan esimerkiksi lisäämällä yksi ylimääräinen akumoduuli UPS-järjestelmään, jotta yhden moduulin vikaantuminen ei aiheuta käyttökatkkoa. Yksi tärkeimmistä katkotonta sähkönsyöttöä vaativista järjestelmistä on automaatiojärjestelmä. Automaatiojärjestelmä on nykyään niin oleellisessa osassa voimalaitosten käyttöä ja siitä on muodostunut voimalaitosten tärkein varmennettava toiminto. (1, s. 57-58)

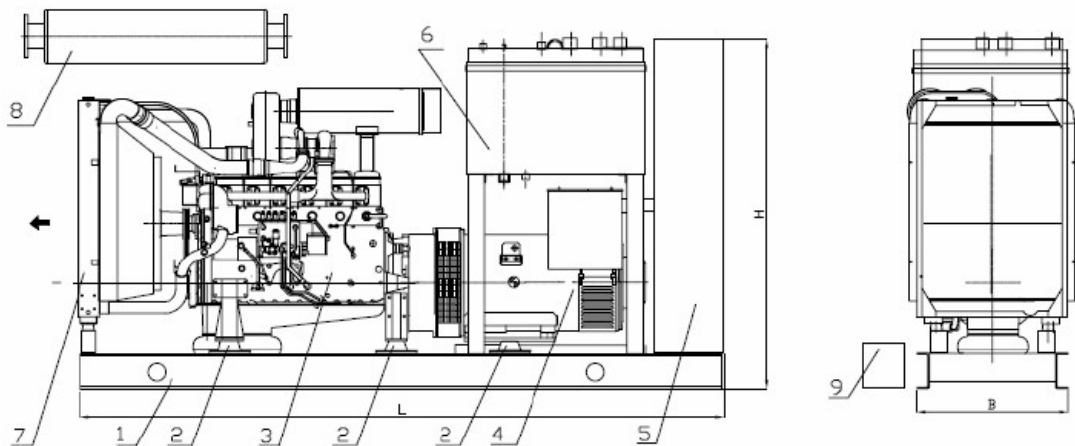
Katkollinen sähkön syöttö voidaan toteuttaa joko automaattisella tai käsin käynnistettävällä varavoimakoneella. Yleisimmin varavoimakoneisto rakennetaan automaattiseksi verkontilaa tunnusteleavan automatiikan avulla. (1, s. 59.)

Suurissa laitoksissa varvoimajärjestelmään kuuluu katkollisia ja katkottomia varvoimajärjestelmiä jotka varmentavat toisiaan. Varmennuksella tässä tilanteessa tarkoitetaan tässä sitä, että dieselvarvoimakone lataa UPS-järjestelmän akustoja sähkökatkon aikana. Staattinen UPS-järjestelmä taas siirtää normaalisti varvoimapäikeskukselta syöttönsä saavat, mutta katkotonta sähköä tarvitsevat laitteet akustojen perään staattisen kytkimen avulla.

### 3 Varavoimalaitos

Varavoimalaitos pitää sisällään koko varavoimakoneiston. Varavoimakoneiston pääosat ovat dieselmoottori, tahtigeneraattori ja niiden välinen kytkin sekä ohjaus- ja valvonta kojeisto. Lisäksi koneistoon kuuluu generaattori- ja verkkokatkaisija sekä varavoimalaitoksen toiminnalle tärkeitä apujärjestelmiä.

Dieseligeneraattoriksi kutsutaan generaattoria, jonka työkoneena on dieselmoottori. Dieseligeneraattorin tehtävä voimalaitoksissa on varmistaa laitoksen turvallisuudelle tärkeiden laitteiden sähkön syöttö häiriötilanteissa silloin, kun päägeneraattoreiden tai sähköverkon sähkön saanti on vikaantunut. Dieseligeneraattoreita käytetään myös sähköverkon tehon tuentaan vika- ja huippukuormitustilanteissa, jolloin paikallinen jakeluverkko-yhtiö vastaa koneen käytöstä. Kuvassa 1 esitellään erään varavoimakoneiston rakenne, jossa koneisto on yhdessä kompaktissa paketissa, mutta toiminnot voivat olla myös osittain hajautettu varavoimakonehuoneeseen. (3, s. 310)



- |                                                                  |                                                                |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1. MUOTOTERÄSALUSTA<br>STEEL BASE FRAME                          | 6. POLTTONESTEEN PÄIVÄSÄILÖ<br>FUEL DAY TANK                   |
| 2. TRÄNNERISTIMET<br>VIBRATION DAMPERS                           | 7. KENNOJÄÄHYTYN JA PUHALLIN<br>COOLING RADIATOR AND FAN       |
| 3. MOOTTORI<br>ENGINE                                            | 8. PAKKAASUN ÄÄNENVAINENNIN<br>EXHAUST SILENCER                |
| 4. GENERAATTORI<br>GENERATOR                                     | 9. KÄYNNISTYS- JA OHJAUSKUSTO<br>START AND CONTROL BATTERY SET |
| 5. OHJAUS- JA VALVONTAKOJEISTO<br>CONTROL AND SWITCHGEAR CUBICLE |                                                                |

Kuva 1. Varavoimakoneiston rakenne

### 3.1 Dieselmoottori

Varavoimakoneissa käytetään yleisimmin suorasuihkutteisia monisylinterisiä dieselmoottoreita. Dieselmoottorit ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja kestäviä sekä osoittautuneet varavoimakäytöissä luotettaviksi. Dieselmoottoreiden eduiksi varavoimakoneissa, esimerkiksi bensiinimoottoreihin verrattaessa, voidaan lukea pienempi palo- ja räjähdysvaara sekä halvempi polttoaine. Lisäksi dieselmoottoreiden huoltoväli on pidempi. (2, s.91.)

Dieselmoottorit jaetaan palotilojen mukaan apukammio-, esikammio- ja suorasuihkutusmoottoreihin. Ne taas voidaan jakaa vielä toimintatavan mukaan kaksitahtisiin ja nelitahtisiin moottoreihin. Varavoimakoneissa käytetään yleisimmin nelitahtisia suorasuihkutusmoottoreita. Dieselmoottoreissa moottorintehoa ei ohjata kaasuläpällä, kuten bensiinimoottoreissa, vaan tehon säätö tapahtuu polttoaineen määrää säätämällä. Suorasuihkutusmoottoreissa polttoaine ruiskutetaan hienona sumuna suoraan sylinteriin puristusvaiheen lopussa ja työtahdin alussa. (3, s. 183.)

Varavoimakoneiden dieselmoottoreissa kylmäkäynnistystä varten ei yleensä käytetä hehkutulppia tai imuilman esilämmitystä kuten ajoneuvoissa, vaan moottorit pidetään koajan käynnistyslämpöisinä lämmittämällä moottorin jäähdytysvettä. Esilämmitettynä dieselmoottori pystyy ottamaan lähes täyden kuorman ja pitämään samalla riittävän pyörimisnopeuden heti käynnistyksen jälkeen. (3, s.184.)

### 3.2 Tahtigeneraattori

Tahtigeneraattori on yleisin pyörivä sähkökone energian tuotannossa. Tahtigeneraattori muuttaa tässä tapauksessa dieselmoottorin sille tuottaman mekaanisen tehon sähkötehoiksi. Tahtikoneen etuihin voidaan lukea parempi hyötysuhde sekä mahdollisuus loistehon kompensointiin. Varavoimakoneissa käytetään yleisimmin nelinapaisia harjattomia sisänapatahtigeneraattoreita. (5, s. 46.)

Avonapageneraattorin roottori koostuu erillisistä navoista. Magnetointikäänitys on käänmitty näiden napojen ympärille. Käänmityksenä käytetään joko lattakuparia tai muotolankaa. Avonapakoneita käytetään muun muassa vesivoimalaitosten sekä varavoimalaitosten generaattoreina, joiden pyörimisnopeudet vaihtelevat 500–1500 r/min. (5, s.47.)

Tahtigeneraattorin roottoria pyöritetään varavoimakoneessa dieselmoottorin avulla. Tahtigeneraattorissa on kolmivaiheisella käämillä varustettu staattori ja staattorin sisäpuolella pyörivä tasasähköllä vierasmagnetoitu roottori. Kun roottorissa olevaan magnetointikäämiin johdetaan tasavirtaa, kehittyä koneeseen magneettivuo. Roottorin pyöriessä magneettivuoviivat leikkaavat staattorin käämisauvoja, jonka seurauksena käämitykseen indusoituu sinimuotoinen kolmivaiheinen lähdejännite. Jännitteen taajuus määräytyy akselin pyörimisnopeudesta ja koneen napapariluvusta, jota säädetään polttoaineen syötön avulla. Jännitteen suuruus riippuu magnetointivirran suuruudesta. (5, s. 47.)

Generaattoria on pyöritettävä verkon taajuutta vastaavaa nopeutta, jotta saadaan oikean laatuista sähköä. Suomessa sähköverkon taajuus  $f$  on 50Hz ja kun generaattorin napapariluku  $p$  on 2, saadaan sen pyörimisnopeus  $n$  laskettua kaavan 1 mukaan:

$$n = \frac{60 * f}{p} \quad (1)$$

$$n = \frac{50\text{Hz} * 60\text{s}}{2} \frac{r}{\text{min}} = 1500 \text{ r/min}$$

Tulokseksi saadaan 1500 r/min joka on generaattorin tahtinopeus ja näin ollen työkooneen, kuten dieselmoottorin tulee pyörittää generaattoria kokoajan 1500 r/min, jotta taajuus pysyisi mahdollisimman vakiona. (5, s. 48.)

### 3.3 Vaihde

Kun moottori pyörittää generaattoria sen tahtinopeudella, väliin ei tarvita vaihdetta. Harvoissa tapauksissa moottorin paras tehoalue on muussa pyörimisnopeudessa kuin generaattorin tahtinopeus. Vaihde muuttaa moottorin tuottamaa pyörimisnopeutta haluttuun arvoon sen kiinteän muuntosuhteen  $\mu$  verran. Muuntosuhde saadaan kaavan 2 avulla: (4, s. 217.)

$$\mu = \frac{n_1}{n_2}$$

(2)

$\mu = \textit{välitys}$

$n_1 = \textit{dieseli pyörimisnopeus}$

$n_2 = \textit{generaattorin tahtinopeus}$

Kun dieselmoottori pyörii 2100 rpm ja tahtigeneraattorin tahtinopeus on 1500 rpm, saadaan muuntosuhteeksi kaavan 4.1 avulla:

$$\mu = \frac{n_1}{n_2} = \frac{2100 \textit{ rpm}}{1500 \textit{ rpm}} = 1,4$$

Näin vaihteen muuntosuhteen  $\mu$  täytyy olla 1,4, jotta generaattori pyörisi 1500 rpm.

Varavoimakoneisiin ei yleensä haluta vaihdetta, koska laitteisto halutaan pitää mahdollisimman yksinkertaisena, jotta mahdollisia vikapaikkoja olisi mahdollisimman vähän. Esimerkiksi Salmisaaren varavoimakoneissa on vaihde, koska dieselmoottoreista saadaan paras momentti tuotettua suuremmilla kierroksilla.

### 3.4 Kytkin

Moottorin tuottama mekaaninen energia välitetään generaattorille niiden välisen kytkimen välityksellä. Useimmiten käytetään joustavaa kumikytkintä. Joustavat kytkimet ovat yleisimpiä koneen rakennuksessa käytettäviä kytkimiä, joiden rakenteeseen kuuluu yksi tai useampi joustava osa, joka vaimentaa vääntömomentin vaihtelut. Kytkimellä pystytään myös vaimentamaan momentin vaihtelut sen jousto ominaisuuksien ansiosta. Kytkimen tehtävänä on myös suojata moottoria. Esimerkiksi tilanteessa, jossa generaattori kytkettäisiin epätahdissa verkon rinnalle eli ajettaisiin päin verkkoa, kuuluu kytkimen hajoja ensimmäisenä, jotta koneisto muuten säilyisi ehjänä jakeluverkon voiman aiheuttamasta nytkähdyksestä. Joustavina osina käytetään kumia, nahkaa, tekoaineita ja jousia. (4, s. 220.)

### 3.5 Ohjaus- ja valvontakojeisto

Ohjaus- ja valvontakojeisto koostuu yhdestä tai useammasta kojekaapista, johon on sijoitettu varavoimalaitoksen ohjaus- ja valvontakojeisto. Kojiston tärkein osa on automaattikkayksikkö, joka ohjaa ja valvoo koneiston toimintaa automaattisesti. Kojestoon sijoitetut kojeet voidaan jakaa viiteen pääryhmään:

- Ohjaus- ja säätökojeet
- Suojaus- ja hälytyskojeet
- Pääpiirin kojeet
- Mittaus- ja valvontakojeet
- Omakäyttöosa (2, s. 95.)

