



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# VARAVOIMAVARMENNETUN TEOLLISUUS- VERKON KEHITTÄMISSUUNNITELMA

Juho Kauppi

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2017  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka

KAUPPI, JUHO:

Varavoimavarmennetun teollisuusverkon kehittämissuunnitelma

Opinnäytetyö 56 sivua, joista liitteitä 4 sivua  
Toukokuu 2017

---

Kemira Chemicals Oy:n Äetsän tehtaalla on sattunut aiempina vuosina sähkökatkoja, jotka ovat aiheuttaneet suuria tuotannollisia menetyksiä. Henkilö- ja laitevahinkojen välttämiseksi tehtaalla on kolme varavoimalaitosta, jotka turvaavat sähkön syötön varavoimaverkkoon sähkökatkon aikana. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä suunnitelma Kemira Chemicals Oy:n Äetsän tehtaan varavoimavarmennetun sähköverkon kehittämiseksi.

Varavoimaverkon kuormitustehot mitattiin todellisessa käyttötilanteessa, koska kuormitustehot eivät olleet tiedossa. Mittaustulosten perusteella laadittiin aineisto, jossa esiteltiin varavoimaverkon nykyiset kuormitustehot sekä laajennustarpeet. Laajennustarpeita ja kuormitustehoja verrattiin varavoimalaitosten nimellisiin tehoihin, minkä perusteella tehtiin toimenpide-ehdotukset varavoimaverkon kehittämiseksi. Tämän lisäksi tarkasteltiin varavoimaverkon sähkön laatua ja laadittiin suunnitelman kustannuslaskelma.

Nykyiseen verkkoon ei pystytä suoraan liittämään kaikkia suunniteltuja laajennustarpeita, koska varavoimalaitosten nimelliset tehot eivät riitä. Varavoimaverkon kuormitukset tulee priorisoida tai kehittää järjestelmä, jolla estetään varavoimalaitosten ylikuormittuminen. Yksi varavoimalaitos tulisi uusiksi kokonaan. Jotta suunnitellut laajennustarpeet saadaan osaksi varavoimaverkkoa, tulee nykyisiä varavoimakeskuksia laajentaa sekä liittää uusia keskuksia osaksi varavoimaverkkoa.

---

avainsanat: varavoimaverkko, varavoimalaitos

## ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences  
Electrical Engineering  
Option of Electrical Power Engineering

KAUPPI JUHO:  
Development plan for emergency power network

Bachelor's thesis 56 pages, appendices 4 pages  
May 2017

---

There have been blackouts in Kemira Chemicals Oy's Äetsä's site earlier years, which have caused huge productional losses. For avoiding the personnel- and machinery damages, the site has three reserve power plants which secure the electricity to the reserve power network during the blackout. The goal of this Bachelor's thesis was to make a development plan for Äetsä's site's reserve power network.

The loads of the reserve power network were measured in real situation because loads were not in knowledge. Based on the results material was formed, which determined reserve power network's loads and expansions. The expansions and loads were compared to the reserve power plants' nominal powers. As a result of the comparison, proposals were made to develop the reserve power network. Furthermore, an inspection for the reserve power network's electricity quality and an expanse calculation for the plan was made

Planned expansions cannot connect directly to the current reserve power network, because reserve power plants' nominal powers aren't sufficient. The loads of reserve power network must be prioritized or develop a system what prevents overloading the reserve power plants. One of the power plants should be renew entirely. The planned expansions are possible to connect to reserve power network if current switchboards are expanded and new boards are connected as part of the reserve power network.

---

Key words: reserve power network, reserve power plant

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	VARAVOIMAVARMENNETTU TEOLLISUUSVERKKO .....	8
	2.1 Teollisuusverkko.....	8
	2.2 Teollisuusverkon rakennetyypit.....	8
	2.3 Varavoimavarmennettu verkko .....	11
	2.3.1 Verkon rakenne .....	11
	2.3.2 Käyttövarmuus .....	13
3	VARAVOIMALAITOS .....	14
	3.1 Tahtigeneraattori ja voimakone .....	14
	3.1.1 Toiminta .....	15
	3.1.2 Magnetointi .....	16
	3.1.3 Tahtigeneraattorin matemaattinen mallinnus .....	17
	3.2 Varavoimalaitoksen mitoitus .....	19
	3.3 Varavoimalaitoksen sähkönlaatu .....	21
	3.3.1 Epälineaarinen kuormitus .....	21
	3.3.2 Tehokertoimet .....	22
	3.4 Varavoimalaitoksen apujärjestelmät.....	23
	3.5 Käytettävyyysluku .....	24
	3.6 UPS-laitteet.....	25
4	ÄETSÄN TEHTAAN VARAVOIMAVERKKO .....	27
	4.1 Kemira Chemicals Oy .....	27
	4.2 Äetsän tehtaan sähköverkko .....	29
	4.3 Varavoimavarmennettu verkko .....	29
5	VARAVOIMAVERKON KEHITYSSUUNNITTELU.....	35
	5.1 Varavoimalaitoksen DGI-1 verkko.....	36
	5.1.1 Verkon analyysi.....	36
	5.1.2 Kehityssuunnitelma .....	38
	5.2 Varavoimalaitoksen DGII-2 verkko.....	42
	5.2.1 Verkon analyysi.....	42
	5.2.2 Kehityssuunnitelma .....	44
	5.3 Varavoimalaitoksen DG4-11 verkko .....	46
	5.3.1 Verkon analyysi.....	46
	5.3.2 Kehityssuunnitelma .....	47
6	KUSTANNUSLASKELMA .....	48
7	KEHITYSSUUNNITELMAN YHTEENVETO .....	50
	LÄHTEET .....	52

LIITTEET.....	53
Liite 1. Pääkaavio ison varavoimakoneikon liittämistavaksi. ....	53
Liite 2. Dieselgeneraattori DGI-1:n pääkaavio. ....	54
Liite 3. Dieselgeneraattori DG4-11:n pääkaavio. ....	55
Liite 4. ABB:n 63A pistorasiakeskuksen tekniset tiedot. ....	56

**LYHENTEET JA TERMIT**

DGI-1	Tehtaan T1, -TIV-1 ja -TIV-2 varavoimalaitos
DGII-2	Tehtaan TII, -TIII-2 ja -TIII-3 varavoimalaitos
DG4-11	Tehtaan TIII-4 varavoimalaitos
DPF	Perustaaajuksen pätötehon ja näennäistehon suhde
PF	Kokonaispätötehon ja kokonaisnäennäistehon suhde
TI	Vesikemikaalitehdas
TII	Varastorakennuksena toimiva vanha tehdasrakennus
TIII-2	2. Natriumkloraattitehdas
TIII-3	3. Natriumkloraattitehdas
TIII-4	4. Natriumkloraattitehdas
TIV-1	SBH-liuostehdas
TIV-2	SBH-pulveritehdas
TIV-3	Märkälujatehdas
UPS	Uninterruptible Power Supply

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa kehityssuunnitelma Kemira Chemicals Oy:n Äetsän tehtaan varavoimavarmennetulle verkolle, sekä arvioida kustannuslaskelman muodossa kehittämissuunnitelman toteutumiseen vaadittavan investoinnin suuruus. Kemira Chemicals Oy:n Äetsän tehdas toimii Sastamalassa. Se tuottaa kemikaaleja paperi- ja selluteollisuuden tarpeisiin.

Äetsän tehtaalla on sattunut aikaisemmin sähkökatkoja, mitkä aiheuttavat tehtaan tuotantoprosessien keskeytymisen. Keskeneräiset kemikaalit jäävät prosesseihin ja aiheuttavat vahinkoa prosessilaitteille, sekä vaaratilanteen koko tehtaalle. Tehtaalla on kolme varvoimalaitosta, jotka turvaavat sähkön saannin varavoimavarmennettuun verkkoon sähkökatkon aikana. Varavoimaverkon turvin tehdas pystytään ajamaan alas vahinkojen välttämiseksi. Aiempien sähkökatkojen perusteella on löytynyt tarpeita laajentaa ja kehittää varavoimaverkkoa, jotta suurilta vahingoilta vältyttäisiin sähkökatkon aikana.

Opinnäytetyö aloitetaan mittaamalla Äetsän tehtaan varavoimavarmennetun verkon nykyinen kuormitusteho ja sähkön laatu. Mittaustulosten perusteella laaditaan aineisto, jota verrataan varavoimaverkon laajennustarpeisiin. Opinnäytetyö ottaa kantaa muun muassa varvoimalaitosten varvoimageneraattorien tehon riittävyteen, laajennetun verkon rakenteisiin, vinokuormitukseen, sekä epälineaariseen kuormitukseen.

Lopuksi kehityssuunnitelmalle laaditaan kustannuslaskelma, jossa käydään läpi kehityssuunnitelman toteuttamisen hintaa. Kustannuslaskelma sisältää suunnitelmassa ilmi käyvät laite- ja keskussaneeraukset, sekä työstä aiheutuvat kustannukset. Lopullisiin kustannuksiin lisätään mahdolliset riskit, sekä kustannusnousuvaraukset materiaalihankinnoille.

## 2 VARAVOIMAVARMENNETTU TEOLLISUUSVERKKO

Varavoimavarmennetun verkon tarkoituksena on turvata sähkösaanti sähkökatkon tai muun hätätilanteen aikana. Varavoimalähteet vaihtelevat pienistä UPS-järjestelmistä suuriin dieselgeneraattoreihin. Teollisuuslaitoksissa käytetään usein molempia vaihtoehtoja, jotta kriittiset kuormat pystytään pitämään katkotta käynnissä. Varavoimavarmennettavan verkon rakenne riippuu teollisuusverkon rakenteesta, sekä varmennettavasta kuormasta.

### 2.1 Teollisuusverkko

Puhuttaessa teollisuusverkosta, tarkoitetaan sillä yksittäisen tehtaan tai teollisuuslaitoksen sähköverkkoa. Teollisuusverkolle on tyypillistä suuri tehonkulutus pienellä maantieteellisellä alueella ja lyhyet jakeluetäisyydet. Suuri tehonkulutus taas vaatii vahvan liitännän jakeluverkkoon, sekä suuritehoiset muuntajat. Teollisuusverkon liityntä toteutetaankin yleiseen sähköverkkoon tyypillisesti 110 kV tai 20 kV jännitetasossa, jotta suuri teho pystytään siirtämään. Korkea syöttöjännite lasketaan teollisuuslaitoksen päämuuntajilla teollisuusverkon jakeluun sopivaksi, tyypillisesti 20 kV, 10 kV tai 6 kV. (Hietalahti 2013, 6.)