Rakenteeltaan kojekaapit ovat normaalisti teräslevyrakenteisia. Kaapin tulee olla kotelointiluokaltaan IP44 vaatimukset täyttäviä, jos asennus paikka on konehuoneessa. Kojeeet on asennettava niin, että kojeistoa pystytään käyttämään ilman, että ovea avataan. Ohjauspiirien jännite on joko 12 V tai 24 V tasajännitettä riippuen käynnistysjärjestelmän jännitteestä, sillä ohjausjännite otetaan samasta akustosta. Omakäyttöosan liittyvät kojeet sijoitetaan joko ohjauskaappiin tai siitä erilleen. (2, s. 95.)

#### 3.5.1 Ohjauksen toimintaselostus

Automaattista varavoimalaitosta voidaan ohjata usein joko käsin tai automaattisesti. Käyttötapa voidaan valita ohjausjärjestelmän automatiikasta, jossa on ainakin seuraavat neljä vaihtoehtoa:

**Seis**-käyttötapa valitaan, kun laitos halutaan pitää pysähtyneenä eikä se lähde käyntiin edes verkkokatkon aikana huoltotöitä varten. Käynnissä oleva varavoimalaitos avaa generaattorikatkaisijan ja sulkee verkkokatkaisijan välittömästi, kun seis-tila on valittu. Tämän jälkeen se hoitaa jälkikäytön normaalisti ja palautuu valmiustilaan. (2, s. 97)

**Automaattikka**-käyttötapa on valittuna normaalisti. Koneisto toimii automaattisesti verkkohäiriön aikana. Kun verkkojännite poikkeaa vaihejohtimissa yli asetellun rajan, kone



käynnistyy käynnistysviiveen jälkeen automaattisesti. Automatiikka avaa verkkokatkaisijan ja sulkee generaattorikatkaisijan, kun generaattorin taajuus ja jännite ovat asetellulla tasolla. Kun verkkojännite palautuu normaaliksi kaikissa vaiheissa ja pysyy sallituissa rajoissa asetellun ajan automatiikka suorittaa syötön ilman katkosta. Palattuaan normaaliin tilaan, kone käy jälkikäytön ja siirtyy valmiustilaan. (2, s. 97.)

**Käsi**-käyttötapa valittuna käyttäjä pystyy ohjaamaan varavoimalaitosta ohjauspaneelista. Automaattiset suojaus- ja hälytyspiirit valvovat toimintaa, kuten automatiikka-asennossa. Ohjauspaneelista pystyy toteuttamaan ainakin laitoksen käynnistyksen ja pysäytyksen sekä katkaisijoiden ohjaukset. Tahdistus on varustelusta riippuen mahdollista toteuttaa myös täysin käsin. (2, s. 98.)

**Koe**-käyttötapa valitaan koekäyttöjen ajaksi, jolloin automatiikka suorittaa koekäytön tahdistavissa laitoksissa katkottomasti verkon rinnalla tai omana saarekkeena. Ei-tahdistavissa laitoksissa koekäytön alussa ja lopussa tapahtuu pieni katkos syötönvaihtojen yhteydessä. Lisää varavoimalaitoksen käyttötavoista luvussa 4. (2, s. 99.)

Lisäksi ohjausjärjestelmien vikojen varalle on mahdollista, että ohjausjärjestelmässä on myös hätäkäyttö vaihtoehto. **Hätäkäyttö** valitaan erillisestä kytkimestä, josta hätäkäyttöpainikkeet aktivoidaan. Hätäkäyttöä joudutaan käyttämään silloin, kun automatiikkaan tulee vika eikä siitä voida ajaa koneistoa. Hätäkäytöllä ohjauslogiikka ohitetaan erillisellä käsiohjauksella jos dieselin ohjausyksikkö on kunnossa. Valmistajan harkinnan mukaan voidaan poistaa joitain pysäyttäviä vikoja ja hälytyksiä, jotka muutoin estäisivät käyttämisen. Vanhoissa varalaitoksissa, joissa on vielä mekaanisia säätölaitteita, on hätäkäyttö huomattavasti helpompi toteuttaa kuin uusissa laitoksissa. Uudemmissa varavoimalaitoksissa on tietokoneohjatut moottorinohjaimet, jotka vaikeuttavat hätäkäyttötoiminnon toteuttamista. Hätäkäyttötilanteessa laitoksen käyttäjän on seurattava jatkuvasti varavoimakoneen toimintaa, koska normaalit suojauslaitteet eivät ole toiminnassa. (2, s. 97,100.)

Edellä mainittujen toimintojen lisäksi ohjauskeskuksen oveen tulee sijoittaa myös mekaanisesti palautettava hätä-seis painike, jolla varavoimalaitos pysähtyy välittömästi (2, s. 97).

### 3.5.2 Pääpiirin kojeet

Pääpiirin kuuluva seuraavat kojeet:

- generaattorikatkaisija
- verkkokatkaisija
- generaattorin oikosulkusuoja
- generaattorin ylivirtasuoja (2, s. 104.)

Generaattori- ja verkkokatkaisija on tapauksesta riippuen 3-napainen tai 4-napainen. Nelinapaisessa katkaisijassa myös nollajohdin katkaistaan, jotta virtapiirit pystytään erottamaan tarkoituksenmukaisesti. Generaattorikatkaisija sijaitsee joko varavoimapääkeskuksessa tai varavoimakoneen ohjauskaapissa. Jos katkaisija ei ole samassa tilassa kuin varavoimakone, tarvitaan varavoimakonehuoneeseen pääkytkin. (1, s. 130; 2, s. 104.)

### 3.5.3 Suojaukset ja hälytykset

Generaattorin suojaus on toteutettavissa nykyään automatiikkayksiköllä, joka toimii kuten monitoimirele, jossa kaikki tarvittavat suojaustoiminnot on samassa ja niihin pystytään määrittelemään halutut asetelut kaikille tarvittaville suojuuksille. Tärkeimpiä suojuuksia varavoimakoneissa ovat ylivirta-, takateho-, ylijännite-, alijännite- sekä oikosulkusuoja. Lisäksi taajuuden valvonta on erityisen tärkeää varavoimakoneissa. Vanhoissa varavoimalaitoksissa ja yleensäkin suojuuksessa käytettiin kaikkiin suojoitointoihin erilisiä mekaanisia suojoiteita. Lisäksi suojuukseen liittyy antureita, joilla mitataan varavoimakoneistossa lämpötilaa eri kohdista.

Virtamittaukset, kuten generaattorin virta, saadaan generaattorin vaihekiskoista virtamuuntajan kautta. Virtamuuntajalla virta pienennetään, jotta mittauslaite kestää mitattavan virran. Virtamuuntajan muuntosuhde voi olla esimerkiksi 800/5 A. Virtamuuntaja myös eristää pääpiirin ja mittauspiirin toisistaan, mikä vähentää häiriöitä.

Vääräntahdistuksen estolaitteen avulla varmistetaan, että generaattori ja verkko ovat varmasti samassa taajuudessa ennen kuin generaattori katkaisija suljetaan, vaikka tahdistus tapahtuukin tahdistusautomaatiikan avulla.

Takatehosuojaus on voimakoneen häiriötilanteita varten, kun generaattoria ajetaan verkon kanssa rinnan. Kun työ kone vikaantuu, alkaa sen pyörimisnopeus laskea ja verkko alkaa pyörittää generaattoria moottorina. Tällöin takatehosuoja ohjaa generaattorin pois verkosta.

Ryntäyssuoja suojaa generaattoria tilanteissa, joissa kierrosnopeus kasvaa äkillisesti. Kone moottori voi rynnätä esimerkiksi tilanteessa, jossa generaattorin kuorma kytketään pois tai se laskee äkillisesti.

Varavoimalaitoksen automaattisesti toimivien suojaus- ja hälytyspiirien vähimmäisvaatimuksena on oltava vähintään seuraavat hälytykset:

- voiteluöljyn paine alhainen
- generaattorin ylivirta
- generaattorin ylijännite
- akustojännite alhainen
- käynnistyshäiriö
- ryntäyssuoja
- jäähdytysnesteen lämpötila korkea. (2, s.103.)

Varavoimalaitoksesta rakennusautomaatiojärjestelmään yleisemmin siirretään vähintään seuraavat tiedot:

- kone ei käyttövalmiina
- kone käy
- varoittava hälytys

- pysäyttävä yleishälytys. (2, s. 102.)

#### 3.5.4 Mittaukset ja valvonnat

Varavoimalaitoksen automatiikkaan tulee liittää ainakin seuraavat mittaukset ja osoittimet, jotka ovat:

- pääpiirin yleiskaavio, josta nähtävissä on generaattori- ja verkkokatkaisijan asennonosoittimet
- jäähdytysnesteen lämpötila
- öljynpaine
- generaattorin taajuus
- verkko- ja generaattorijännite kaikkien
- generaattorin virtamittaus kaikista vaiheista
- tahdistusmittarit (synkronoskooppi, kaksoisjännite- ja taajuusmittarit)
- akuston varaajan latausjännite. (2, s. 102.)

Nämä mittaukset ja valvonnat on oltava nähtävissä joko erillisinä analogimittareina tai automatiikan ohjauspaneelissa.

#### 3.6 Apujärjestelmät

Apujärjestelmiä ovat kaikki varavoimakoneeseen liittyvät laitteistot, jotka ovat välttämättömiä koneiston toiminnan kannalta. Apujärjestelmiin kuuluvat käynnistys-, polttoaine-, jäähdytysjärjestelmä ja varavoimakonehuoneen ilmastointijärjestelmä sekä pakoputkisto. (2, s. 105)

### 3.6.1 Käynnistysjärjestelmät

Käynnistysjärjestelmä koostuu käynnistysakustosta, käynnistyskaapeleista sekä latauslaitteistosta.

Akuston tärkein tehtävä on käynnistää dieselmoottori. Akuston jännite on, joko 12 V tai 24 V tasajännitettä ja samasta akustosta otetaan myös ohjauspiirien jännite. Akuston jännitetasoon vaikuttaa dieselin käynnistysmoottorin tarvitsema jännite. Akusto tulee sijoittaa moottorin läheisyyteen, jotta käynnistyskaapeleiden poikkipinta pysyisi kohtuullisena. Akustoiksi suositellaan huoltovapaita akkuja, jotka mitoitetetaan niin, että niiden napajännite ei laske käynnistysmoottorin käynnistysvirrallakaan yli 15 prosenttia. Käynnistyessä moottori ottaa noin viisin kertaisen virran. Lisäksi kapasiteetin tulee riittää kolmeen peräkkäiseen käynnistysyritykseen. Jos moottori ei lähde kolmannella käynnistyskerrallakaan käyntiin, jää koneisto vikatilaan. (2, s. 105,106.)

Latauslaitteistoon kuuluu dieselmoottorin pyörittämä latausgeneraattori, joka lataa käynnistysakustoa varavoimakoneen käynnin aikana. Lisäksi, kun kone ei käy, täytyy akustoilla olla dieselvarmennetusta verkosta syöttönsä saava akkuvaraaja. Akkuvaraaja pitää akuston täydessä varaustilassa varavoimakoneen seisonnan aikana. Varaajaksi sopii virranrajoituksella varustettu vakiojännitelatauslaite, joka on varustettu jännite- ja virtamittauksella. Nimellisvirta on mitoittettava niin, että täysin tyhjentynyt akustokin saadaan täyteen varaustilaan kohtuullisessa ajassa. Akuston jännitevalvonta on oltava automaattikassa.(2, s. 106.)

### 3.6.2 Polttoainejärjestelmä

Dieselmoottoreissa polttoainejärjestelmään kuuluu polttoaineen varastointi- ja polttoaineensiirtolaitteet sekä ruiskutusjärjestelmä. Polttoaine varastoidaan varastosäiliöön, josta sitä pumpataan käyttösäiliöön sitä mukaan, kun sitä kuluu. Polttoaineen siirtojärjestelmän tärkeimpiä osia ovat suodattimet, siirtopumppu ja lämmityslaitteisto. Siirtojärjestelmä huolehtii polttoaineen puhdistamisesta, riittävydestä sekä ylimääräisen polttoaineen säiliöön palautuksesta. Ruiskutusjärjestelmän tärkeimmät osat ovat ruiskutuspumppu, -suuttimet ja kierrosluvunsäädin. Järjestelmän tehtävänä on ruiskuttaa palamiseen tarvittava polttoaine sylinteriin oikea-aikaisesti. Kierrosluvun säädin säätelee pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia, joka tapahtuu polttoaineen määrää säätelemällä. (3, s. 187.)

### 3.6.3 Moottorin jäähdytysjärjestelmä

Moottorin jäädytys toteutetaan yleisimmin ulkoilmalla. Lämpö siirretään dieselmoottorin jäähdytysnesteestä ulkoilmaan kennojäähdyttimen välityksellä. Puhallin on joko mekaanisesti dieselinmoottorin pyörittämä tai sähkömoottorikäyttöinen. Ulkoilma otetaan sisään konehuoneen seinässä olevan tuloilma-aukon kautta. Ulkoilma jäähdyttää varavoimahuoneen ilmaa sen läpi virratessaan. Poistoilmapuhallin puhalttaa lämmentyneen ilman kennojäähdyttimen kautta ulos. Kylmällä ilmalla varavoimakoneen käynnistyessä poistoilma ohjataan ensin lämmittämään konehuonetta termostaattiin asetettuun lämpötilaan saakka, jonka jälkeen poistoilmapeltiä säädetään niin, ettei huoneen lämpötila laske liikaa. Jäähdytysjärjestelmät on mitoitettava niin, että varavoimakonehuoneen lämpötila ei nouse yli +40 °C:n, eikä laske kylmälläkään ilmalla alle +5 °C:n. (2, s. 54)

### 3.6.4 Moottorin esilämmitys

Dieselinmoottorin esilämmitys toteutetaan lämmittämällä jäähdytysvettä. Esilämmitin käsittää kuumennusvastukset ja termostaattikytkimen. Termostaatti säätelee lämmitystä kytkemällä ja katkaisemalla lämmitysvastusten virtaa, jotta moottorin lämpötila saadaan pysymään asetellussa arvossa. Esilämmityksen avulla dieselgeneraattoriin voidaan kytkeä lähes täysi kuorma heti käynnistyksen jälkeen.

## 4 Varavoimailaitoksen toiminta

Normaalisti kiinteistöt ja tuotantolaitokset saavat sähkönsä jakeluverkosta. Varavoimailaitokset jaetaan niiden toiminnan mukaan kolmeen pääryhmään sen mukaan miten varavoimailaitos liitetään jakeluverkkoon. Kun tuotantolaitos liitetään verkkoon, on sille asetettu ohjeistus sähköverkon haltijan puolelta. Varavoimailaitokselta vaaditaan riittävää suorituskykyä sekä toimintoja, joiden avulla ne joko pysyvät erillään verkosta tai ovat riittäväillä toiminnoilla varustettu että voivat liittyä verkon rinnalle. Lisäksi varavoimailaitoksen tuottamalle sähkön laadulle on omat vaatimukset. (6)

### 4.1 Vaatimukset jakeluverkkoon liittäessä

Energiateollisuus ry ja sähkölaitokset, kuten Helen Sähköverkko Oy, ovat laatineet ohjeet, joissa he ovat asettaneet vaatimuksia ja menettelytapoja sähköä tuottavien laitteistojen verkkoon liittämistä. Ohjeiden avulla mahdollistetaan tuotantolaitteistojen käyttö jakeluverkossa aiheuttamatta häiriötä muille verkonkäyttäjille. Häiriöiksi luetaan esimerkiksi jännitteen vaihtelu, verkkojännitteen vääristymät, vaiheiden epäsymmetria, käynnistyksen ja tahdistuksen aiheuttamat häiriöt sekä väärä toiminta verkon häiriötilanteissa.

Seuraavaksi käydään läpi varavoimailaitoksen käyttötapojen päätyypit, jotka on Helenin Sähköverkko Oy:n ohjeessa jaettu vielä pienempiin osiin, mutta päätyypit ovat samat.

### 4.2 Varavoimailaitosten käyttötavat

Varavoimailaitosten käyttötavat voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin sen mukaan, miten syötönsiirto verkolta generaattorille tai generaattorilta verkolle on toteutettu. Päätyypit ovat:

- saarekkeessa toimiva käyttö
- katkotta verkkoon palautuva käyttö
- jakeluverkon rinnalla toimiva käyttö. (1, s. 73.)

#### 4.2.1 Saarekkeessa toimiva käyttö

Saarekekäyttö on varavoimalaitoksen peruskäyttötyyppi. Saarekekäyttö tarkoittaa sitä, että varmennettu verkko erottautuu omaksi saarekkeeksi, kun varavoimakone syöttää sitä. Syötönvaihdossa varavoimakoneelta verkkoon ja takaisin tapahtuu aina lyhyt katkos. Katkoksella varmistetaan että varavoimakone ja jakeluverkko eivät syötä varmennettua verkkoa samanaikaisesti. Syötönvaihto tilanteesta aiheutuu virtasysäys, joka johdetaan varavoimajännitteen ja verkkojännitteen vaihe-erosta. Virtasysäystä voidaan pienentää pidentämällä katkosaikaa. Katkosajan pidentäminen tulee huomioida verkon komponenteissa. (1, s. 73; 6.)

#### 4.2.2 Katkottomalla verkkoon palautuksella toimiva käyttö

Katkotonta verkkoon palautusta käytetään silloin, kun halutaan välttää syötön vaihdoissa tapahtuva katkos, verkon palauduttua. Syötönvaihto tapahtuu lyhyen rinnankäynnin kautta, joka on niin sanottu saattaen tahdistus. Rinnankäyntiaika tulee rajoittaa releautomaatiikalla enintään viideksi sekunniksi. Kun häiriötilanteiden jälkeen jakeluverkon jännite palautuu, saa laitteisto palata verkkosyötön perään suosituksena kymmenen minuutin kuluttua siitä. Laitos on koekäytettävä kuukausittain ja edellytyksenä sille on, että automaatiikka pystyy hoitamaan myös koekäytön ilman katkoksia molempiin suuntiin. Koekäyttö voidaan toteuttaa myös keinokuorman kanssa. Laitokseen tarvitaan vähintään seuraavat lisätoiminnot:

- automaattinen tahdistus
- pätötehon riittävä vakavointi verkon rinnalla oltaessa
- loistehon riittävä vakavointi verkon rinnalla oltaessa. (1, s. 78;6.)

Pätö- ja loistehon vakavoinnit toteutetaan riittävällä säädöllä. Jännitteensäätö ja kierrosluvunsäädön joustavuus pitävät verkon arvot vakaina.

#### 4.2.3 Yleisen jakeluverkon rinnalla toimiva käyttö

Varavoimalaitos, joka pystyy toimimaan verkon rinnalla, on perusteltu silloin kun halutaan sekä katkoton paluu, että laitoksen koekäyttö verkon rinnalla. Tähän sisältyy myös



mahdollisuus, jolla saadaan varavoimakoneella tuotettua lisätehoa verkkoon, kun kulu-  
tus on suurimmillaan. Laitokseen tarvitaan vähintään seuraavat lisätoiminnot:

- automaattinen tahdistus
- automaattinen pätötehon säätö verkon rinnalla oltaessa
- automaattinen loistehon säätö verkon rinnalla oltaessa
- takatehon laukaisu generaattorille
- laukaisu, joka estää sähkön syötön verkkoon päin, jos rinnankäynnin ai-  
kana tulee verkkokatkos

#### 4.3 Varavoimakoneiston suorituskyky

Jännitehäiriötilanteissa varavoimakone käynnistyy käynnistysviiveen jälkeen, joka on yleensä noin 2 sekuntia, jolla pyritään estämään turhat käynnistykset. Koneen käynnistyminen kestää maksimissaan 10 sekuntia. Tyypillisesti varavoimakoneen kuormat kytetään portaittain, jotta jännitteen taajuus ei heilahda liikaa. Nykyaikaiset dieselmoottorit ovat turboahdettuja, mikä hieman heikentää kuormanottokykyä. Kuormanottokykyyn vaikuttavat myös dieselin ja generaattorin säätimet sekä moottorin esilämmitys. (2, s. 77)

Varavoimakoneisto mitoitetaan niin, että sen teho riittää kattamaan varavoimaverkon huippukuorman suunnitellun käyttöjakson ajan. Mitoituksessa on huomioitava myös riittävä kasvunvara, omakäyttöteho sekä kuormanottokyky. Varavoimakoneen sähköteho ilmoitetaan tehokertoimella 0,8 (ind). (2, s. 79.)

Mitoitukseen sekä sähkön laatuun vaikuttavia hankalia kuormituksia ovat suuret oikosulkumoottorit ja puolijohdetekniikkaa sisältävät kuormat. Oikosulkumoottoreiden suuri käynnistysvirta aiheuttaa ongelmia mitoituksessa. Puolijohdetekniikan harmoniset yliaallot vääristävät jännitteen aaltomuotoa. Lisäksi varavoimakoneen oikosulkuteho on paljon pienempi kuin verkon oikosulkuteho, jolloin jännitejähkyys on huonompi. Näitä tilanteita varten on tärkeää varavoimakoneen mitoituksessa jättää tehoa reserviin, jotta nämä hankaluudet saadaan huomioitua. (2, s. 115.)

Varavoimakoneiston tuottamalle sähkön laadulle on asetettu vaatimuksia eri kuormitus-tilanteissa. ST-käsikirjan 31 mukaan jännitteen ominaisuuksille asetetaan suorituskykyluokat G1-G4(2, s. 80). Suorituskykyluokista varavoimakäytöissä olennaisimmat luokat ovat G2 ja G3, joiden vaatimukset on esitetty taulukossa 1. (2, s. 80.)

Taulukko 1. Suorituskykyluokat ja niiden vaatimukset (2. s. 80)

	<b>G2</b>	<b>G3</b>
taajuuden sallittu vaihteluväli vakiintuneessa syöttötilanteessa	± 1,5 %	± 0,5 %
taajuuden sallittu alenema äkillisessä kuorman lisäyksessä	-10 %	-7 %
taajuuden asettumisaika	< 5 s	< 3 s
jännitteen sallittu vaihteluväli vakiintuneessa syöttötilanteessa	± 2,5 %	± 1,0 %
jännitteen sallittu alenema äkillisessä kuorman lisäyksessä	-20 %	-15 %
jännitteen asettumisaika	< 6 s	< 4 s

Taajuuden/kierrosnopeuden vaihteluväli on taajuuden ylimmän ja alimman arvon väli viiden minuutin seurannan aikana, kun kuormitusta muutetaan kaikin mahdollisin tavoin (7).

Taajuuden/kierrosnopeuden alenema on pysyvä muutos, joka tapahtuu kun kuormaa muutetaan kuormittamattomasta tilasta täyteen kuormaan (7).

Varavoimailaitoksen suorituskykyyn liittyy sen miehittämätön toiminta-aika. Varavoimailaitoksen on käynnistyttyään pystyttävä toimimaan riittävän pitkä aika ilman käyttöhenkilökuntaa. Toiminta-aikaan vaikuttaa yleisimmin polttoaineen kulutus sekä moottorin voiteluöljyn kulutus. Vakiomalliselta laitokselta vaaditaan, että polttoainesäiliö kestää vähintään kahdeksan tuntia ja voiteluöljy noin muutaman päivän. Aikaa saadaan kasvatettua suurentamalla käyttösäiliötä tai rakentamalla järjestelmään automaattinen pumppaus varastosäiliöstä. Öljyjärjestelmään on myös lisättävä automaattinen öljynlisäyslaitteisto, jotta toiminta-aika tämän osalta saadaan pidennettyä. (2, s. 81)

Varavoimakonetta hankkiessa tulee nämä vaatimukset määritellä erityisen tarkasti, jotta säätö voidaan toteuttaa vaatimusten mukaisesti. Jotta näihin vaatimuksiin päästään, tarvitsee dieselgeneraattori käynninsäädintä, joka säätää dieselin pyörimisnopeutta kuormituksen muuttuessa sekä jännitteensäätöä, jonka avulla generaattorin tuottama jännite saadaan pysymään vakaana.

#### 4.4 Dieselgeneraattorin käynninsäätö

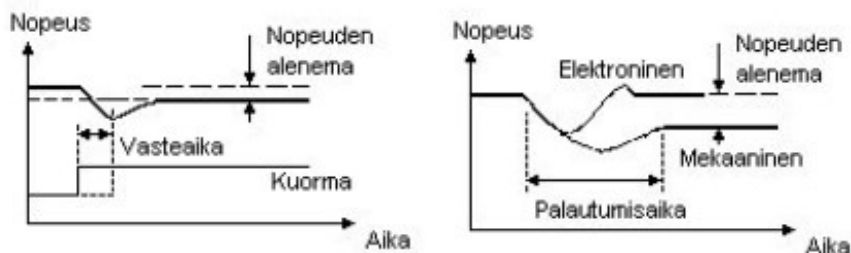
Polttoainejärjestelmään kuuluva käynninsäädin eli kierrosnopeuden säädin voi olla joko mekaaninen, sähköinen tai hydraulinen laite. Säädin säätää kierrosnopeutta tahdistettaessa sekä kuormituksen muuttuessa. Kun generaattorin kuormitusta lisätään, sen kierrosnopeus laskee kunnes sille syötetään enemmän polttoainetta. Polttoaineen syöttöä lisäämällä diesel pystyy tuottamaan suuremman momentin samalla pyörimisnopeudella. Säädin tunnistaa pyörimisnopeuden muutoksen kuorman muuttuessa ja säätää polttoaineensyötön asetteluviipua siten, että pyörimisnopeus pysyisi asetelluissa rajoissa. Näissä rajoissa pysytään usein mekaanisella kierrosnopeuden säätimellä, mutta sähköinen säädin on huomattavasti tarkempi ja sitä käytetään, kun halutaan, että pyörimisnopeus/taajuus palautuu mahdollisimman nopeasti mahdollisimman lähelle vakionopeutta, kuormituksen muuttuessa. Taulukossa 2 on esitetty säätimien ominaisuudet. (7.)