Teollisuusverkko käsittää tyypillisesti erilaisia käyttöjakelujärjestelmiä, kuten prosessijakelua, valaistus- ja huoltosähköverkkoa, sekä erilaisia apusähköjärjestelmiä. Teollisuusverkossa voi olla useita eri jännitetasoja riippuen prosessien kuormalaiteista. Teollisuuslaitoksen ympäristö ja prosessit määrittelevät teollisuusverkon rakenteet ja jännite-  
tasot. (Hietalahti 2013, 6.)

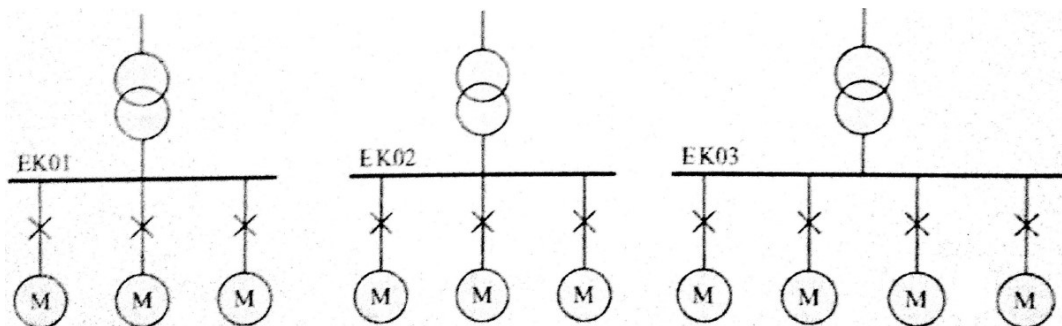
### 2.2 Teollisuusverkon rakennetyypit

Teollisuusverkossa käytetään säteittäistä jakeluverkkoa. Säteittäisessä verkossa on helppompaa rajoittaa oikosulkuvirtoja, sekä järjestää verkon suojaus ja varmistaa suojauksen selektiivisyys. Teollisuusverkko voidaan rakentaa myös silmukoidusti, jolloin verkko on varmempi käyttää. Tämä on tyypillinen ratkaisu teollisuusverkossa, jonka jatkuva syöttö on haluttu varmistaa varavoimageneraattorilla. (Hietalahti 2013, 6.)



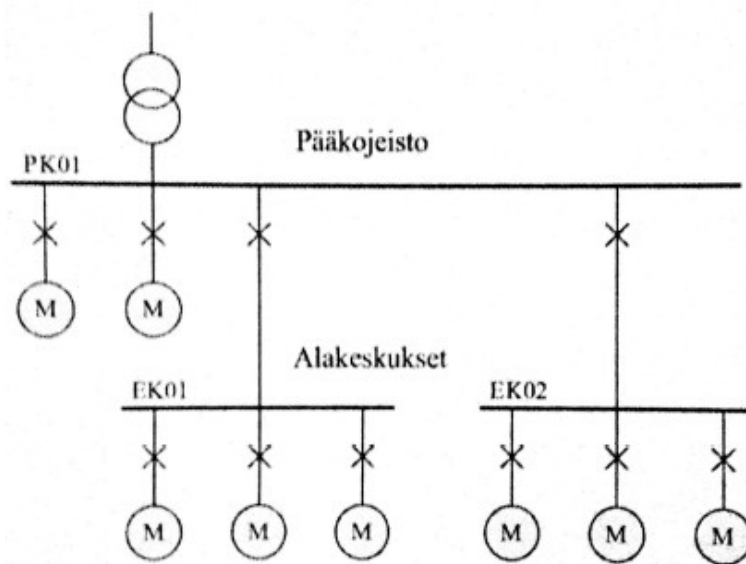
Sähkönjakelun toteutus teollisuusverkossa voidaan rakenteiden perusteella jakaa kolmeen päätyyppiin: keskitettyyn-, porrastettuun- ja hajautettuun jakeluun. Käytännössä sähkönjakelu toteutetaan kahden tai useamman päätyypin yhdistelmällä. Teollisuusverkon päätyyppi riippuu teollisuuslaitoksen rakenteista, jännitetasoista, kuormalaitteista ja verkon olosuhteista. (Hietalahti 2013, 11.)

Keskitetyssä jakelussa kaikki verkon lähdöt on keskitetty pääkeskuksiin kuvan 1 mukaisesti. Tämä vaatii verkon komponenteilta suurta oikosulkukestävyyttä. Tämän lisäksi ongelmaksi muodostuvat keskitetyssä jakelussa keskusten syöttämälle prosessille koituvat häiriöt. Keskitetyn jakelun etuina on yksinkertainen verkon rakenne ja kojeistot voivat sijaita yhdessä sähkötilassa. Tämä vähentää sähkötilojen määrää ja laskee verkon kustannuksia. (Hietalahti 2013, 11.)



KUVA 1. Keskitetty jännitteen jakelu. (Hietalahti 2013, 12.)

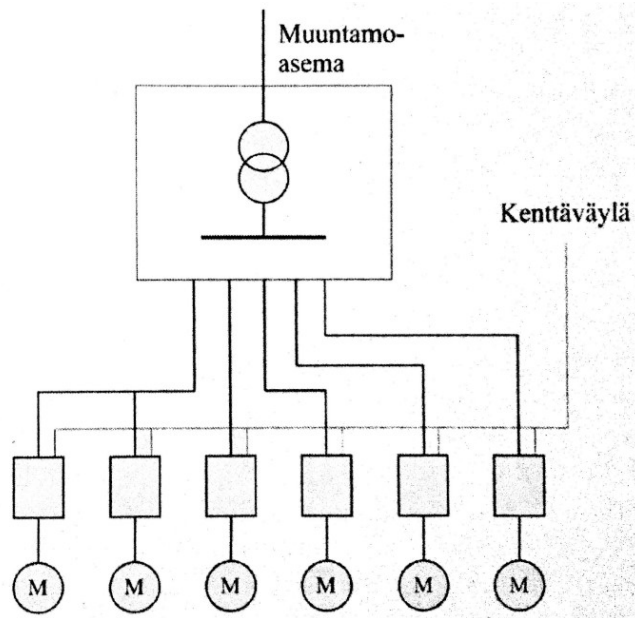
Porrastetun sähkönjakelun tyypillisin tunnusmerkki on pääkeskus-alakeskus jakelujärjestelmä. Sähköteho tuodaan suuren jännitetason pääkeskuksiin, kuten 20 kV – tai 10 kV pääkeskukseen. Pääkeskuksen kojeistojen takana on yksi tai useampi alakeskus. Pääkeskuksilta sähköteho viedään jakeluportaalte muuntajan kautta, missä jännitetaso lasketaan pienjänniteverkolle sopivaksi. Tyypillisesti yhden kojeiston takana on yksi muuntaja ja yksi alakeskus. Muuntaja voidaan kuitenkin mitoittaa tarpeeksi suureksi, jolloin alakeskuksia voi olla kyseisellä lähdöllä useampia kuvan 2 mukaisesti. (Hietalahti 2013, 12.)



KUVA 2. Porrastettu jännitteen jakelu. (Hietalahti 2013, 12.)

Porrastettu jakelu mahdollistaa oikosulkuvirtojen rajoittamisen alakeskukseen, jolloin verkon komponenttien mitoitus voidaan tehdä pienempien virtojen mukaan. Suuritehoiset kuormalaitteet on mahdollista liittää suoraan pääkojeistoon kuvan 2 mukaisesti. Porrastetun jakelun etuina on myös erilaisten kuormalähtöjen ryhmittely. Alakeskukset voi mitoitaa eri tehoisiksi ja alakeskukset on mahdollista sijoittaa lähemmäs prosesseja ja kuormalaitteita, jolloin pienjänniteverkon jakeluetäisyydet jäävät lyhyiksi. Näin voidaan optimoida kaapelipituuksia ja tehdä verkosta luotettavampi. (Hietalahti 2013, 12.)

Hajautetun jakelun periaatteena on sijoittaa sähkökäyttöjen ohjauslaitteet moottoreiden läheisyyteen kuvan 3 mukaisesti. Itse sähkönjakelu toteutetaan tehdasmuuntamoilla. Tehdasmuuntamot ovat standardiratkaisuja, jotka tekevät siitä edullisen. Lisäksi hajautetussa järjestelmissä käytetään kenttäväyläohjausta ja pienitehoisia ohjainlaitteita pystytään kettjuttamaan samoilla syöttökaapeleilla. (Hietalahti 2013, 13.)



KUVA 3. Hajautettu jännitteen jakelu. (Hietalahti 2013, 13.)

## 2.3 Varavoimavarmennettu verkko

### 2.3.1 Verkon rakenne

Varavoimavarmennetun verkon tärkeimpiä ominaisuuksia on yksinkertainen rakenne. Varmennetun verkon suunnittelussa onkin tärkeää pitää verkko yksinkertaisena. Tällöin verkkoa on helppo hallita ja tarvittavat huollot pystytään tekemään aiheuttamatta ylimääräisiä käyttöhäiriöitä. Teollisuusverkot, jotka sisältävät muuntajia, UPS-laitteistoja ja varavoimageneraattoreita, ovat haastavia kohteita suunniteltaessa varmennettua verkkoa. Usean eri osa-alueen sovittaminen yhteen luotettavasti ja turvallisesti järjestelmäksi luo omat haasteensa.

Varavoimalaitosta pystytään harvoin taloudellisista syistä mitoittamaan niin suureksi, että se kattaisi varmennettavan verkon koko kapasiteetin. Tällöin kuormat tulee jakaa kahteen eri ryhmään: varmentamattomat ja varavoimavarmennetut. Sähköverkonhaltija päättää, miten jaottelu toteutetaan, mutta jaottelu riippuu pitkälti tehtaan prosesseista. (Sähkötietyö ry 2013, 31.)

Jossain tapauksissa varmennetut kuormat on ryhmitelty kahteen tai useampaan alaryhmään kuorman ominaisuuksien tai sallitun katkosajan mukaan. Tämä kuitenkin monimutkaistaa varmennetun verkon rakennetta, sekä saattaa heikentää varavoimajärjestelmän

luotettavuutta. Alaryhmittelyllä saavutetaan kuitenkin taloudellisia etuja. Jos varavoimaa tarvitaan vain hetkeksi aikaa esimerkiksi tuotantolinjan tyhjentämiseen, voidaan tämä prosessi ajaa aluksi varavoimalla. Tyhjentämisen jälkeen voidaan ajaa toinen tuotantolinja alas. Näin toimien varavoimalaitos voidaan mitoittaa huomattavasti pienemällä teholla, joka puolestaan laskee varavoimaverkon rakentamisesta koituvia kustannuksia. Käyttövarmuuden turvaamiseksi on kuitenkin suositeltavaa hankkia riittävän suuri varavoimageneraattori, jolla on tehokapasiteettiä turvaamaan koko varavoimaverkon toiminnot, sekä kasvuvaraa tulevaisuuden laajennuksia varten. (Sähkötieto ry 2013, 31.)