Taulukko 2. Eri kierrosluvunsäätimien ominaisuudet (7).

	Nopeuden vaihtelu	Nopeuden alenema	Suurin hetkellinen nopeudenmuutos
Mekaaninen säädin	±0,5 %	5 %	±15 %
Hydraulinen säädin	±0,25 %	0 %	±7 %
Sähköinen säädin	±0,1 %	0 %	± 5 %

Mekaanisessa kierrosnopeuden säätimessä on otettava huomioon nopeuden alenema, jonka salliminen parantaa säädön joustavuutta. Mekaanisella säätimellä moottorin kierrosnopeus on asetettava niin, että se on tyhjäkäynnillä yli generaattorin tahtinopeuden ja kun kuorma kytketään, se tippuu nopeuden aleneman vuoksi lähelle tahtinopeutta. Sähköisen ja hydraulisen säätimen kanssa nopeuden alenemaa ei yleensä tarvitse huomioida, sillä säädin pyrkii säätämään nopeuden aina aseteltuun nopeuteen. (7.)

Mekaanisessa säätimessä vasteaika on aika, joka kuluu, kun säädin reagoi nopeuden muutokseen. Palautumisaika on kuormanmuutoksesta siihen, että nopeus on asettunut normaalin vaihteluvälinsä sisäpuolelle. Mekaanisessa säätimessä nämä arvot ovat pidempiä kuin sähköisessä ja hydraulisessa säätimessä ja näin ollen sähköinen- ja hydraulinen säätö ovat tarkempia ja nopeampi. Nopeuden käyttäytymisestä on esimerkkejä kuvassa 2. (7.)

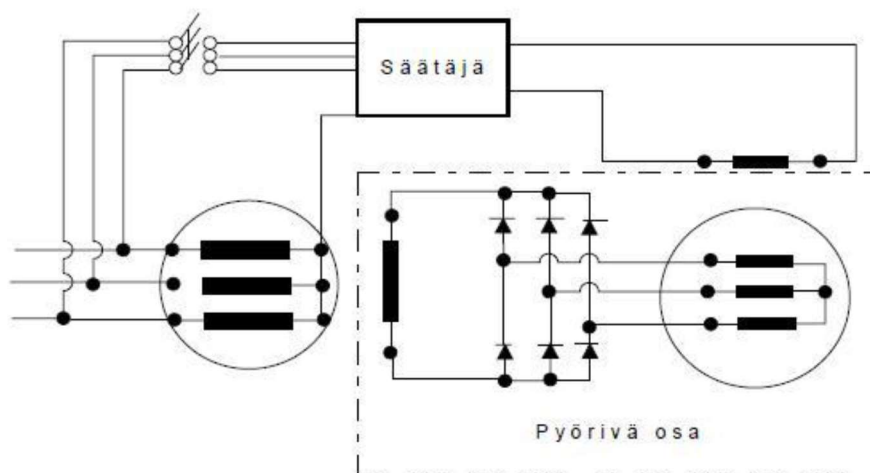


Kuva 2. Kierrosnopeus kuorman muuttuessa (7).

Sähköistä säätöä käytetään sovelluksissa, joissa säädölle asetetaan erityisvaatimuksia ja joihin mekaaninen säätö ei ole riittävä. Sovelluksia, joihin tarvitaan erityistä tarkkuutta sähkön laadun suhteen, kuten tietokoneella ohjattuihin laitteistoihin, viestintälaitteisiin sekä sairaaloissa käytettäviin laitteisiin edellytetään usein vakionopeussäätöä eikä mekaaninen säädin siihen kykene. Vakionopeussäädössä saadaan säädin aseteltua niin, että dieselin nopeuden alenema on nolla ja se pystyy näin tuottamaan vakiotaaajuuden millä tahansa tehoalueeseen kuuluvalla tasaisella kuormalla. (7.)

#### 4.5 Automaattinen jännitteensäätö

Automaattinen jännitteensäädin toimii osana harjattoman tahtigeneraattorin magnetointijärjestelmää. Automaattinen jännitteensäätäjä kytketään päästaattorikäimityksiin ja se säätää magnetointistaattoriin ja edelleen pääroottoriin syötettävää magnetointitehoa (kuva 3). Magnetointitehoa säätämällä säädin pyrkii pitämään generaattorin ulostulojännitteen määriteltyjen rajojen sisällä kompensoiden generaattorin kuorman, nopeuden, lämpötilan ja tehokertoimen vaikutukset. Jännitteensäätäjässä on myös taajuutta mittaava piiri, joka tarkkailee jatkuvasti generaattorin akselinopeutta ja aikaansaa magnetointijärjestelmän alinopeussuojauksen vähentämällä asetellun kynnyksen alapuolella generaattorin ulostulojännitettä suhteessa pyörimisnopeuteen. Kuvassa 3 generaattorin magnetointipiiri, jossa pyörivä osa on roottori.(8)



Kuva 3. Esimerkki generaattorin magnetointipiiristä

#### 4.6 Generaattorin tahdistus

Tahdistus voidaan toteuttaa joko käsin tai automaattisesti automatiikan avulla. Tahdistuksen periaatteena on, että tahdistettavan generaattorin jännite ja taajuus sekä vaihekulma säädetään syötettävän verkon kanssa riittävän lähelle toisiaan. Generaattorin pyörimisnopeutta säädetään säätämällä dieselmoottorin pyörimisnopeus vastaamaan verkon taajuutta polttoaineen syötön avulla ja samalla magnetointia säätämällä generaattorin jännite saadaan vastaamaan verkon jännitettä. Kun tahdistuksen avulla saavutetaan generaattorin ja verkon välillä yhtä suuret arvot ja jännitteiden vaihekulmat ovat samat, voidaan generaattorikatkaisija ohjata kiinni ja kytkeytyä verkkoon. (3, s. 300;8)

Jos generaattoria ei tahdisteta ja se ohjataan verkkoon eri tahdissa, kutsutaan sitä verkkoa päin ajamiseksi. Jos generaattorikatkaisija suljetaan, verkon ja generaattorin taajuuksien ollessa epätahdissa, pyrkii voimakkaampi verkko saamaan generaattorin samaan tahtiin. Varavoimakoneeseen kohdistuu suuri mekaaninen rasitus sekä suuria pyörrevirtoja, joiden vuoksi kone voi pahimmillaan hajota. Normaalisti generaattorin suojat irrottavat generaattorin välittömästi verkosta, jos taajuus-, jännite ja vaihekulmaerot ovat liian suuret. (3.)

Varavoimakoneet ovat useimmiten teollisuusverkoissa automaattisesti tahdistuvia, jolloin suurimpana etuna on, että koekäytöissä varavoimakoneita voidaan ajaa verkon rinnalla, eikä katkoksia tule syötönvaihdossa. Katkoksia ei myöskään tule häiriötilanteista palauduttaessa verkkosyötön perään tapahtuvissa syötönvaihdossa.

Käsitoiminen tahdistus toteutetaan mittaristojen tai merkkilamppujen avulla, joita tarkkailemalla generaattorin jännite ja taajuus säädetään säätimien tai painonappien avulla vastaamaan jakeluverkon arvoja. Lisäsuojana käytetään usein väärän tahdistuksenestolaitetta, jonka avulla varmistetaan, ettei virheellisiä tahdistuksia tapahdu. Estolaitetta käytetään myös automaattisessa tahdistuksessa, jotta väärän tahdistuksen mahdollisuus pieneneisi entisestään.(5;8)

## 5 Varavoimakoneen käyttövarmuus

Varavoimakoneen on tarvittaessa toimittava erittäin luotettavasti, vaikka se seisoo käyntivalmiudessa suurimman osan ajasta. Käyttövarmuus on keskeisin varavoimakoneille asetettava vaatimus. Varavoimakoneiden kunnossapito perustuu ympärivuorokautiseen käynnistys- ja käyntivalmiuden ylläpitämiseen, ei käyntituntimääriin. Tavoitteena on pitää haluttu käyttövarmuustaso mahdollisimman pienin kustannuksin. Varavoimakoneiden kunnossapidossa jatkuvuus ja ennakointi ovat välttämättömiä. Varavoimakoneet tulee liittää kiinteistön tai tuotantolaitoksen kunnossapitosuunnitelmaan, jotta kunnossapito olisi järjestelmällistä. Vikoja kuitenkin ilmenee, vaikka niihin varauduttaisiinkin.(1;2.)

### 5.1 Luotettavuus ja käyttövarmuus

Varavoimaverkon käyttövarmuus määräytyy oikean laatuisten sähkön saatavuuden ja luotettavuuden mukaan. Käyttövarmuuden parantamista ovat kaikki toimenpiteet, joilla sähkön saatavuutta parannetaan. Varavoimanverkon käyttövarmuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat:

- verkkosyöttö
- varavoimalaitos apujärjestelmineen
- varmennetun verkon rakenne ja kuormien ominaisuudet
- sähkön laadulle asetettavat vaatimukset ja sallitut poikkeamat
- huolto ja ylläpito. (2, s. 29)

Käyttövarmuudelle asetettavat vaatimukset muodostuvat sen mukaan, mitä vahinkoja aiheutuu jos toiminta keskeytyy. Syntyvien vahinkojen määrä verrattuna investointeihin kuvaa käyttövarmuustasoa. Varmennettavat kohteet voidaan jakaa seuraaviin käyttövarmuusluokkiin:



1. aiheuttaa erittäin suuren vahingon investointiin verrattuna
2. aiheuttaa suuren vahingon investointiin verrattuna
3. aiheuttaa kohtuullisen vahingon investointiin verrattuna. (2, s. 29.)

Varavoimakoneelle asetettava käytettävyyssluku on kerroin, jolla kerrotaan koko vuoden tunnit. Tämä aika varavoimakoneen on oltava käynnistysvalmiina. Käytettävyysslukua pienentää viallisuus sekä määräaikaishuoltoihin kulunut aika. Takuuajana luokan yksi laitteistolle asetetaan käytettävyyssluku 0,995, joka tarkoittaa, että varavoimakoneen on oltava käynnistysvalmiudessa 8176 tuntia vuoden aikana. Luotettavuuskertoimeen vaikuttaa seuraavat asiat:

- laitteistojen ikä
- varavoimakoneen luotettavuus
- apujärjestelmien luotettavuus
- laitoksen hoitajan ammattitaito vikatilanteissa
- huollon ja varaosien saatavuus. (2, s. 77.)

## 5.2 Varavoimakoneen vastuuhenkilö ja koekäyttö

Käyttövarmuuden säilymisen kannalta on tarpeellista, että varavoimakoneistolle nimitetään riittävän pätevyyden omaava vastuuhenkilö, joka on saanut asianmukaisen opastuksen tehtävään. Koneistonhoitajan tulee tietää tarkkaan varavoimakoneiston toiminta-periaate, pääkomponentit ja -järjestelmät sekä käyttötoimenpiteet. Varavoimakoneiston hoitajan tehtäviin kuuluu säännöllinen koekäyttö vähintään kerran kuukaudessa, josta kirjataan tulokset koekäyttöpäiväkirjaan. Koekäyttö on käyttövarmuuden ylläpidon kannalta erityisen tärkeää. Se, että koekäytöllä varmistetaan, että laite toimii oikein ja on silmämääräisesti kunnossa, on ensisijaista koekäytössä. Koska dieselmoottori on esilämmitettynä valmiustilassa suurimman osan ajasta, pystytään säännöllisellä koekäytöllä estämään moottorin kuivuminen moottorin öljyjen päästessä liikkumaan. Koekäyttö suositellaan tehtäväksi täydellä kuormalla vähintään kerran vuodessa, jonka yhteydessä

olisi hyvä tehdä myös sähkönlaadun mittaus. Sähkön laatumittauksessa mitataan jännitteen yleisimpiä suureita ja yliaaltoja. (2, s. 146,148.)

Varavoimakoneiston hoitajan on ilmoitettava puutteista ja vioista välittömästi, jotta ne voidaan korjata. Koneen kuntoon on puututtava, jos se vaikuttaa siltä, että sen komponentit tai laitteistot alkavat ikääntymään, jotta voidaan varautua laitteistojen uusimiseen ennen kuin on liian myöhäistä. Joten ennakointi on kaikessa toiminnassa erityisen tärkeää kun kyseessä on tärkeimpien laitteistojen sähkön saannin turvaava laitteisto. (2, s. 146)

### 5.3 Vikaantumiseen johtavat syyt

Varavoimakone ei kulu käytössä, vaan syöpyy ja haurastuu käyttökelvottomaan kuntoon. Sähköiset osat ikääntyvät sähköisiltä ominaisuuksiltaan, eikä niiden tekniikka täytä muuttuvia määräyksiä. (9.)