Varavoimavarmennetun verkon sähköteho sähkökatkon aikana saadaan varavoimalaitoksen varavoimageneraattorista. Varavoimageneraattori alkaa käynnistyessään syöttää sähkötehoa sen omaan jakokeskukseen. Varavoimageneraattorin omasta keskuksesta sähköteho siirtyy kaapelien välityksellä varmennettuihin keskuksiin. Varavoimageneraattorit voivat käydä rinnan ja syöttää saman keskuksen kiskostoa, mikäli rinnankäyntiehdot täyttyvät. Varavoimageneraattorit voivat muodostaa myös erillisiä varavoimaverkkoja, jotka eivät ole galvaanisesti yhteydessä toisiinsa sähkökatkon aikana.

Varavoimalaitoksen automaatio voidaan toteuttaa usealla eri tavalla, mutta kaikissa on sama periaate. Liitteessä 1 on esitetty esimerkki varavoimalaitoksen liittämisestä osaksi varavoimavarmennettua verkkoa. Normaalisissa tilanteissa varavoimaverkon syöttö tapahtuu verkkovirralla. Varavoimaverkon pääkeskukseen on kytketty verkkojännitettunnustelija. Verkkojännitteen tunnustelija mittaa verkon jännitetasoa, ja verkkojännitteen mennessä asetellun rajan alle tai hävitessä kokonaan, varavoimalaitoksen dieselgeneraattori käynnistyy. Tällöin varavoimalaitoksen automatiikka ohjaa varavoiman pääkeskuksen verkkokatkaisijan auki, ja generaattorikatkaisijan kiinni. (Sähkötieto ry 2013, 35.)

Verkkojännitteen palautuessa normaaliksi, tapahtuu syötön vaihto takaisin alkuperäiseen aikahidastuksen turvin ja varavoimalaitoksen automatiikka pysäyttää varavoimalaitoksen dieselgeneraattorin asetellun jälkikäyntiajan kuluttua. Jälkikäyntiajan jälkeen generaattori jää valmiustilaan. (Sähkötieto ry 2013, 35.)

### 2.3.2 Käyttövarmuus

Varavoimavarmennetulle verkolle tulee asettaa käyttövarmuustavoite. Verkon kuorman kannalta käyttövarmuus ilmenee siinä, onko saatavilla laadultaan sopivaa sähköä. Käyttövarmuutta pystytään parantamaan toimenpiteillä, joilla sähkön saatavuutta parannetaan. Täten käyttövarmuuteen vaikuttaa useita eri osa-alueita ja käyttövarmuustavoitteen määrittämisessä tulee näitä kaikkia osa-alueita tarkastella. Kyseisiä osa-alueita ovat muun muassa verkkosyöttö, varavoimalaitos, verkon rakenne ja kuormien ominaisuudet, turvasyöttöjärjestelmän ominaisuudet, sähkön laadulle asetetut vaatimukset ja sallitut poikkeamat, huolto- ja ylläpitokustannukset, sekä varavoimalaitokselta vaadittava käytettävyyssluu. (Sähkötieto ry 2013, 29.)

Asetettavan käyttövarmuustavoitteen vaatimus vaihtelee. Vaatimustason määrittämisen tueksi on kehitetty asteikko, jossa verrataan sähkökatkon aiheuttavaa vahinkoa varavoimaverkon investoinnin suuruuteen. Vahingot voivat olla pelkästään taloudellisia vahinkoja tai henkilö- ja ympäristövahinkoja. Tällöin puhutaan erittäin suuresta vahingosta. Asteikko koostuu kolmesta luokasta (Sähkötieto ry 2013, 29.):

- Luokka 1: Aiheuttaa erittäin suuren vahingon.
- Luokka 2: Aiheuttaa suuren vahingon.
- Luokka 3: Aiheuttaa kohtuullisen vahingon.

Tarkasteltaessa varavoimaverkon käyttövarmuutta, tulee myös tarkastella verkkosyötön käyttövarmuutta. Tästä syystä jo varavoimalaitoksen suunnitteluvaiheessa tulee yhdessä paikallisen sähköverkkohaltijan kanssa selvittää, millaisia sähkön laatuvahteluja tai katkoksia on odotettavissa kyseisessä verkossa. Samalla tulee selvittää ennaltaehkäisykeinoja katkoksille. (Sähkötieto ry 2013, 30.)

### 3 VARAVOIMALAITOS

#### 3.1 Tahtigeneraattori ja voimakone

Sähkö tuotetaan voimalaitoksissa tahtigeneraattoreilla. Tahtigeneraattori muuttaa voimakoneen sille antaman mekaanisen tehon sähkötehoksi, joka siirtyy sähköverkkoon. Tahtigeneraattorit jaotellaan roottorirakenteen mukaan avonapakoneisiin ja umpinapakoneisiin. Tahtikone muistuttaa toiminnaltaan epätahtikonetta, mutta oikosuljetun häkkikäämyksen sijasta roottorissa on tasasähkölähteellä magnetoitu naparakenne. (Aura&Tonteri 1996, 215.)

Umpinapakoneissa on sylinterimäinen roottorirakenne. Magnetointikäämitys on sijoitettu roottorin uriin ja roottori on tehty massiivisesta rautarakenteesta koneistamalla. Umpinapakoneita käytetään höyry- ja kaasuturbiinivoimalaitoksissa, jossa koneilta vaaditaan suurta pyörimisnopeutta. Tästä syystä umpinapageneraattoreiden halkaisijat ovat suhteellisen pieniä, kun umpinapakoneiden pituudet puolestaan ovat akselin suunnassa suhteellisen pitkiä. (Aura&Tonteri 1996, 215.)

Avonapakoneen roottorin rakenne ei ole sylinterimäinen, vaan se koostuu erillisistä navoista. Magnetointikäämitys on käännetty näiden napojen ympärille. Avonapakoneita käytetään vesivoimalaitoksissa, jossa tarvitaan suuret hitausmomentit, joilla vaimennetaan suuret tehon heilahdukset. Pienet pyörimisnopeudet ja suuret hitausmomentit vaativat generaattoreilta suuret halkaisijat. Tästä johtuen avonapakoneet ovat akselin suunnassa lyhyitä. (Aura&Tonteri 1996, 215.)

Varavoimageneraattoreilla ulkoinen voimanlähde on dieselmoottori. Varavoimalaitoksissa käytetään molempia konetyyppejä ja pyörimisnopeudet vaihtelevat välillä 500...1500 r/min. Jännitetaso ja tehon määrittävät verkko, johon tahtigeneraattori kytketään. (Aura&Tonteri 1996, 215.)

Tahtigeneraattori ja dieselmoottori asennetaan yhteiselle teräsalustalle. Dieselgeneraattoriyhdistelmän tärinä vaimennetaan käyntitärinän eristimillä, jotka asennetaan joko alusrakenteen ja lattian väliin tai yhdistelmän ja alustan väliin. On myös tärkeää saada koneen

pyörivät osat tasapainoon, jotta kaikki ylimääräinen värinä saadaan eliminoitua. Voimansiirto dieselgeneraattoreilla rakennetaan, joko joustamaan kytkimen välityksellä tai generaattori on kytketty jäykästi dieselmoottorin vauhtipyörään. (Sähkötieto ry 2013, 90.)

### 3.1.1 Toiminta

Sähkö tuotetaan tahtigeneraattoreilla ulkoisen voimakoneen avulla. Voimakone lähtee pyörittämään koneen roottoria. Roottorin magnetointikäämiin johdetaan tasavirta harjojen ja liukurenkaiden kautta, jolloin koneeseen kehittyy magneettivuoto. Kun roottori pyörii, magneettivuoviivat leikkaavat staattorin käämisauvoja. Tällöin staattorin käämitykseen indusoituu sinimuotoisestivaihteleva kolmivaiheinen lähdejännite. Tahtigeneraattorin roottori ja staattorin magneettikenttä pyörivät samalla nopeudella. (Hietalahti 2011, 87.)

Indusoituvan jännitteen taajuuden määräävät akselin pyörimisnopeus ja koneen napapari-luku. Jos pyörimisnopeus on vakio, voidaan jännitettä säätää muuttamalla koneen magneettivuon arvoa eli magnetointivirtaa. Taajuuden riippuvuus roottorin pyörimisnopeudesta voidaan laskea kaavalla 1. (Hietalahti 2011, 88.)

$$f = \frac{n_s}{p} \quad (1)$$

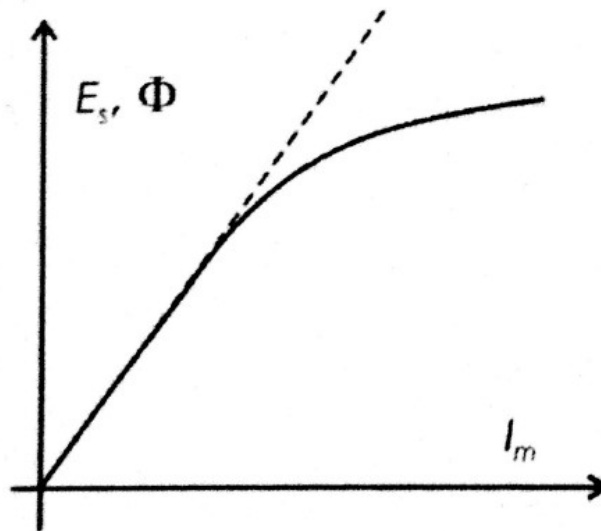
, jossa

$f$  on indusoituneen jännitteen taajuus (Hz)

$n_s$  on napapyörän pyörimisnopeus (rpm)

$p$  on koneen napaparien lukumäärä (kpl).

Indusoituvan lähdejännitteen suuruus riippuu magnetoimisvirran suuruudesta. Magnetoimisvirran kasvaessa, kasvaa lähdejännite aluksi magnetoimisvirtaan verrannollisena. Tietyn rajan ylitettyä lähdejännitteen kasvu hidastuu magneettisen kyllästymisen johdosta. Lähdejännitteen ja magneettivuon riippuvuutta magnetoimisvirtaan kuvaa kuvio 1, jossa nähdään magneettinen kyllästymisen käyrämuodon tasoittumisena. (Hietalahti 2011, 88.)



KUVIO 1. Lähdejännitteen ja magneettivuonriippuvuus magneetointivirrasta. (Hietalahti 2011, 88.)