Vikaantuminen voi johtua monesta eri syystä, mutta yleisimmin se johtuu kunnossapidon puutteellisuudesta. Varavoimakone vikaantuu korroosion ja kosteuden aiheuttamien vikojen seurauksena. Varavoimakone on suurimman osan ajasta valmiustilassa, jonka seurauksena öljyt sekä muut nesteet evät pääse liikkumaan moottorin sisällä, jolloin korrosio sekä sylinteriputkien kuivuminen ovat yleinen ongelma dieselmootoreissa. Niitä voidaan ehkäistä esivoitelupumpun avulla, mutta myös tehtäessä säännöllinen koe-käyttö riittävän lyhyin väliajoin riittää liikuttamaan öljyjä moottorin sisällä. Laitteiston nesteet ja tiivisteet on vaihdettava säännöllisesti, jotta moottori ja generaattori selviävät äkillisistä kuormituksista sekä käynnistyksen aiheuttamista lämpörasituksista vaurioitumatta. (9.)

### 5.4 Yleisimmät viat

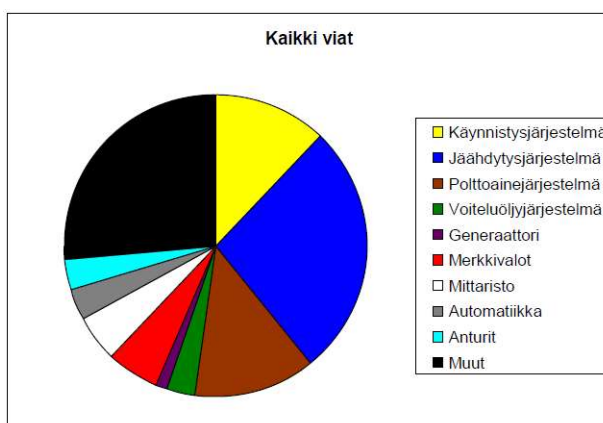
Varavoimakoneen tyypillisimpien vikojen tutkittaessa on käytetty lähteenä insinööriyönä tehtyä tukimusta, jossa yleisimmät viat on kasattu 156 varavoimakoneen huoltohistoriasta. Varavoimakoneen tehot tutkimuksessa olivat välillä 50 – 800 kW, joista yleisimmät olivat 50 – 250 kW. Huoltohistoriassa on mukana vuosina 2002 – 2007 kaikkiaan 349 huoltokäyntiä ja yhteensä 442 vikaa. Tutkimuksessa on todettu, että varavoimakoneen

teholla ei ole juurikaan merkitystä, sillä yleisimmin vikaantuvat komponentit ovat samoja kaikissa teholuokissa. (9.)

Vikoja tutkittaessa voidaan viat jakaa vaarallisiin ja vaarattomiin vikoihin. Vaarallisia vikoja ovat varavoimakoneen käynnistyksen estävät, pysäyttävät ja vääränlaisen toiminnan aiheuttavat viat. Vaaralliset viat täytyy korjata mahdollisimman pian, jotta laitteiston luotettavuus säilyy halutulla tasolla. Tällaisia vikoja ovat muun muassa käynnistysjärjestelmiin liittyvät viat, jäähdytysjärjestelmien vuodot, automatiikkaan liittyvät viat sekä katkaisijoiden vioittumiset. Vaarallisia vikoja oli tutkimuksen mukaan 221 kappaletta 442 viasta. (9.)

Vaarattomista vioista ei ole välitöntä haittaa varavoimakoneen toiminnalle tai verkon käyttäjille, mutta ne ovat kuitenkin selkeitä vikoja. Viat saattavat vaikeuttaa varavoimakoneen käyttöä, kuten esimerkiksi vioittuneet mittaristot tai merkkivalot. (9.)

Yleisimpiä vikojen aiheuttajia olivat tutkimuksen mukaan akustot, jäähdytysnesteletkut ja esilämmittimet. Näiden vikojen osuus oli kokonaisuudessaan yli 25 prosenttia. Toiseksi yleisimpiä vikojen aiheuttajia olivat merkkivalojen, mittaristojen ja polttoainejärjestelmien vikaantumiset, joiden osuus on lähes 16 prosenttia. Muita yleisiä vikoja olivat jäähdytysjärjestelmien, termostaattien, antureiden, automatiikkojen, akkulaturien, jäähdytysvesipumppujen ja polttoaineletkujen vikaantumiset sekä öljyvuodot. Kuvassa 4 on esitetty eri järjestelmien osuudet kaikista vioista. (9.)



Kuva 4. Vikapaikat tutkimuksessa (9).

Eniten varavoimakoneen vikaantumisia aiheuttavat jäähdytys- ja käynnistysjärjestelmät sekä ohjauskaapin kojeet (9).

Jäähdytysjärjestelmässä yleisimmin havaittu vika on jäähdytysvesiletkujen mekaaninen kunto. Toinen jäähdytysjärjestelmässä paljon havaittu vika on moottorin termostaatti, joka säätelee moottorin käyntilämpötilaa. Molemmat viat johtavat moottorin pysähtymiseen ylikuumenemisen vuoksi. (9.)

Käynnistysjärjestelmän yleisin vikapaikka on käynnistysakusto. Yleisimmät syyt akuston kunnan heikentymiseen ovat ikääntyminen, latauslaitteiston toiminnan puutteellisuus ja akkuhuollon laiminlyönti. (9)

Ohjauskaapin kojeista useimmiten vikaantuvat mittaristot ja merkkivalot, joiden vikaantumisen syynä on komponenttien ikääntyminen. Viat eivät sinällään vaikuta laitteiston toimintaan, mutta ne vaikeuttavat laitteen käyttöä. (9.)

Yleisimpiin vikoihin tulee kiinnittää entistä parempaa huomiota kunnossapidon suunnittelussa. Kaikki yleisimmän viat ovat melko pieniä, mutta niistä joka toinen on laitoksen pysäyttävä tai käynnistyksen estävä vika. (9.)

## 5.5 Huolto ja kunnossapito

Säännöllisesti suoritettuna huollot lisäävät huomattavasti dieselgeneraattorin käyttövarmuutta. Määräaikaishuollot on suositeltavaa suorittaa kerran vuodessa riippumatta käytötunneista. Huolloissa tulee käydä läpi yleisimmin vikautuvia osia ja laitteita. Kulutusaiheet ja -osat kuten öljyt, jäähdytysnesteet ja suodattimet sekä letkut tulee vaihtaa jos siihen on tarvetta. (2, s. 149.)

## 5.6 Varavoimakoneen osauudistukset

Varavoimakoneen käyttövarmuutta voidaan parantaa osittaisuudistuksin. Osauudistuksien avulla laitteistolle saadaan lisää käyttöikää sekä uudistamiskustannuksia pystytään jakamaan pidemmälle aikavälille. Osauudistuksia ovat esimerkiksi seuraavat kokonaisuudet, joita laitteistolle voidaan suorittaa:

1. Ohjausjärjestelmän uusiminen. Uusimisen syynä on usein sähkömekaanisten komponenttien ikääntyminen ja varaosien saatavuus sekä valvonnan muuttuneet tarpeet.
2. Akuston ja latauslaitteiden uusiminen. Syinä voi olla akuston tyypin muuttaminen, jolloin latauslaitteen lataustapa ja jännite on säädettävä sopivaksi uudelle akustolle. Pelkän latauslaitteen uusimiselle syynä ovat ikääntyminen ja puutteelliset säätömahdollisuudet.
3. Polttoainesäiliöiden uusiminen. Säiliöiden kokoa joudetaan kasvattamaan kun halutaan pidempi miehittämätön käyntiaika. Lisäksi polttoainesäiliöiden varustus, kuten pinnanmittaukset ja hälytykset käyvät ikääntyessään epäluotettaviksi.
4. Moottorin esilämmittimen uusinta. Uusinnalla ehkäistään liian korkeaa moottorin lämmitystä lisäämällä lämmitykseen termostaattiohjaus.
5. Jäähdytysjärjestelmän uusiminen. Järjestelmän vesiventtiilien ajoittainen uusiminen ehkäisee niiden kiinnitakertumista. Jäähdytysjärjestelmän peltien ohjaus on hyvä uusien ohjausjärjestelmän uusimisen yhteydessä.
6. Moottorin ja generaattorin uusiminen. Pelkkä generaattoripaketti voidaan uusien, jos automatiikka on uusittu aikaisemmin. (9.)

## 6 Salmisaaren varavoimaverkon tarkastelu

Salmisaaren B-voimalaitoksella on kaksi samanlaista varavoimakoneistoa 0EY01 ja 1EY01, joiden näennäistehot ovat 420 kVA. Laitteistot ovat vuodelta 1983. Dieselmootoreille ja generaattoreille on tehty isompi huolto 2008 sekä vuosihuoltojen yhteydessä suunnitellut määräaikaishuollot. Varavoimakoneita koekäytetään kerran kuussa ja niistä kirjataan ylös havainnot koekäyttöpäiväkirjaan.

### 6.1 Varavoimaverkon rakenne

Varavoimakoneiden tehtävänä on varmentaa laitoksen varmennettua verkkoa, jonka varavoimapääkeskuksia (VVPK) ovat 1EV ja 0EV. Liitteessä 1 on esitetty varavoimakoneiston pääkaavio sekä piirikaavioita. Varavoimapäakeskusten jännitetaso on 400 voltia ja niitä syötetään normaalisti varmentamattomien pääkeskuksen 1CA ja 0CM kautta. Varmentamattomat pääkeskukset saavat syöttönsä 6kV keskukselta 1BA ja 0BL muuntajan kautta. Kuvassa 5 on esitetty Salmisaaren voimalaitoksen jännitetasot.



Kuva 5. Voimalaitoksen jännitetasot

Liitteessä 2 on esitetty koko voimalaitoksen pääkaavio, josta nähdään, että voimalaitoksen sähköjärjestelmä on jaettu kahteen osaan. Laitoksen omakäyttösähköt ovat 0-puolella ja 1-puolella ovat prosessiin liittyvät sähkölaitteet. Molemmat puolet saavat verkkosyöttönsä 110 kV linjasta. Laitoksen sisäisessä verkossa on paljon varasyöttö mahdollisuuksia, mahdollisten jännitehäiriöiden varalle. Varavoimapäakeskukset 0EV ja 1EV on myös mahdollista yhdistää, mutta yhden varavoimakoneen kapasiteetti ei riitä syöttämään molempia keskuksia yhtä aikaa. Varavoima-automatiikka ei ohjaa yhdistäviä katkaisijoita, mutta katkaisijoiden tilatiedot on nähtävillä varavoimakoneiden ohjausjärjestelmissä.

## 6.2 Varmennettavia laitteistoja

Varavoimapääkeskuksesta syötettyjen laitteistojen avulla saadaan laitos ajettua turvallisesti pois tuotannosta sekä mahdollisesti nopeutetaan sen takaisin tuotantoon saamista. Taloudelliset menetykset on pyritty minimoimaan sekä henkilönturvallisuutta ylläpitämään.

Tärkeitä laitteistoja ovat tasasuuntaajat, jotka lataavat akustoja. Akustoista saa syöttönsä kaikki voimalaitoksen automaatiolaitteet sekä kaikkien pääkeskusten ohjauslaitteet. Lisäksi akustoista sähkönsä saavat häiriötilanteissa UPS-järjestelmän laitteet, jotka normaalisti syötetään suoraan pääkeskuksesta sekä pääkeskusten katkaisijoiden viritysmoottorit. Tärkeimpinä laitteina mainittakoon akustoista syöttönsä saava hätäöljypumput.

Tärkeimpiä varavoimapääkeskuksesta suoraan syötetyistä laitteista ovat turbiinin pyörittäyslaitte ja kevennysöljypumppu, joiden avulla turbiinia pyöritetään, kun laitos ei ole tuotannossa. Jos turbiinia ei pyöritettäisi, se vääntyisi oman massansa vuoksi. Muita tärkeitä laitteita ovat erilaiset sulkuventtiilit, höyryventtiilit ja öljypumput, joiden avulla varmistetaan, että laitos saadaan turvallisesti pois tuotannosta.

## 6.3 Toiminta

Varavoimalaitosten 0EX/1EX-ohjausautomaatiikat valvovat kokoajan EV-varavoimapääkeskusten verkkosyöttöjä. Kun automatiikka toteaa häiriön 1EV-keskuksen verkkosyötössä, varavoimakone käynnistyy automaattisesti. Automatiikka ohjaa verkkokatkaisijan 1EV03-Q00 auki ja generaattorikatkaisijan 1EV01-Q00 kiinni ja varavoimakone alkaa syöttää varavoimapääkeskusta. Liitteessä 1 Varavoimakoneen pääkaavio, jossa on esitetty varavoimapääkeskukset, verkkosyöttö sekä katkaisijat.

Verkkohäiriöstä palattaessa, automatiikka huomaa että jännite on normaali antaa se tiedon valvomoon. Koneisto ei pysähdy automaattisesti vaan palautus verkkosyötölle täytyy tehdä käsin varavoimakoneen ohjausautomaatiikasta 1EX01. Ohjaustavan valintakytkin käännetään asentoon käsin, jonka jälkeen painetaan automatiikasta verkkosyöttöpainiketta. Automatiikka tahdistaa verkot ja ohjaa verkkokatkaisijan 1EV03-Q00 kiinni ja

generaattorikatkaisijan 1EV01-Q00 auki. Kun saavutetaan normaalitila, voidaan ohjauskytkin kääntää automaatti asentoon ja koneisto hoitaa automaattisesti jälkikäytön ja sammuttaa varavoimakoneen valmiustilaan seuraavaa verkkohäiriötä varten.

Salmisaaren voimalaitoksella jännitehäiriön jälkeinen syötönvaihto tapahtuu poikkeuksellisesti käsiohjauksella. Tällä varmistutaan siitä, että verkko on vakavoitunut ja syöttö voidaan vaihtaa hallitusti verkkosyötölle.

#### 6.4 Syöttöhäiriöt salmisaaren voimalaitoksella

Salmisaaren voimalaitoksella ei ole tapahtunut kovin montaa dieselvaravoimakoneen käynnistymiseen johtanutta syöttöhäiriötä. Häiriöitä on arviolta noin kerran kahdessa vuodessa. Varavoimapääkeskus saa syöttönsä kuvan 5 mukaisten jännitetasojen kautta joissa on välissä muuntaja. Mahdollisia vikapaikkoja matkalla on monia. Yleisimpiä häiriöiden syitä ei juuri ole sillä häiriöt tapahtuu monien sattumien seurauksina. Alla on esimerkki tapaus joka johti dieselvaravoimakoneen käynnistymiseen. Esimerkin kulkua voi seurata liitteen 2 pääkaaviosta.

Laitoksen 6kV pääkatkaisija 1BA01 ohjautui auki ylikuorman johdosta kun kaksi suurta syöttövesipumppua käynnistyi samaan aikaan. Tämän seurauksena laitos kytkeytyi irti tuotannosta, kun noin puolet sähköistä meni poikki mukaan lukien varavoimapääkeskus 1EV. Varavoima-automaatiikan huomattua sähkökatkon, dieselvaravoimakone 1EY01 käynnistyi ja ohjasi verkkokatkaisijan auki sekä generaattorikatkaisijan kiinni ja alkoi syöttää varavoimaverkkoa. Tähän aikaa kului sähkökatkosta alle 10 sekuntia. Varavoimakone oli toiminnassa noin kaksi tuntia, jonka aikana selvitettiin vaurioita. Kun mitään vaurioita ei 6 kV järjestelmässä havaittu, kytkettiin sähköt takaisin päälle. Varavoimapääkeskus palautettiin varavoima-automaatiikasta takaisin verkkosyötölle. (11.)



## 7 Varavoimakone 1EY/0EY

### 7.1 Moottori

Moottorit ovat Daimler-Benz merkkiä 12 sylinterisiä, turboahdettuja, vesijäähdytteisiä, nelitahtidieselmootteita, jotka toimivat suorasuihkutusperiaatteella. Käynnistysmoottori on sijoitettu moottorin vasemmalle puolelle, josta löytyy myös öljypohjaan johtava mittatikku. Käynnistysakusto on sijoitettu aivan moottorin viereen käynnistysmoottorin läheisyyteen. Moottorin etupäähän on sijoitettu jäähdytysvesipumppu ja latausgeneraattori, jotka saavat käyttövoimansa kiilahihnojen välityksellä. Ruiskutuspumppu ja imuilmaputket on sijoitettu moottorin keskikohtaan. Kuvassa 6 on esitetty 1EY varavoimakoneen dieselmoottori.



Kuva 6. 1EY01 varavoimakoneen dieselmoottori

- Teho 342 kW
- Sylinteriluku V12
- Polttoaineen syöttö suorasuihkutus
- Nimellisyörimisnopeus 2107 rpm

Dieselmoottorin käynninsäätö eli kierrosluvunsäätö on toteutettu mekaanisella säätimellä. Servomoottori ohjaa dieselmoottorin kierrostensäätövipua kuormituksen muuttuessa. Kierrostensäätövipua käännettäessä ruiskutuspumpun sisällä oleva polttoaineen säädin ohjaa polttoaineen syöttöä. Servomoottori on kytketty tahdistusautomaatiikkaan, joka säätää kierrosnopeutta tahdistustilanteessa. Kuvassa 7 mekaaninen käynninsäätö (alempi) sekä pysäytysmagneetti (ylempi), jonka avulla moottori saadaan sammutettua.



Kuva 7. Mekaaninen käynninsäädin

## 7.2 Generaattori

Generaattoreina on käytössä kolmivaiheiset Hitzinger SGS 665/4KR sisänapatahti-generaattorit, joiden teho on 420kVA. Siinä on sisäänrakennettu kolmivaiheinen herätinkone, pyörivä tasasuuntaaja sekä automaattinen tyristorisäädin eli jännitteensäädin, joka on asennettu herätinkoneen runkoon.

Magnetoitu roottori indusoi generaattorijännitteen staattorikäämiin. Roottoria syöttää ulkonapaherätinkone pyörivien tasasuuntaajien kautta. Herätinkoneen avulla saadaan tarvittava tasavirta apukäämistä tyristorisäätimen kautta. Jännitteensäätimenä generaattorissa toimiva tyristorisäädin mittaa generaattorijännitettä verkkojännitettä U:n ja V:n välillä ja vertaa sitä jatkuvasti asetteluarvoon. Magnetointivirta asettuu kulloisenkin kuormituksen mukaan siten, että generaattorin jännite pysyy vakiona. Jännitteensäädin on sijoitettu kuvassa 8 generaattorin rungossa näkyvän luukun alle.



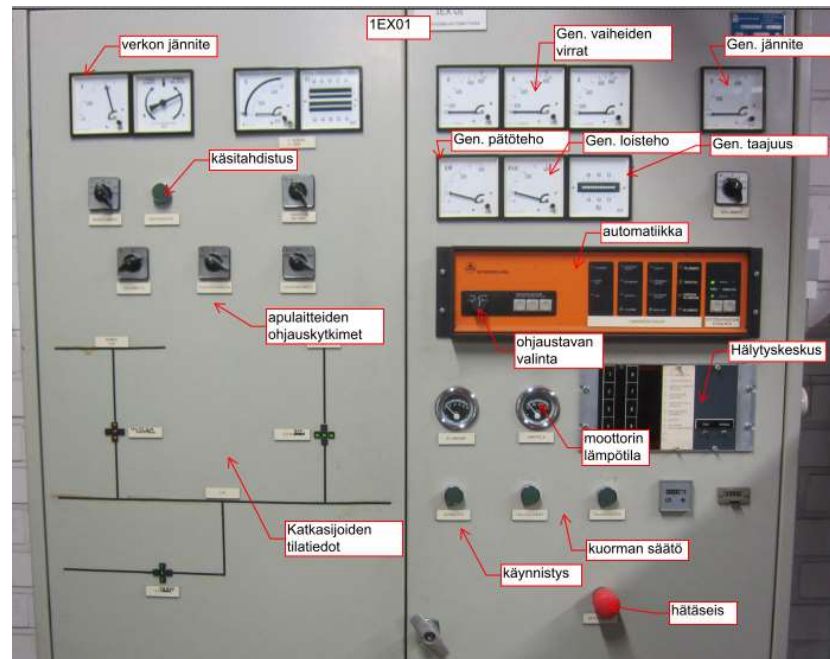
Kuva 8. Generaattori

Generaattorin tärkeimpiä teknisiä tietoja ovat:

- Merkki Hitzinger
- Malli SGS 665 / 4KR
- Nimellisjännite  $U_n$  400 / 230 V
- Nimellisvirta  $I_n$  606 A
- Taajuus  $f$  50 Hz
- Teho 420kVA / 336kW
- Tehokerroin  $\cos \varphi = 0,80(\text{ind})$
- Pyörimisnopeus  $n_n$  1500 r/min
- Pyörimisnopeus max 1800 r/min
- Kotelointiluokka IP21

### 7.3 Ohjaus- ja valvontakojeisto

Ohjaus- ja valvontakojeistot 1EX/0EX koostuvat automatiikkayksiköstä, suojalaitteista, tahdistusautomatiikasta, omakäyttösulakkeista, ohjaussulakkeista, hälytyslaitteistosta sekä laitteiston käsiohjaukseen tarvittavista mittaristoista ja kytkimistä. Kuvassa 9 on esitetty 1EY-varavoimakoneen ohjaus- ja valvontakojeisto 1EX.



Kuva 9. Ohjaus- ja valvontakojeisto

Liitteessä 1 on varavoimalaitoksen 1EY pääpiiriin sekä ohjaukseen liittyvät piirikaaviot. Liitteen ensimmäisellä sivulla on esitetty kuva generaattorin pääpiiriin mittauksista ja suo-  
jauksista. Kuvassa näkyy automaattinen tahdistin, jonka tunnus on A03. Tahdistin vertaa suoraan generaattorin ja syöttöverkon jännitteitä ja ohjaa käynninsäädintä tahdistuksen aikana. Generaattorin suojusta K2 on ylikuormitussuoja, K3 on oikosulkusuoja ja K4 on jännitteenvälvontarele. Lisäksi nollavirralla on oma ylivirtarele K1. Liitteen 1 toisella si-  
vulla on esitetty dieselmootorin ohjauspiirit. Kuvasta nähdään automatiikkayksikkö A01, joka ohjaa moottorin toimintaa. Käynninsäätimen servomoottori, joka ohjaa polttoaineen-  
syöttöä näkyy oikeassa alakulmassa. Kuvien viitteitä seuraamalla voi tarkastella kojei-  
den toimintaa kovalta kuvalla. Molempien laitosten kuvat ovat samanlaisia joten liitteissä on esitetty vain 1EY-varavoimlaitoksen kuvia.

## 7.4 Apujärjestelmät

1EY/0EY varavoimakoneistoissa on normaalien apujärjestelmien lisäksi vaihteen öljypumppu sekä vaihteen jäähdytyspuhallin. Nämä apulaitteet eivät ole kovin yleisiä varavoimakäytöissä, sillä yleensä koneikko pyritään tekemään ilman vaihdetta. Normaaaleja varavoimakoneiston apujärjestelmiä ovat seuraavat järjestelmät.

**Polttoainejärjestelmä**, johon kuuluu 800 litran käyttösäiliö sekä kaksi 7190 litran varastosäiliötä. Lisäksi järjestelmään kuuluu kaikki normaalit laitteet polttoaineen palautusjärjestelmineen. Polttoainetta kuluu täydellä kuormalla ajettaessa yli 100 litraa tunnissa. Kuvassa 10 varastosäiliöt.



Kuva 10. Polttoainesäiliöt

**Käynnistysjärjestelmään** kuuluu kuvan 11 akusto, joka on kytketty käynnistysmoottoriin. Ylläpitovaraaja varaa akustoa, kun varavoimakone seisoo. Käynnin aikana akustoa lataa dieselmoottoriin kytketty laturi. Lisäksi akustosta otetaan suoraan ohjausjännite ohjaus- ja valvontakaappiin. Akuston nimellisjännite on 24 V, joka muodostuu kokonaisuudesta, jossa on kaksi rinnan kytkettyä, kahden sarjaan kytketyn 12 V akuston yhdistelmää. Akustokokonaisuuden kapasiteetti on 184 Ah.



Kuva 11. Käynnistysakusto

### 7.5 Varavoimakoneen suojaus ja valvonta

Vanhoissa järjestelmissä generaattorin suojauksessa käytössä on vielä vanhoja suoja-releitä, jolloin jokaiseen suojaustoimintoon tarvitaan aina erillinen suoja. Automatiikkayksiköiden kehityksen myötä ei enää tarvita erillisiä releitä. 1EX- ja 0EX-ohjauskeskusten valvonnoissa käytössä on kuvan 12 suojarleetit. Kuvassa on oikosulkusuoja, takateho-suoja ja ylijännitesuoja.