Indusoituva lähdejännite voidaan laskea yksinkertaisesti kaavan 2 avulla. (Hietalahti 2011, 89.)

$$E_v = k \cdot I_m \quad (2)$$

, jossa

$E_v$  on lähdejännite (V)

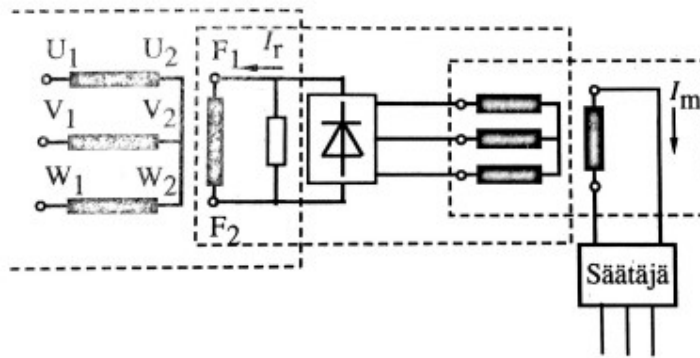
$k$  on konevakio, jolla mallinnetaan koneen rakenne ja raudan kyllästyminen

$I_m$  on magneetointivirta (A).

### 3.1.2 Magnetointi

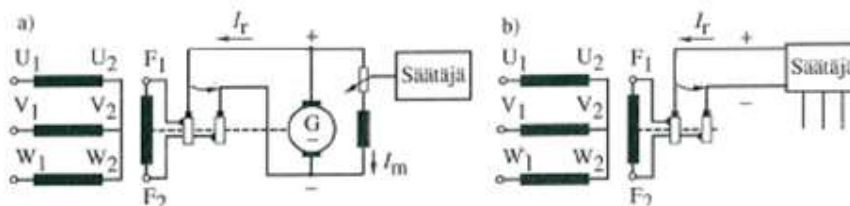
Tahtigeneraattorin magneettivuo, joka leikkaa staattorin käämisauvoja, synnytetään roottoriin johdetulla tasavirralla. Tahtikoneen magnetointi voidaan tehdä harjattomasti tai harjallisesti. Harjattomassa magnetoinnissa käytetään kuvan 4 mukaista erillistä magnetointikoneetta, joka toimii vaihtosähkögeneraattorina. Magnetointikoneen magneettinavat ovat staattorissa ja käämitys roottorissa, johon jännite indusoituu. Magnetointikoneen staattorikäämityksessä syntyvä vaihtojännite tasasuunnataan, joka syötetään pääkoneen magneetointipiiriin. (Aura&Tonteri, 1996, 219.)





KUVA 4. Magnetointikoneen pääpiirikaavio. (Aura&Tonteri 1996, 219.)

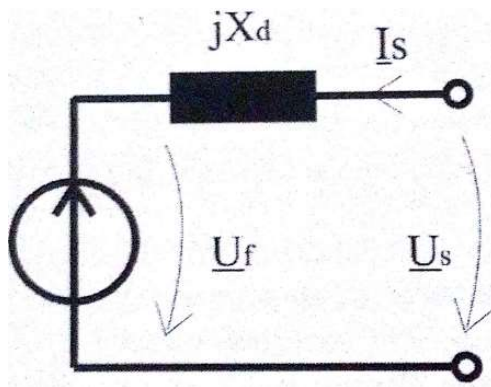
Harjallinen magnetointi voidaan toteuttaa ulkoisella tasasähkölähteellä tai vaihtosähkölähteellä. Tasasähkölähteenä voi toimia erillinen magneitoimisgeneraattori, jonka pääkoneelle syöttämällä magneitoimisvirralla  $I_r$  säädetään magnetointia. Kuvan 5 vasemmanpuoleisessa piirikaaviossa on esitetty magneitoimisgeneraattorilla toteutettu harjallinen magnetointi. Vaihtosähkölähteellä toteutettuna, säätäjä muuntaa sille syötetyn vaihtosähkön tasasähköksi eli magneitoimisvirraksi kuvan 5 oikeanpuoleisen piirikaavion mukaisesti. (Aura&Tonteri 1996, 218.)



KUVA 5. Harjallinen magnetointi tasasähkölähteellä ja -vaihtosähkölähteellä. (Aura&Tonteri 1996, 218.)

### 3.1.3 Tahtigeneraattorin matemaattinen mallinnus

Jotta tahtigeneraattorin syöttävälle verkolle pystyttäisiin tekemään verkostolaskenta, pitää tahtigeneraattori mallintaa laskennalle sopivaksi. Yksinkertaisimmillaan tahtikone voidaan mallintaa yksivaiheisella Thevenin lähteellä (kuva 6). Mallissa jännitelähteenä toimii säädettävä magnetoinnista riippuva indusoituva sisäjännite  $U_f$  ja sarjaimpedanssina tahtireaktanssi  $X_d$ . (Hietalahti 2011, 90.)



KUVA 6. Tahtikoneen yksivaiheinen sijaiskytkentä. (Hietalahti 2011, 90.)

Kuvan 6 mukaisen sijaiskytkennän mukaan liitinjännite  $U_s$  voidaan laskea kaavalla 3. (Hietalahti 2011, 90.)

$$U_s = jX_d \cdot I_s + U_f \quad (3)$$

, jossa

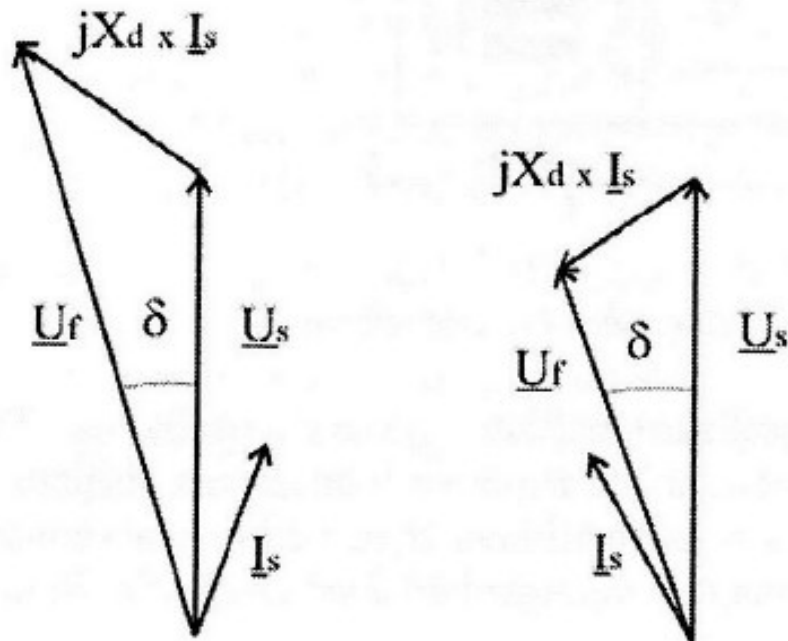
$U_s$  on napajännite (V)

$X_d$  on tahtireaktanssi ( $\Omega$ )

$I_s$  on kuormitusvirta (A)

ja  $U_f$  on indusoituva sisäjännite (V).

Kaavan 3 mukaan tahtikoneen napajännite riippuu kuormitusvirrasta, sekä lähdejännitteen suuruudesta. Staattorikäämin resistanssi on suurissa koneissa merkityksettömän pieni verrattuna käämin reaktanssiin, joten käämin impedanssi on sama kuin tahtireaktanssi. Kaavasta 3 nähdään, että napajännitteen suuruus riippuu indusoituvan sisäjännitteen lisäksi tahtireaktanssista johtuvista häviöistä. Tahtireaktanssi aiheuttaa vaihesiirtokulman napajännitteen ja lähdejännitteen välille, jota kutsutaan napakulmaksi. Kuvassa 7 on havainnollistettu napakulman  $\delta$  muodostumista osoitinpiirroksen avulla.



KUVA 7. Napakulman muodostuminen induktiivisella- ja kapasitiivisella kuormituksella. (Hietalahti 2011, 90.)

### 3.2 Varavoimalaitoksen mitoitus

Varavoimalaitoksen tehonantokyvyn mitoitus tehdään siten, että teho riittää kattamaan varavoimaverkon huippukuorman suunnitellun käytön ajaksi. Tuotantolaitoksen tehon tarpeesta riippuen, koko teollisuuslaitoksen verkko voi olla varavoimavarmennettu. Tällöin teollisuuslaitoksen prosesseja pystytään ajamaan myös katkon aikana varavoimalaitoksen dieselgeneraattorien turvin, eikä tuotannollisia menetyksiä tule. Mitoituksessa tulee ottaa huomioon myös varavoimalaitoksen tarvitsema käyttöteho, kasvuvara ja kuormanottokyky. Laitoksen oma käyttöteho on yleensä 3-7 % nimellistehosta. (Sähkötietyö 2013, 79-80.)

Paras tapa tarkastaa varavoimaverkon kuormitus on tehdä lista varmennettavan verkon sähkölaitteista ja valita varavoimakone listan mukaisen kokonaistehon mukaan. Helpoin tapa valita oikeankokoinen varavoimalaitos on kuitenkin tarkastaa varmennettavan verkon pääsulakekoko ja valita sulakekoon mukainen varavoimalaitos valmistajalta. Varmennettavan verkon kuormitukset on myös mahdollista mitata, jolloin saadaan myös tietoon verkon kuormitusten tehojen vaihtelut. (AGCO Corporation 2017.)

Varavoimalaitoksen dieselgeneraattorin on pystyttävä antamaan nimellistehonsa jatkuvasti standardin ISO 8528-1 mukaisissa standardiolosuhteissa, jossa ilmanpaine on 100 kPa, palamisilman lämpötila +25 °C ja ilman suhteellinen kosteus 30 %. Lisäksi varavoimalaitosta on voitava ylikuormittaa kymmenellä prosentilla nimellistehosta yhden tunnin ajan kahdentoistatunnin jakson aikana. (Sähkötieto ry 2013, 80.)

Varavoimalaitoksen mitoituksessa tulee ottaa huomioon myös kuormanotto- ja käynnistymisaika. Kuormanotto- ja käynnistymisaika tarkoittaa sitä, että millaista kuormitusta voidaan varavoimalaitokselle kytkeä käynnistymisvaiheessa. Tyypillisesti varavoimalaitoksissa käytetään noin kahden sekunnin mittaista käynnistysviivettä, jolla estetään turhat käynnistykset. Käynnistyminen itse koneikolla kestää tyypistä riippuen 4-10 sekuntia. Tyypillisesti varavoimalaitoksen ensimmäiseksi kytkeytyvä kuormitusporras saa olla enintään 55% nimellistehosta viimeistään 12 sekunnin kuluttua katkon alkamisesta. Loppu kuormitus saa kytkeytyä seuraavien kolmen sekunnin aikana. Käynnistymisen aikana tulee taajuuden ja jännitteen pysyä taulukon 1 mukaisissa rajoissa. (Sähkötieto ry 2013, 78.)