Kuva 12. Suojareleitä

Laitteistosta on myös paljon mittauksia, joista tiedot menevät automatiikalle. Automatiikkaan asetellaan rajat mittauksille, jotta se antaa hälytyksen, kun mittaukset eivät pysy

rajojen sisäpuolella. Dieselmoottorin mittauksista suurin osa on lämpötilamittauksia, jotka valvovat ettei moottori ylikuumene. Liitteen 1 sivulta 2 nähdään varavoimakoneen suojaukseen liittyvät piirit ja sivulta 4 hälytyspiirit sekä taloautomaatioon liitetyt hälytykset.

## **8 1EY/0EY käyttövarmuuden parantaminen**

Koska varavoimalaitoksilla on ikää yli 30 vuotta, on niiden tekniikka ikääntynyt, eikä kaikkiin osajärjestelmiin ole saatavilla varaosia. Tämän vuoksi varavoimalaitosten käytettävyyttä on laskenut. Varavoimalaitosten tekniikkaan on tehtävä parannuksia, jotta laitteiston luotettavuutta saataisiin nostettua. Ensiksi on hyvä selvittää varaosien saatavuus sekä laitteet ja kojeet, joiden käyttöikä on täynnä. Varaosien saatavuus on ensisijaisen tärkeää sillä, kun joku kriittinen osa menee rikki, eikä siihen saada varaosaa joudutaan tekemään nopeasti ratkaisuja, jolloin hyvälle suunnittelulle ei jää tarpeeksi aikaa ja luotettavuus laskee. Lisäksi varavoimakoneen toimimattomuus voi johtaa suuriin taloudellisiin menetyksiin sekä pahimmassa tapauksessa ihmishenkien menetykseen.

Varavoimakoneen käyttövarmuus tulee olla sillä tasolla, että se on jatkuvassa käynnistysvalmiudessa ympäri vuoden, voimalaitoksen vuosihuoltoja lukuun ottamatta. Voimalaitoksen vuosihuoltojen aikana ei laitos ole tuotannossa, joten silloin voidaan varavoimalaitokseen toteuttaa suunnitellut huollot ilman, että ne vaarantavat voimalaitoksen turvallisuutta.

### **8.1 Dieselgeneraattorin huolto**

Kun dieselgeneraattorin kuntoa aletaan arvioida, on tarkasteltava mitä vikoja laitteistoissa on vuosien varrella ollut ja mitä varaosia siihen on hankittu. Varavoimakoneen käyttövarmuus perustuu jatkuvaan käyntivalmiuden ylläpitoon. Laitteiston viat pystyttävä ennakoimaan eikä odottaa, että jotain hajoaa. Kunnan arviointi olisi hyvä suorittaa riittävän usein, jotta pysytään ajan tasalla laitteiston kunnosta.

Salmisaaren voimalaitoksen varavoimakoneille on tehty määräajoin perushuoltoja, joiden lisäksi dieselgeneraattorit on huollettu perusteellisesti vuonna 2008. Huollossa yhteydessä moottorit ja generaattorit irrotettiin alustasta ja vietiin kunnostettaviksi huollon suorittaneen yrityksen tiloihin. Korjauksessa tehtiin seuraavat toimenpiteet:

- Moottorin kampiakselin ja kiertokankien särötarkastukset
- Ruiskutuspumpan ja säätimen peruskorjaus ja säädön tarkastus
- Ahtimien peruskorjaus sekä roottorien tasapainotus
- Moottorin paikkamaalaus
- alustan tärinävaimennuskumien uusinta
- Vaihteen öljyjen vaihto
- Generaattorin laakereiden rasvaus

Normaaleina huoltotöinä on varavoimakoneistoon tehty kunnossapitotöinä mm. seuraavia töitä:

- Jäähdytysnesteiden vaihto säännöllisesti kahden vuoden välein
- Jäähdytysjärjestelmän letkujen vian korjaus
- Jäähdytysjärjestelmän peltien moottorit on vaihdettu
- Moottorin esilämmitysvastusvian korjaus
- Käynnistysakusto on uusittu viiden vuoden välein
- Automaattisen tahdistuksen vian korjaus
- kierrosluvunsäädön servomoottorivian korjaus

Tarkastelusta selviää että varavoimalaitokselle on tehty huoltoja määräajoin. Eikä selvityksestä ilmennyt mitään erityistä varavoimakoneen toimintaa vaarantavaa vikapaikkaa.



## 8.2 Varaosien saatavuus

Varaosia selvitettiin moottorin, generaattorin ja ohjausjärjestelmien osalta. Sellaisia kohteita, joihin varaosia ei ole saatavilla, tulisi tässä kohtaa mieltiä uusittaviksi.

Tieto dieselmoottorin varaosien saatavuudesta saatiin Mercedes-Benzin huolloista vastaavalta yritykseltä, josta saatiin moottorin sarjanumeron perusteella varaosaluettelo osista, joita heidän kautta saa tilattua. Moottoriin on ainakin saatavilla vesipumppu, käynnistysmoottori, latausgeneraattori, polttoainesuodattimet sekä öljynsuodatin. Nämä ovat sellaisia osia, joita vaaditaan ainakin saataviksi, jotta voidaan todeta, että moottorin käyttövarmuus on vielä halutulla tasolla.

Ohjausjärjestelmään varaosia selvittäessä selvisi, että vanhaan automatiikkayksikköön (kuva 13) ei enää valmisteta eikä siihen ole saatavilla mitään varaosia. Muut ohjausjärjestelmän osat on korvattavissa, joko uudemmalla mallilla tai vastaavalla varaosalla. Automatiikkayksikön ikääntyminen on yleisin syy ohjausjärjestelmän modernisoinneille. Ohjausautomatiikka on kehittynyt niin paljon, että ei ole järkevää vaihtaa vain automatiikkayksikköä. Releet ja muut kojeet, jotka vanhassa vielä toimii, ovat edullisia ja niiden uusiminen automatiikanyhteydessä on järkevää.



Kuva 13. Vanha automatiikkayksikkö

Lisäksi selvitettiin, onko generaattoriin saatavilla jännitteensäätimelle varaosaa. Hitzinger ilmoitti, että varaosa on siihenkin saatavana ja se pystytään tilaamaan heidän huollon kautta.

### 8.3 Varavoimakoneen järjestelmien arviointi

Varavoimakoneiden kunnon arviointi tehtiin yhteistyössä laitetoimittajien kanssa. Toimittajien edustajien kokemuksen pohjalta käytiin yhdessä läpi varavoimankoneen kaikkien osajärjestelmien kunto sekä koneistojen uusimiseen liittyviä muita seikkoja.

Automatiikkaan ei ole saatavilla varaosia ja se on vanhentunutta tekniikkaa, mutta moottoriin on saatavilla varaosia. Laitetoimittajien mielestään ohjausjärjestelmän uusiminen olisi paras vaihtoehto. Koko koneikon uusiminen ei ole välttämätöntä, sillä se toimii moitteettomasti ja siihen on saatavana varaosia. Jos jälkeempään ilmenee, että dieselgeneraattoripaketti ei kestä tai sen käyttövarmuus romahtaa, ei uusinta aiheuta huomattavia lisäkustannuksia siihen nähden, että koko koneisto uusittaisiin kerralla. Uusittu ohjaus- ja valvontajärjestelmä pystytään sovittamaan myös uuteen dieselgeneraattoripakettiin, jos sellainen joudutaan tulevaisuudessa hankkimaan. Moottoriin ja generaattoriin liittyvistä laitteistoista toimittajat suosittelivat uusimaan dieselin kierrosluvunsäätimen sekä generaattorin jännitteensäätimen, jotka tulisi vaihtaa ohjausjärjestelmän uusimisen yhteydessä.

Kierrosluvunsäätimen tilalle toimittaja ehdotti sähköistä kierrosluvunsäädintä, jolla päästään huomattavasti tarkempaan ja nopeampaan säätöön kuin mekaanisella säätimellä.

Jännitteensäädin on alkuperäinen, joten laitetoimittajat ehdottivat sen uusimista ohjausjärjestelmän uusimisen yhteydessä. Vanhan jännitteensäätimen sähköiset ominaisuudet ovat ikääntyneet ja näin ollen sen kunto arveluttaa. Jännitteensäätimen tilalle asennettaisiin varaosa, joka tulisi vanhan tilalle. Jännitteensäätimen saatavuus selvitettiin suoraan valmistajan huollosta.

Käynnistysjärjestelmästä ehdotettiin uusittavaksi akuston varaajaa. Ikääntymisen johdosta se alentaa käyttövarmuutta ja käynnistysjärjestelmä on yksi kriittisimmistä paikoista varavoimakoneissa. Akkuja ei tarvitsisi uusia, sillä ne on uusittu viimeksi vuonna 2013 ja ST-käsikirjan 31 mukaan suositeltu akkujen uusimisväli on viisi vuotta. Uusi varaaja sovitettaisiin uuteen ohjaus- ja valvontakaappiin.

Antureiden ja mittausten sekä kaapeloinnin uusinta ovat myös asioita, joita toimittajat suosittelivat tehtäväksi. Antureiden uusinnalla parannettaisiin luotettavuutta, sillä kaikki ovat alkuperäisiä. Kaapeleiden uusinta varavoimakoneen ja ohjausjärjestelmän välillä

olisi järkevää ohjausjärjestelmä uusinnan yhteydessä, koska tällä poistetaan mahdolliset kaapelien eristevaurioista johtuvat viat. Kaapeloinnin uusintatyö ei tulisi olemaan iso, sillä kaapelin vedot varavoimakoneelta ohjauskaappiin ovat vain muutaman metrin.

#### 8.4 Uusinnassa huomioitavaa laitteistoista

Kuten aikaisemmin kerrottiin, on varavoimalaitoksiin mahdollista tehdä parannuksia eri osajärjestelmiin, joiden avulla saadaan lisättyä käyttövarmuutta. Salmisaaren varavoimakoneiston ohjausjärjestelmän uusiminen on vaihtoehto, jolla käyttövarmuutta saataisiin parannettua.

Kokonaan uuden koneiston hankinta on myös vaihtoehto jota tarkastellaan, jotta saataisiin kuva siitä, mitä uuden koneiston hankinta maksaa verrattuna ohjausjärjestelmän uusintaan. Selvitetään molempien vaihtoehtojen hintatiedot päätöksenteon tueksi.

Automatiikkaa uusiessa lähtökohta on se että varavoimalaitos toimii niin kuin vanhakin laitos, jos se on toimivaksi järjestelmäksi todettu. Kuitenkin tulee miettiä mitä parannuksia on saatavilla uudella tekniikalla. Automatiikka yksikön näytöltä nähdään myös kaikki mittaukset, (kuva 14) joita tarvitaan, jolloin välttämättä erillisiä analogimittareita ei tarvittaisi ollenkaan. Usein kuitenkin halutaan tärkeimmät mittarit myös analogisina, jotta niitä voidaan helposti seurata varavoimakoneen käynnin aikana. Mittarit ovat myös välttämättömiä jos halutaan ”hätäkäyttö”, jolloin ohjausautomatiikka ohitetaan ja varavoimakonetta ajetaan käsiajolla. Kuvassa 14, nähdään erään valmistajan ohjausyksikkö jossa mittaukset näkyvät ruudulla.



Kuva 14. Erään valmistajan automatiikan ohjauspaneeli

Automatiikkayksikkövaihtoehtoja on markkinoilla muutamia, mutta ne ovat kaikki suhteellisen samankaltaisia ominaisuuksiltaan ja kaikilla pystytään toteuttamaan varavoimailaitoksen automaattinen ohjaus. Suurimpina kriteereinä on käytettävyys ja käyttövarmuus.

Ohjausautomaatiikan uusinnan yhteydessä uusittavien säätölaitteiden vuoksi on sähkön laadulle asetettava vaatimukset tekniseen erittelyyn, jotta varavoimakoneen käynti saadaan säädettyä vaatimusten mukaiseksi. Sähkön laadun vaatimukset löytyvät taulukosta 1, sivulta 20.

## 8.5 Hankinta

Kuten edellä selvitettiin, on suositeltavaa uusia varavoimakoneen käyttövarmuutta alentavat laitteistot. Ohjausjärjestelmän sekä antureiden ja säätölaitteiden uusinnalla päästään halutulle käyttövarmuustasolle sekä laitoksen käyttöikää saataisiin jatkettua.

Ennen hankintaa, laitteistot on määriteltävä teknisessä erittelyssä, jossa kerrotaan tarkasti mitä laitteita halutaan ja miten niiden halutaan toimivan. Tekninen erittely lisätään hankintaohjelman liitteeksi. Hankintaohjelmassa on kaikki työhön liittyvät kuvaukset tavaran toimittamisesta asentamiseen, käyttöönottoon, dokumentointiin ja luovutukseen. Hankintaohjelmassa on myös määritelty tarkkaan hankintaa koskevat kaupalliset ehdot, takuuasiat ja sopimukseen liittyvät asiat.

Tekniseen erittelyyn tulee määrittää mahdollisimman tarkasti kaikki laitteistot, jotta toimittajien tarjoukset eivät eroa sisällöltään ja saadaan mahdollisimman tarkat tarjoukset. Määrittelyjä tehtäessä voidaan käyttää esimerkiksi ST-käsikirjan 31 mukaisia määrittelyjä laitteistoista, joihin pitää tarkentaa kaikki ne kohdat joihin tulee kiinnittää huomiota. Teknisen erittelyn määrittelyssä lähtökohtana on se että varavoimakone toimii kuten vanhakin laitos. Tekniseen erittelyyn vaaditaan ohjauskeskuksen osalta ainakin seuraavat määrittelyt:

- ohjausyksikön vaatimukset
- käyttötavat
- analogiset mittarit

- mittaukset ja valvonnat
- suojaukset ja hälytykset
- sähkön laatu vaatimukset
- akuston verkkovaraaja
- toimitukseen liittyvät muut huoltotoimenpiteet
- käyttöönottoon liittyvät tarpeet
- käytön opastus

## 8.6 Kustannukset

Arviointien perusteella saatiin tehtyä alustavia budjettitarjouskyselyitä siitä, mitä laitteistojen uusinta tulisi maksamaan. Kyselyitä tehtiin muutamalle varavoimakonetoimittajalle. Kyselyihin haluttiin lisätä ohjauskeskuksen ja oheislaitteiden lisäksi koko varavoimakoneen hankintaa koskeva kysely. Tarjouksia saatiin kaksi kappaletta, jotka olivat hyvin lähellä toisiaan. Budjettitarjous ei sido kumpaakaan osapuolta mihinkään, sillä se on vain suuntaa antava kysely. Varsinaisessa tarjouskyselyssä kaikki kohdat tulee olla tarkasti määriteltyjä.

Tarkoituksena oli vertailla kuinka paljon maksaa ohjausjärjestelmän uusiminen suhteessa kokovaravoimakoneen hankintaan. Perustiedoilla tehdyn kyselyn mukaan saatiin kuva siitä, mitä laitteistot maksaa. Vanhan dieselgeneraattorin modernisointi maksaisi noin kolmanneksen koko varavoimakoneiston uusimiseen nähden. Tarjouksen yhteydessä eräs toimittaja arvioi työhön kuluvaan aikaa joka esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Erään toimittajan aikatauluarvio

Työ	Aika-arvio
projektin suunnittelu	40 tunti
1EY-koneen ohjauskeskuksen purku	16 tuntia
1EY uuden ohjauskeskuksen asennus	16 tuntia
1EY varavoimakoneen testaus	8 tuntia
0EY-koneen ohjauskeskuksen purku	16 tuntia
0EY uuden ohjauskeskuksen asennus	16 tuntia
0EY varavoimakoneen testaus	8 tuntia
yhteensä (suunnittelu+työ)	40 + 80 tuntia

Toimittaja myös suunnittelee uuden ohjauskeskuksen tilaajan määrittelyjen mukaiseksi. Suunnittelutyölle toimittaja on arvioinut noin viisi päivää. Uusien ohjauskeskusten vaihtotyöhön menisi arvion mukaan yli kymmenen päivää.

Uuden laitteiston asennustyössä on huomioitava, että varavoimakone ei ole toiminnassa kun ohjausjärjestelmää uusitaan, niinpä on mietittävä että, tarvitaanko väliaikainen varavoimakone varmentamaan verkkoa. Salmisaaren voimalaitoksessa on vuosihoollon takia seisakki kesällä 2016, jolloin työ olisi mahdollista toteuttaa ilman, että väliaikaista varavoimaa tarvittaisiin. (8.)

## 9 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli perehtyä varavoimaan tarpeeseen sekä varavoimakoneen toimintaan. Varavoimaa käytetään varmentamaan kiinteistöjen tärkeimpien laitteistojen sähkön syöttö verkkohäiriöiden aikana. Varavoimaa käytettäessä on taustalla lähes aina turvallisuuteen liittyvät tai taloudelliset näkökohdat.

Varavoimansyöttö voidaan toteuttaa, joko keskitetysti tai hajautetusti. Keskitetty toteutus on usein teknistaloudellisesti kannattavampaa, koska siinä panostetaan suurempiin laitteistoihin sekä huolto voidaan myös keskittää. Hajautettu ratkaisu antaa mahdollisuuden varmentaa eri järjestelmiä eritasoisesti.

Varavoimaverkkoon kuuluu lähes aina dieselgeneraattori, joka on osa varavoimalaitosta. Varavoimalaitos koostuu yleisimmin dieselmoottorista, tahtigeneraattorista ja ohjausjärjestelmästä sekä apujärjestelmistä. Ohjausjärjestelmän tärkein osa on automatiikkayksikkö, jonka avulla suoritetaan varavoimalaitoksen automaattinen ohjaus.

Varavoimalaitoksen käyttötavat eroavat toisistaan, niiden verkkoon liittymisominaisuuksien mukaan. Peruskäyttö on saarekekäyttötapa, jossa varavoimaverkko erottautuu aina omaksi saarekkeekseen, jolloin syötönvaihto tilanteissa tapahtuu pieni katkos. Muissa käyttötavoissa varavoimalaitos toimii joiltain osin jakeluverkon rinnalla. Jakeluverkon rinnalla toimivat laitokset tulee olla automaattisesti tahdistavia.

Varavoimalaitoksen kunnossapito perustuu jatkuvaan käyntivalmiuden ylläpitoon. Käyttövarmuustason on valittava sen mukaan kuinka suuren osan ajasta varavoimalaitos tulee olla käyntivalmiudessa. Salmisaaren voimalaitoksella varavoimakoneiden tulee olla käynti valmiudessa voimalaitoksen vuosihuoltoa lukuun ottamatta ympäri vuoden. Vuosihuollon seisakin aikana pystytään suorittamaan tarvittavat huoltotoimenpiteet.

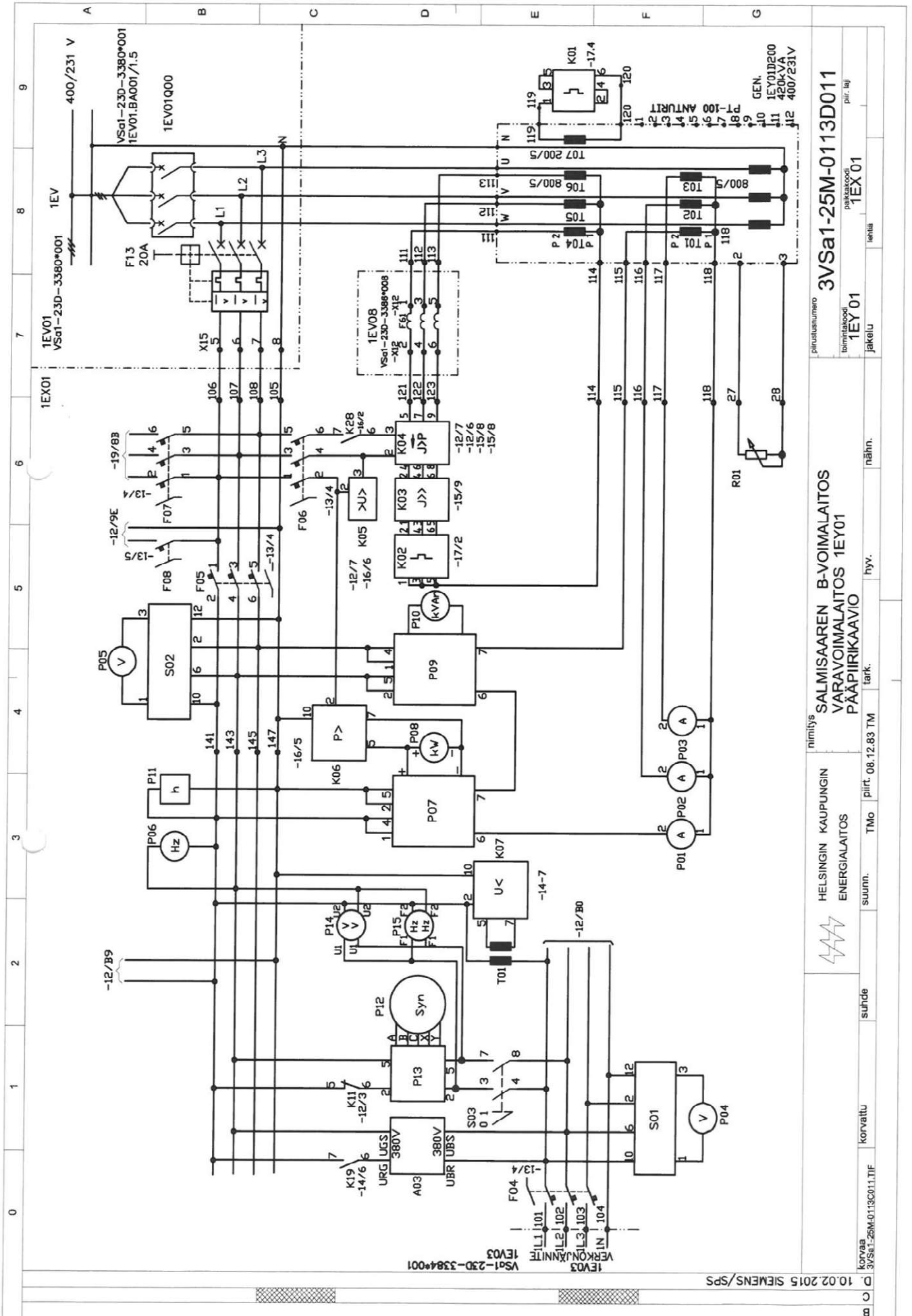
Salmisaaren voimalaitoksen varavoimakoneiden ohjausjärjestelmän automatiikkayksikköön ei ole saatavilla enää varaosia ja sen tekniikka on vanhentunut. Ohjausjärjestelmän uusiminen olisi kannattavaa, sillä. Ohjausjärjestelmän lisäksi varavoimalaitoksiin tulisi uusia jännitteensäädin ja kierrosnopeudensäädin sekä tarvittavat anturit. Työn tuloksena saatiin varavoimalaitosten käyttövarmuutta parantavien laitteistojen uusinnalle pohja, josta on hyvä jatkaa projektin eteenpäin viemistä.

## Lähteet

- 1 Hakanen, Pertti (päätoim.). 2005. Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät, ST-käsikirja 20. Espoo: Sähkötieto ry.
- 2 Hakanen, Pertti (päätoim.). 2013. Varavoimalaitokset, ST-käsikirja 31. Espoo: Sähkötieto ry.
- 3 Huhtinen, Markku. Korhonen, Risto. Pimiä, Tuomo. Urpalainen, Samu. 2011. Voimalaitostekniikka. Tampere: Opetushallitus.
- 4 Ansaharju, Tapani. 2009. Koneenasennus ja kunnossapito. Helsinki: WSOY opetusmateriaalit.
- 5 Hietalahti, Lauri. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Vantaa: Amk-kustannus Oy Tammertekniikka.
- 6 Ohje generaattorin liittamisestä jakeluverkkoon. Verkkodokumentti. Helen Sähkoverkko Oy. <<http://www.helen.fi/globalassets/suunnittelijat-ja-urakoitsijat/hsv/hsv-yleista-laitteiston-liittaminen-su40309pdf>>. luettu 12.10.2015.
- 7 Dieselgeneraattorin käynninsäätö. Verkkodokumentti. Medifast-Tekniikka Ky. <<http://www.medifast-tekniikka.fi/artikkelit/arti006.htm>>. luettu 20.10.2015.
- 8 FinGen suunnitteluopas. 2010. Verkkodokumentti. Fingrid Oy. <<http://suunnittelu.htm>>. luettu 25.9.2015.
- 9 Torri, Janne. 2008. Varavoimakoneiden vikaantuminen ja luotettavuuden parantaminen. Insinööriyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
- 10 Varavoimakoneen kunnossapito. Verkkodokumentti. Medifast-Tekniikka Ky. <<http://www.medifast-tekniikka.fi/artikkelit/arti005.htm>>. Luettu 15.10.2015.
- 11 Voimalaitoksen häiriöraportti 2/14. Helen Oy. Helsinki. Luettu 5.11.2015
- 12 Hitzinger SGS 665 generaattorin ohjekirja.
- 13 Nurmi, Marko. 2015. Toimitusjohtaja, kW-set Oy, Nuppulinna. Sähköpostikeskustelu. 15.10.2015.







korvaa 3Vsa1-25M-0113C01.1.FE	korvattu	suhde	suunn.	TMo	piirt.	08.12.83 TM	tark.	hyv.	nähh.	laatu	pakettivoodi 1EX 01	piir. laji
nimiyys <b>SALMISAAREN B-VOIMALAITOS</b> <b>VARAVOIMALAITOS 1EY01</b> <b>PÄÄPIIRIKAAVIO</b>												
piirustusanumero <b>3Vsa1-25M-0113D011</b>												
toimintatila <b>1EX 01</b>												