Standardissa ISO 8528-5 on määritelty suorituskykyluokat G1-G4, millä tarkastellaan varavoimakoneikon tuottaman sähkön laatua. Taulukkoon 1 on koottu suorituskykyluokkien G2 ja G3 olennaisimmat vaatimukset, jotka ovat syytä ottaa huomioon varavoimalaitoksen suunnitteluvaiheessa. (Sähkötieto ry 2013, 79.)

TAULUKKO 1. Suorituskykyluokat G2 ja G3. (Sähkötieto ry 2013, 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

Tavallisesti suositellaan käytettäväksi taulukon 1 luokkaa G2, mutta jännitteen ja taajuuden staattisen vakauden, sekä asettumisajan vaatimuksissa käytetään poiketen luokkaa G3. (Sähkötieto ry 2013, 79.)

### 3.3 Varavoimalaitoksen sähkönlaatu

#### 3.3.1 Epälineaarinen kuormitus

Varavoimaverkon kuormitus vaikuttaa varavoimalaitoksen tuottamaan sähkön laatuun. Hankalimpia kuormia varavoimalaitoksen kannalta ovat oikosulkumoottorit, sekä puolijohdetekniikkaa sisältävät kuormalaitteet. Oikosulkumoottorit vaativat suuren käynnistysvirran ja puolijohdekomponentteja sisältävät kuormat aiheuttavat jännitteen aaltomuodon vääristymistä. Ongelmaksi tulee myös varavoimalaitoksen oikosulkuteho, joka on paljon pienempi, kuin verkkosyötön oikosulkuteho. Tällöin myös jännitejähkyys on huonompi. (Sähkötieto ry 2013, 115.)

Oikosulkumoottorit vaativat suuren käynnistysvirran, joka aiheuttaa hetkellisesti jännitteen ja taajuuden aleneman. Suurin oikosulkumoottori koko, jonka varavoimalaitos kykenee käynnistämään on 25...35 % varavoimalaitoksen pätötehosta. Jännitteenalenemaksi tulee hetkellisesti noin 30 %, kun suorituskykyluokka G2 sallii 20 % jännitteenaleneman. Tästä syystä tulee selvittää, kuinka suuria jännitteenalennemia sallitaan ja varmistaa moottorikäyttöjen ja varavoimalaitoksen yhteensopivuus. Jännitteenalennemaa voidaan pienentää tähti-kolmiokäynnistyksen käytöllä, taajuusmuuttajalla tai pehmokäynnistimellä. Nämä pienentävät moottorin verkosta ottamaa käynnistysvirtaa. (Sähkötieto ry 2013, 115.)

Epälineaarinen kuormitus vääristää jännitteen aaltomuotoa, mikä saattaa aiheuttaa virhe-toimintoja mittalaitteille tai häiriöitä tietokone- ja automaatiojärjestelmille, sekä generaattorin jännitteensäätimelle. Teollisuusympäristössä epälineaarisia kuormituksia ovat muun muassa taajuusmuuttajat, UPS-laitteet, DC-käytöt ja tasasuuntaajat. (Sähkötieto ry 2014, 2.)

Ongelma voidaan ratkaista suodattimien käytöllä, jotka suodattavat kuormien aiheuttamat yliaallot varavoimaverkosta. Radikaaleimpia ratkaisuja ovat generaattorin koon kasvattaminen tai laitteiden vaihtaminen vähemmän häiritsevimmiksi. (Sähkötieto ry 2013, 116.)

### 3.3.2 Tehokertoimet

Perustaajuisen pätötehon ja näennäistehon suhdetta kuvaa tehokerroin  $DPF$  (Displacement Power Factor). Sähkötekniikassa käytetään kyseiselle tehokertoimen arvolle myös nimitystä  $\cos \varphi$ , sillä kosini perustaajuisen jännitteen ja virran vaihe-erosta on yhtä kuin perusaallon tehokerroin.  $\cos \varphi$  voidaan laskea kaavan 4 avulla. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2006, 16.)

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1} = DPF \quad (4)$$

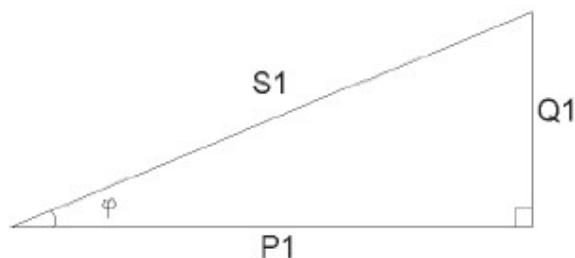
, jossa

$\cos \varphi$  on perustaajuisen tehokerroin

$P_1$  on perustaajuinen pätöteho (W)

ja  $S_1$  on perustaajuinen näennäisteho (VA).

Jos  $DPF$  on tasan yksi, perustaajuinen pätöteho ja näennäisteho ovat saman suuruisia. Kuvassa 8 on esitetty tehokolmio, jossa esitetään perustaajuisen sähkötehojen riippuvuus toisiinsa.  $DPF$ :n arvon ollessa alle yksi, tarkasteltava verkko kuluttaa myös loistehoa. Loisteho  $Q_1$  aiheuttaa  $\varphi$ :n suuruisen kulman pätötehon  $P_1$  ja näennäistehon  $S_1$  välille, mikä kasvattaa näennäistehon suuruutta. Kulman  $\varphi$  suuruus voidaan laskea kaavaa 4 käyttäen.



KUVA 8. Tehokolmio. (Sähkötieto ry 2016, 2.)

$DPF$  eli  $\cos \varphi$  ottaa huomioon vain perustaajuiset tehot. Epälineaariset kuormitukset väärin muuttavat jännitteen aaltomuotoa ja aiheuttavat yliaaltoja verkkoon. Kokonaispätöteho ja kokonaisnäennäisteho ottavat huomioon myös yliaaltojen aiheuttamat yliaaltotehot. Kokonaispätötehon ja kokonaisnäennäistehon suhdetta kuvataan tehokertoimella  $PF$

(Power Factor), joka huomio myös yliaaltojen synnyttämät yliaaltotehot.  $PF$  voidaan laskea kaavalla 5. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2006, 17.)

$$PF = \frac{P}{S} \quad (5)$$

, jossa

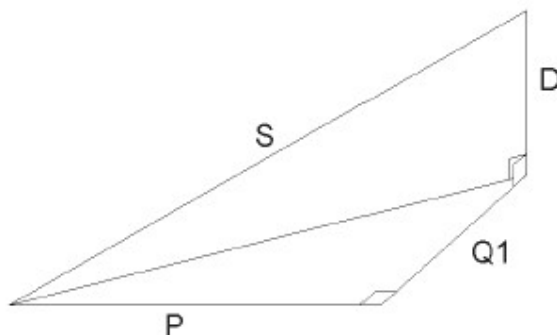
$PF$  on kokonaistehojen suhdetta kuvaava tehokerroin

$P$  on kokonaispätöteho (W)

ja  $S$  on kokonaisnäennäisteho (VA).

Kuva 9 havainnollistaa tehojen summautumista, mikäli verkossa on yliaaltotehoja.

Tässä tapauksessa termi  $D$  tarkoittaa särötehoa, joka ei sisällä yliaaltopätötehoja, vaan yliaaltoloistehoja. Kuvasta 9 nähdään, että mikäli  $PF$ :n ja  $\cos \varphi$ :n arvot ovat yhtä suuret, yliaaltojen aiheuttamaa yliaaltotehoa ei esiinny tarkasteltavassa verkossa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2006, 17.)



KUVA 9. Särötehon huomioon ottava tehokolmio. (Sähkötieto ry 2016, 2.)

### 3.4 Varavoimailaitoksen apujärjestelmät

Jotta varavoimailaitos toimisi oikein ja luotettavasti, vaatii se useita erillisiä apujärjestelmiä. Näitä ovat esimerkiksi jäähdytys-, käynnistys- ja polttonestejärjestelmä, sekä varavoimakonehuoneen ilmastointijärjestelmä ja pakoputkisto. (Sähkötieto ry 2013, 105.)

Varavoimakoneissa käytetyin käynnistysjärjestelmäratkaisu on yhteinen akusto käynnistykselle ja ohjaukselle. Akuston rakenne tulee sopia rakenteeltaan käynnistystarkoitukseen ja paikalliskäyttöön, eikä akuston napajännite käynnistysmoottorin työvirralla laske

missään olosuhteissa yli 15 %. Käynnistysmoottori liitetään akustoon käynnistyskaapeleilla, joissa tulee huomioida lämpenemä, sekä jännitteen alenema. Suositeltu latauslaite akustolle on dieselmoottorin latausgeneraattori, joka varaa akuston varavoimalaitoksen käynnin aikana. Tämä ratkaisu vaatii latausgeneraattorin rinnalle ylläpitovarauslaitteen, joka saa sähkönsä dieselvarmennetusta verkosta ja pitää akuston täydessä varaustilassa seisontaan aikana. (Sähkötieto ry 2013, 105-106.)

Varavoimalaitoksen dieselmoottori vaatii polttonestejärjestelmän. Järjestelmä pitää sisällään polttonesteen varastoinnin ja siirron dieselmoottorille. Varavoimalaitoksen varastosäiliöstä johtaa täyttöputki laitoksen polttoaineen käyttösäiliöön. Polttoneste siirretään täyttöputkessa käsipumpun tai sähköpumpun avustuksella varastosäiliöstä käyttösäiliöön. Käyttösäiliöstä on putkisto dieselmoottorille. (Sähkötieto ry 2013, 107-108.)

### **3.5 Käytettävyysluku**

Varavoimaverkon käyttövarmuutta tarkastellaan usean osa-alueen kokonaisuutena. Varavoimalaitokselle asetellaan käytettävyysluku, joka vaikuttaa koko varavoimaverkon käyttövarmuuteen. Käytettävyysluku on kerroin, jolla kerrotaan koko vuoden tunnit. Lopputuloksena saadaan tuntimäärä, minä aikana koko vuoden tunneista varavoimalaitoksen on oltava valmis käynnistymään. Käytettävyyslukua mitataan kolmiluokkaisella asteikolla (Sähkötieto ry 2013, 77.):

- Luokka 1: 0,995
- Luokka 2: 0,990
- Luokka 3: 0,985

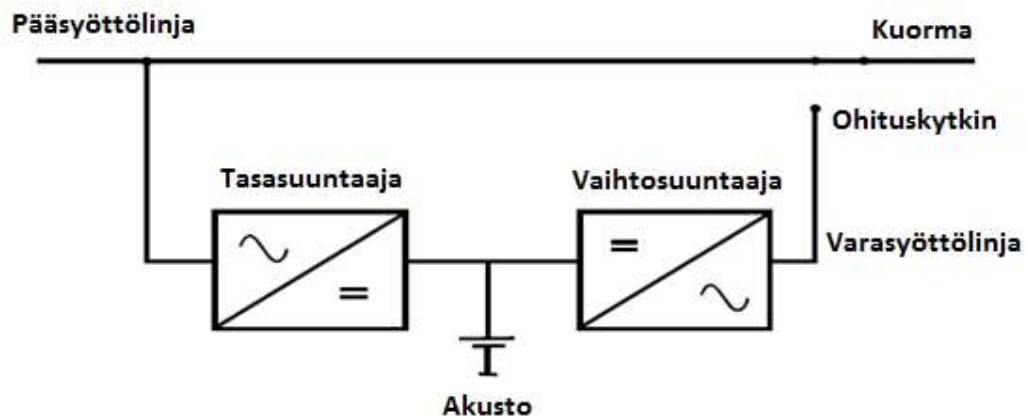
Käytettävyyslukuun vaikuttaa myös varavoimaverkon rakenne ja kuormien ominaisuudet, mutta enemmän käytettävyyslukuun vaikuttavat varavoimalaitoksen ominaisuudet. Jokainen laitoksen rakennusvaihe suunnittelusta käyttöönottoon tulee ottaa huomioon. Suuria vaikuttavia tekijöitä ovat myös varavoimakoneikko ja apujärjestelmät, joten on tärkeää, että varavoimalaitos huolletaan määrävälein. Lisäksi laitoksen hoitajan ja huollon paikalle saanti vikatilanteissa tulee ottaa huomioon. Käytettävyysluvulle on hyvä asettaa mahdollisimman suuri tavoite, sillä suuri käytettävyysluku pienentää viallisuusai-  
kaa, sekä määräaikaishuoltoihin tarvittavaa aikaa. (Sähkötieto ry 2013, 77-78.)



### 3.6 UPS-laitteet

UPS-laitteella tarkoitetaan staattista tehoelektronikan laitetta, joka pystyy akkujen turvin takaamaan katkottoman sähkönsyötön kriittisille kuormituksille. UPS-laitteiden avulla pystytään turvamaan pienitehoisia verkon kuormia tai yksittäisiä kuormalaitteita ilman sähkökatkosta. UPS-laitteita on mahdollista käyttää yhdessä varavoimalaitosten kanssa, jolloin osa kuormituksesta voidaan pitää ilman sähkökatkoa käynnissä myös sähkökatkon alusta varavoimalaitoksen käynnistykseen asti. (Eaton Corporation 2012, 8.)

UPS-laitteella on kaksi sähkönsyöttölinjaa: pääsyöttö- ja varasyöttölinjaa. Sähkökatkon sattuessa sähkönsyöttö siirtyy staattiselle ohitukselle ja sähkönsyöttö tapahtuu varasyöttölinjaa pitkin UPS-laitteen akustosta. Kaikissa UPS-laitteista löytyykin toiminnallisina kokonaisuuksina tasasuuntaus tai -varaus, akusto, vaihtosuuntaaja, sekä staattinen ohituskytkin kuvan 10 mukaisesti. Lisäksi UPS-laitteissa voi olla mekaaninen käsin ajettava huolto-ohituskytkin, sekä ohjaus- ja valvontajärjestelmä. (ABB 2009, 28.)



KUVA 10. UPS-laitteen periaatekuva. (ABB 2009, 29.)

UPS-laitteen tasasuuntaaja on toteutettu laitteen tehosta riippuen joko diodeilla tai tyristorilla. Uusimmissa laiteissa on käytetty myös transistoreita. 6-pulssista tasasuuntaaja on ollut yleisimpiä ratkaisuja UPS-laitteissa, mutta 12-pulssinen on yleistynyt, sillä sen avulla voidaan merkittävästi pienentää säröä verkkoon päin. Muita tärkeitä tasasuuntaajan ominaisuuksina ovat tulojännitteen toleranssit, tasajännitteen säädettävyys ja tarkkuus, pehmyt käynnistys, automaattinen ja säädettävä pikavaraus, suojaukset ja vikadiagnosi. Varsinaisen sillan lisäksi tasasuuntaajassa on lisäksi LC-suodin, ohjaus- ja säätöpiiri, sekä katkaisija. (ABB 2009, 28.)

Vaihtosuuntaaja tehdään nykyisiin pääsääntöisesti transistoreilla. Useimmissa vaihtosuuntaajissa on käytetty PWM-tekniikkaa (Pulse-Width Modulation) ja lähtöjännite tehdään taajuudella 2-10 kHz. Vaihtosuuntaajan tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu lähtöjännitteen staattinen ja dynaaminen pysyvyys, ylikuormitettavuus, särö kuormaan päin, hyötysuhde, vinokuormitettavuus, sekä suojaukset ja vikadiagnosi. Vaihtosuuntaussillan lisäksi vaihtosuuntaajan kuuluu DC- ja LC-suotimet, ohjaus- ja säätöpiirit, sekä muuntaja. (ABB 2009, 28.)

Staattinen ohituskytkin on yleensä tyristoreilla toteutettu kytkin. Kytkimen tarkoituksena on siirtää kuorma automaattisesti ja katkotta varasyötölle, mikäli pääsyöttölinjalla tulee sähkökatko. Jotta kuorman siirto katkotta ohitukselle onnistuisi, kytkimen on seurattava verkkojännitettä ja oltava tahdistettuna siihen. Kuorman siirryttyä ohitukselle, alkaa akusto syöttää varalinjan kautta kuormaa. Kuvassa 10 ohituskytkin on kiinni pääsyöttölinjassa. Sähkökatkon sattua ohituskytkin vaihtaa asentoa varasyöttölinjalle. (ABB 2009, 28.)

UPS-laitteistojen akut voivat olla suljettuja tai avoimia. Suljetuilla akuilla on paremmat purkausominaisuudet, eivätkä vaadi erillistä akkuhuonetta, mutta käyttöikä on huonompi kuin avonaisilla akuilla. Akustojännite vaihtelee UPS-laitteen tyypin ja tehon mukaan. Suuremmissa UPS-laitteissa akustojännite on tyypillisesti 220-400 VDC, mutta uusimmissa on käytössä 2 x 400 VDC. Akusto pidetään puskuvarauksessa, jotta se on valmiudessa syöttämään vaihtosuuntaajaa. Eniten käytetty akkutyyppeä UPS-laitteissa on venttiilisäätöinen lyijyakku. (ABB 2009, 28.)

## 4 ÄETSÄN TEHTAAN VARAVOIMAVERKKO

### 4.1 Kemira Chemicals Oy

Kemira Oyj on globaali pörssiyhtiö, jonka toimiala on kemianteollisuus. Kemira tarjoaa sovellusosaamista, asiantuntemusta ja kemikaaleja, jotka parantavat Kemiran asiakkaiden vesi-, energia- ja raaka-ainetehokkuutta. Vuodesta 2016 Kemira on keskittynyt kahteen segmenttiin: Pulp&Paper ja Industry&Water. (Kemira Oyj 2017.) Kemira-konsernin palveluksessa työskenteli vuoden 2015 lopussa 4685 työntekijää ja näistä Suomessa 785 työntekijää. Kemiran liikevaihto vuonna 2015 oli 2373,1 miljoonaa euroa. Kemiralla on liiketoimintayksiköitä yhteensä neljässäkymmenessä maassa ja myyntiä yli sataan maahan. (Kemira Oyj 2015, 1.)

Kemira Chemicals Oy on Kemira Oyj:n täysin omistama sellu- ja paperiteollisuuden valkaisu- ja kemikaaleja valmistava yritys. Suomessa Kemira Chemicals Oy:llä on tehtaat Äetsässä, Kuusankoskella ja Joutsenossa. Äetsän tehdas on ollut aiemmin osa Finnish Chemicals Oy:tä. Kun Kemira 2000-luvulla osti yrityskaupalla Finnish Chemicals Oy:n, nimi muutettiin Kemira Chemicals Oy:ksi. Äetsän tehdas on aloittanut kemikaalituotannon vuonna 1939, jolloin käynnistyi Finnish Chemicals Oy:n klooritehdas. (Kemira Oyj 2016, 11.)

Kemira Chemicals Oy:n Äetsän tehdas sijaitsee Sastamalassa. Äetsän tehdaskokonaisuus koostuu kolmesta natriumklooraattitehtaasta sekä hieno- ja vesikemikaalitehtaista. Tehdas kuuluu Kemira Oyj:n sellu & ja paperi-segmenttiin. Tuotteita ovat muun muassa natriumklooraatti, natriumboorihybridi, natriumbisulfiitti, sekä PAX-vedenkäsittelykemikaalit. Kemira on yksi maailman suurimmista natriumklooraatin valmistajista ja Äetsän tehdas on merkittävä valmistaja. Kemiralla on oma patentoitu natriumklooraatin valmistusteknologia. (Kemira Oyj 2016, 13.)

Äetsän tehdasalue on laaja ja käsittää useita eri tehdasyksiköitä. Koko tehdasalue on esitetty kuvassa 11. Eri kemikaalien tuotantoprosessit sijaitsevat eri yksiköissä. Tehdasyksiköille on omat vakiintuneet lyhenteet, joita käytetään myös tässä työssä. TI on vesikemikaalitehdas, jossa valmistetaan PAX-vedenkäsittelykemikaaleja. Tehtaassa TII ei ole

nykyään tuotantoa ja se toimiikin lähinnä varastotilana, mutta sinne on sijoitettu kloraattitehtaan suola-allas. TIII on natriumkloraattitehdas, joka käsittää kolme erillistä tuotantoyksikköä: TIII-2, TIII-3 ja TIII-4. TIV on hienokemian tehdas, joka jakaantuu liuosteh- taaseen(TIV-1) ja pulveritehtaaseen(TIV-2). Uusimpana lisäyksenä Äetsän tehdaskoko- naisuuteen on lisätty märkälujatehdas TIV-3.



KUVA 11. Ilmakuva Äetsän tehdasalueesta. (Kemira Oyj 2016, 10.)

Tehdasyksiköitten lisäksi tehdasalueeseen kuuluu tehdaskonttori, useita verstaita, sekä Leppäkosken Sähkön ja Kemira Chemicals Oy:n yhteisomistuksessa oleva FC Energia Oy. FC Energian laitos käyttää kloraattitehtaan sivutuotevetyä, josta saadaan höyryä teh- taan tarpeisiin, sekä kaukolämpöä läheiseen Pehulan taajamaan. (Kemira Oyj 2016, 18.)

Äetsän tehtaan prosessit nielevät suuren määrän sähköä, höyryä, sekä vettä. Erityisesti elektrolyysi, jolla valmistetaan ruokasuolasta ja vedestä natriumkloraattia. Vuonna 2016 Äetsän tehdas kulutti sähköenergiaa 689 GWh. Prosessihöyryn kulutus oli samana vuonna 195 GWh. Jäähdytysvettä prosessit ja laitteet kuluttivat vuonna 2016 36 miljoo- naa kuutiota. (Kemira Oyj 2016, 17.)

## 4.2 Äetsän tehtaan sähköverkko

Äetsän tehtaan sähköverkko koostuu tehtaan omasta sähköasemasta, viidestä pääkeskuksesta, lukuisista jakelukeskuksista, sekä kahdesta kondensaattorikentästä. Tehtaan sähkönsyöttö tapahtuu yhtiön omasta 110 kilovoltin linjasta, joka tulee Fingridin sähköasemalta Ulvilasta. Tehtaalla on myös varayhteys Kolsista. Tehtaan sähköasema kattaa viisi päämuuntajaa, sekä linjojen katkaisijat ja erottimet. (Kemira Oyj 2017.)

Äetsän tehtaan keskijännitejakelun jännitetaso on historiallisista syistä kymmenen kilovoltia. Keskijännitejakelu tapahtuu tehdasalueella maakaapeleilla kymmenen kilovoltin kojeistoihin. Hieno- ja vesikemian tehtaiden, tehdaskonttorin, sekä verstaiden sähkönsyöttö tapahtuu sähkökeskuksen SKI kautta, joka sijaitsee tehtaassa TI. Tehtaiden TII ja –TIII-3 sähkönsyöttö tapahtuu sähkökeskuskusten SKII-1 ja SKII-2 kautta, jotka sijaitsevat tehtaassa TII. TIII-2:lla ja TIII-4:lla on omat kymmenen kilovoltin pääkeskukset SKIII-2 ja SKIII-4. Tehtaan pääkeskuksissa sijaitsevat tehtaan keskijänniteverkon erottimet, sekä suojalaitteet. Pääkeskuksista jännitteenjakelu tapahtuu jakelumuuntajille, kondensaattoreille, estokelaparistoille sekä kloraattitehtaan tasasuuntaajille. (Kemira Oyj 2017.)

Äetsän tehtaan pienjänniteverkon jännitetaso on 400 voltia. Pienjännitekeskuksia on ripoteltu pitkin tehdasta ja joissain tiloissa keskuksia voi olla useampia. Osa vanhoista keskuksista sijaitsee prosessitiloissa, mutta suurin osa löytyy tehtaan lukituista sähkötiloista. Keskuksat ovat enimmäkseen kennokeskuksia, mutta vanhimmat keskuksat ovat kotelokeskuksia. Valaistus- ja pistorasiakeskuksat ovat joko asennettu kenno- ja kotelokeskuksiin tai ne on asennettu yksittäisiin kaappeihin. (Kemira Oyj 2017.)

## 4.3 Varavoimavarmennettu verkko

Äetsän tehtaan varavoimavarmennettu verkko koostuu kolmesta erillisestä varavoimaverkosta, kolmesta varavoimalaitoksesta ja UPS-laitteista. UPS-järjestelmien tarkoituksena on pitää sähköjä yllä automaatio-, sekä ohjausjärjestelmissä, kunnes tehtaan varavoimageneraattorit saadaan ajettua käyntiin. Tämän jälkeen tehtaan dieselmoottorikäyttöiset varavoimageneraattorit hoitavat sähkönsyötön varavoimavarmennettuun verkkoon. Äetsän varavoimavarmennetun verkon tarkoituksena on välttyä henkilö- ja laitevahingoilta sähkökatkoksen aikana.

Äetsän tehtaan varavoimalaitosten varavoimageneraattorit syöttävät erillisiä varavoimaverkkoja. Varavoimalaitos DGI-1 on sijoitettu tehtaalle TI ja sen varavoimageneraattori syöttää vesi- ja hienokemiantehdasta, sekä tehdaskonttoria ja verstaaita. Varavoimalaitos DGII-2 on sijoitettu tehtaalle TII ja sen varavoimageneraattori syöttää sähköä tehtaalle TII, sekä natriumkloraattitehtaille TIII-2 ja TIII-3. Varavoimalaitoksen DG4-11 varavoimageneraattori syöttää natriumkloraattitehdasta TIII-4. Kaikkien varavoimalaitosten varavoimageneraattorit ovat dieselmoottorikäyttöisiä ja niiden syöttämän sähkön jännite on 400 voltia ja nimellinen pyörimisnopeus 1500 kierrosta minuutissa. Varavoimageneraattorien kilpiarvot, sekä laitetiedot on koottu taulukkoon 2.

TAULUKKO 2. Varavoimageneraattorien laitetiedot. (Kemira Oyj 2017.)

Toimintopaikka	Positio	Valmistaja	Tyyppi	Teho (kVA)	Virta (A)
TI	DGI-1	Stamford	HCI434F2	400	577
TII	DGII-2	ASEA	GH 355 MA	315	455
TIII-4	DG4-11	Markon Engineer	B 314 T	325	469

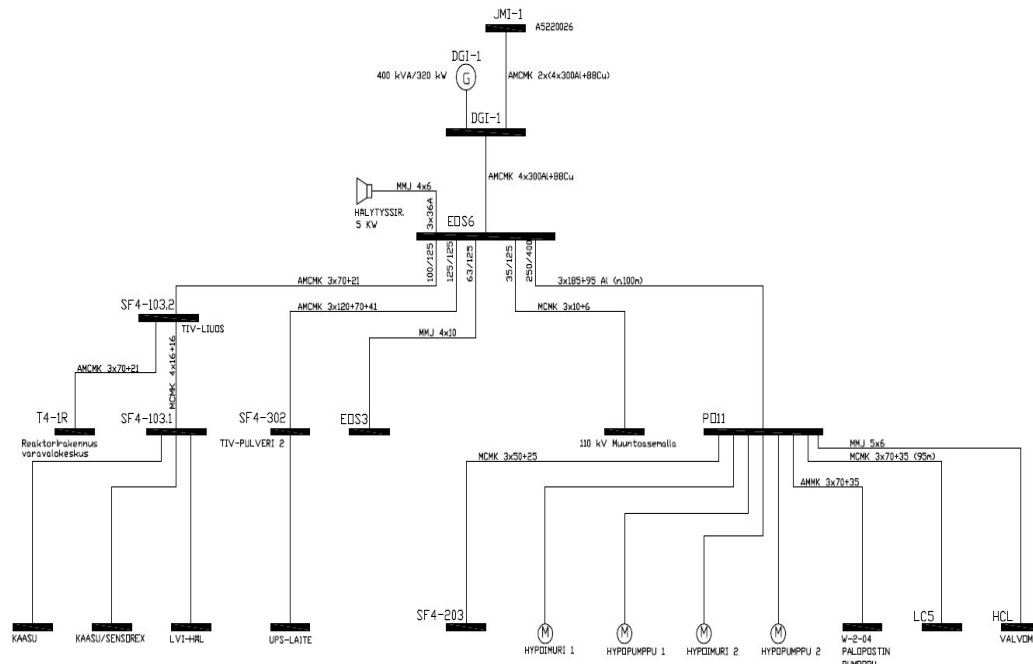
Varavoimalaitoksen DGI-1 varavoimageneraattori syöttää sähkökatkon aikana laajaa verkkoa, joka käsittää kolme tehdasyksikköä ja tehdaskonttorin. Poiketen muista tehtaan varavoimageneraattoreista, DGI-1:llä ei ole erillistä sähkötilaa, vaan se on sijoitettu vanhaan prosessitilaan. Varavoimalaitoksen dieselgeneraattori DGI-1 on esitetty kuvassa 12.



KUVA 12. Dieselgeneraattori DGI-1.

DGI-1:llä on 24 voltin ohjaus- ja käynnistysakusto. Normaaliassa jakelutilanteessa akusto pidetään täydessä varaustilanteessa akkuvaraajan turvin. Verkkajännite muunnetaan 230:n voltin vaihtojännitteestä 24:n voltin tasajännitteeksi muuntimella. Tasasuunnatulla jännitteellä varataan akusto, sekä syötetään dieselgeneraattorin ohjaus- ja valvontaosaa. Verkkajännitteen hävitessä akusto vastaa ohjaus- ja valvontaosan syötöstä. Tämän lisäksi DGI-1:llä on sähköinen polttoainepumppu ja dieselmoottorin esilämmitin. Dieselgeneraattorin pääkaavio on esitetty liitteessä 2. (Kemira Oyj 2017.)

DGI-1:n syöttämän verkon takana on lähes kaksikymmentä varavoimavarmennettua keskusta ja kaksi UPS-laitetta. Verkon rakenne on esitetty kuvassa 13. Kyseinen verkko on rakennettu siten, että generaattorikeskuksessa DGI-1 on syötönvaihtokontaktorit. Tämä käy ilmi liitteestä 2. Kun verkkajännitteen tunnustelija havaitsee jänniterajan alituksen tai jännitteen häviämisen, se antaa varavoimalaitoksen automaatiolle käskyn käynnistää varavoimalaitoksen varavoimageraattorin. Tällöin varavoimalaitoksen automaatio ohjaa generaattorisytön katkaisijan kiinni ja verkon katkaisijan auki. Koko varavoimaverkon syöttö normaalitilanteessa ei kulje DGI-1:n kautta, vaan keskuksessa SF4-103.2 on erilliset syötönvaihtokontaktorit ja jännitetunnustelija. Normaalin syötön hävitessä keskuksen varmennettu osa kytkeytyy osaksi varavoimaverkkoa. (Kemira Oyj 2017.)



KUVA 13. Tehtaiden TI-, TIV-1- ja TIV-2 varavoimaverkko. (Kemira Oyj 2017.)

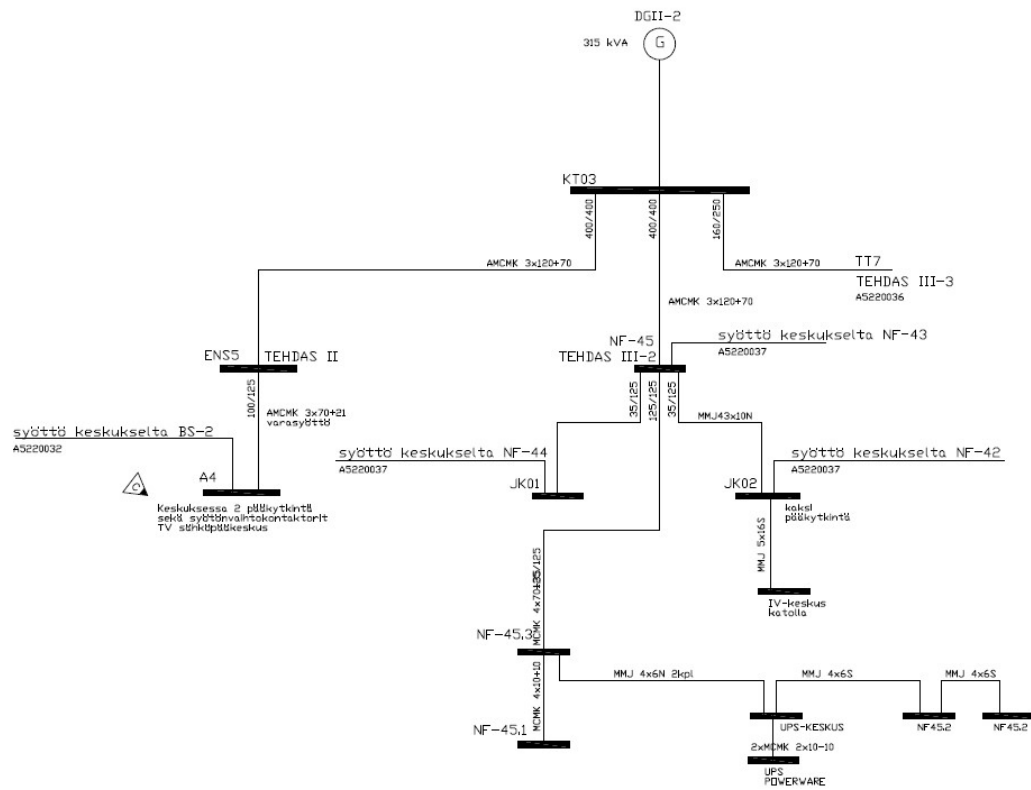
Varavoimalaitos DGII-2 on sijoitettu omaan sähkötilaansa, josta löytyy myös sen ohjauskeskus. Erona tehtaan muihin dieselgeneraattoreihin on, että DGII-2 ei ole verkkoon tahdistuva. DGII-2 on esitetty kuvassa 14. (Kemira Oyj 2017.)



KUVA 14. Dieselgeneraattori DGII-2.

DGII-2:n syöttämä verkko on paljon yksinkertaisempi, kuin DGI-1: n. Kaikki DGII-2:n syöttämät varavoimakeskukset on varustettu syötönvaihtoautomaatioilla. Verkkojännitteen hävitessä syötönvaihtokatkaisijat kytkevät keskukset osaksi varavoimaverkkoa. Kyseiset keskukset saavat normaalissa tilanteessa syötön toisista muuntopiireistä. Varavoimageraattori DGII-2 käynnistyy automaattisesti, mikäli jonkin valvotun keskuksen A4, TT7 tai NF-45 jännite häviää tai putoaa alle asetellun rajan. DGII-2:n syöttämä varavoimaverkko on esitetty kuvassa 15. (Kemira Oyj 2017.)

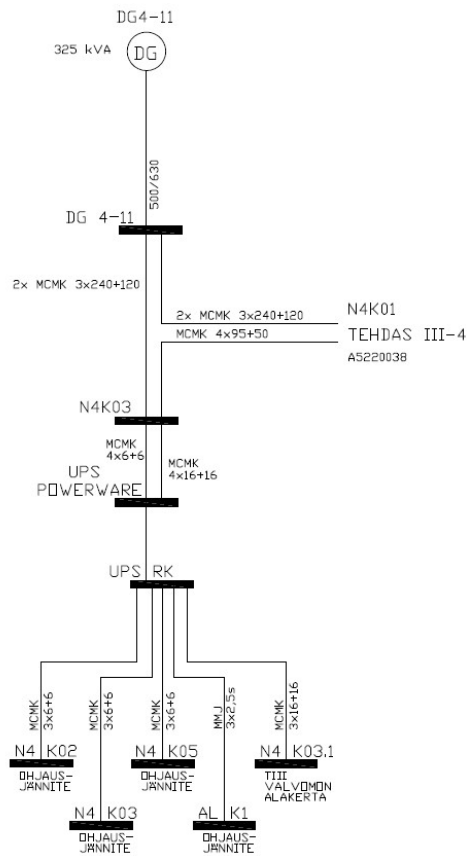




KUVA 15. Tehtaiden TII-, TIII-2 ja TIII-3 varavoimaverkko. (Kemira Oyj 2017.)

Kuvan 15 mukainen varavoimaverkko on monimutkainen, koska syötönvaihtokatkaisijat sijaitsevat varavoimakeskuksissa A4, NF-45 ja TT7. Mikäli koko DGII-2:n syöttämä varavoimaverkon syöttö tapahtuisi keskuksen KT03 kautta, varavoimaverkko pystyttäisiin toteuttamaan yhden syötönvaihtoautomatiikan kautta. Iso määrä erillisiä syötönvaihtoautomatiikoita vähentää varavoimaverkon luotettavuutta ja monimutakaistaa verkon rakenteita.

Varavoimalaitoksen DG4-11 varavoimageneraattori syöttää vain yhtä varmennettua keskusta N4K03. Kyseisen keskuksen perässä on kaikki varavoimavarmennettu kuorma tehtaalla TIII-4. Keskuksen N4K03 perässä on yksi UPS-laite, jolla on varmennettu tehtaan TIII-4 ohjausjännitteet katkeamattomasti. DG4-11:n syöttämä verkon rakenne on esitetty kuvassa 16. (Kemira Oyj 2017.)



KUVA 16. Tehtaan TIII-4 varvoimaverkko. (Kemira Oyj 2017.)

Varvoimalaitoksen DG4-11 varvoimageneraattorin käynnistyminen tapahtuu automaattisesti, kun verkkojännite häviää tai putoaa alle asetellun rajan keskuksella DG 4-11. Varvoimalaitoksen pääkaavio on esitetty liitteessä 3. Pääkaaviosta nähdään, että kyseinen keskus on varustettu syötönvaihtokatkaisijoilla ja verkkojännitetunnustelijalla. Verkkojännitteen hävitessä tai alittaessa tietyn rajan, normaalin verkon katkaisijan koskettimet avautuvat ja generaattorin katkaisijan koskettimet sulkeutuvat. Varvoimalaitos DG4-11 sisältää samat apujärjestelmät, kuin DGI-1. Näitä ovat käynnistysakusto, polttoainepumppu ja esilämmitin. Kuvan 16 mukainen verkko on yksinkertainen ja helposti hallinnoitava. (Kemira Oyj 2017.)

## 5 VARAVOIMAVERKON KEHITYSSUUNNITTELU

Äetsän tehtaan varavoimaverkon rakentaminen on lähtenyt liikkeelle ajatuksesta, että sähkökatkon aikana tehdas välttyisi henkilö- ja laitevahingoilta. Äetsän tehtaan sähkökulutus on liian suuri, jotta varavoimalaitosten turvin pystyttäisiin pyörittämään tuotantoa. Viime vuosien sähkökatkosten perusteella on tehtaalla herännyt ajatus laajentaa varavoimaverkkoa. Tästä syystä opinnäytetyössä lähdettiin kehittämään olemassa olevaa varavoimaverkkoa, joka katkon aikana turvaisi kriittiset kuormat henkilö- ja laitevahinkojen välttämiseksi. Varavoimaverkon turvin tehdas pystytään ajamaan turvallisesti alas, sekä voidaan tarvittaessa aloittaa korjaustoimenpiteet.

Äetsän tehtaan kolme varavoimalaitosta syöttävät erillisiä varavoimaverkkoja, joten laitojen varavoimageneraattorit eivät käy keskenään rinnan eivätkä myöskään ole syöttävän sähköverkon kanssa rinnankäytössä. Työn suunnittelu lähti liikkeelle jokaisen varavoimageneraattorin takana olevan verkon tarkastelusta. Ensisijaisesti lähdettiin tarkastelemaan, että generaattorien tehokapasiteetti riittää kattamaan varavoimaverkon huippukuormituksen. Toisena lähtökohtana oli generaattorin syöttämä sähkönlaatu. Huono laatuinen sähkö saattaa aiheuttaa häiriöitä kriittisille kuormille.

Koska Äetsän varavoimaverkon kaikista kuormituksista ei ollut saatavilla kaikkia tarpeellisia tietoja, varavoimaverkon kuormitukset mitattiin todellisessa käyttötilanteessa. Mittaukset tehtiin kokonaisuudessaan Fluke 434-mittarilla, jolla saatiin mitattua varavoimaverkon kuormitustehot ja verkon tehokertoimet  $PF$  ja  $\cos \varphi$ , joiden avulla tarkasteltiin varavoimaverkon sähkön laatua. Saatujen mittaustulosten perusteella saatiin selville jokaisen varavoimageneraattorin perässä olevan varavoimaverkon kuormitustehot. Tämän perusteella pystyttiin laskennallisesti määrittämään, mitä kuormituksia pystytään olemassa olevaan verkkoon lisäämään.

Varavoimaverkon tehokuormitusten lisäksi tarkasteltiin varavoimaverkon sähkön laatua, kuormitustehojen jakaantumista eri vaiheille ja varavoimakeskusten riittämistä laajennusten tarpeisiin. Analyysin perusteella oli mahdollista esittää toimenpide-ehdotukset varavoimaverkon kehittämiseksi tehtaan käyttöpäälliköiden toivomusten mukaisesti.

## 5.1 Varavoimalaitoksen DGI-1 verkko

### 5.1.1 Verkon analyysi

DGI-1:n syöttämän verkon kuormitus mitattiin kahdesta eri pisteestä: keskukselta EOS6 ja keskukselta SF4-103.2 varavoimavarmennetusta osasta. Keskuksen SF4-103.2 syöttö tapahtuu normaalisti toisesta muuntopiiristä, joten koko verkon kuormitus ei näy mitattaessa keskukselta EOS6. Kyseisen varavoimaverkon kuormitus saadaan siis laskemalla yhteen näiden kahden mittauksen kuormitukset.

Mittaukset suoritettiin Fluke 434-mittarilla ja mittaustapahtuman oli noin tunnin mittainen, koska tehtaan kuormitukset vaihtelivat. Tarkastelemalla pitempää aikaväliä saadaan selville varavoimaverkon kuormituksen huipputehot. Yhden mittausjakson aikana Fluke 434-mittari mittaa tehojen minimi-, keskiarvo ja maksimiarvot jokaiselle vaiheelle, sekä kokoiskulutukselle. Varsinaisessa tarkastelussa käytettiin mittauksen maksimiarvoja, sillä varsinaiset mitoitukset tehdään pahimman mahdollisen tilanteen mukaan.

Verkon mitatuista tehokuormituksista voitiin kaavalla 6 laskea keskiarvo mittausdatalle. Tehot voidaan laskea aritmeettisesti yhteen, koska tehojen osoittimet ovat suurin piirtein samansuuntaisia mittausten perusteella. Pätö- ja loistehojen keskiarvot lasketaan samalla kaavalla sijoittamalla näennäistehojen paikalle mitatut pätö- ja loistehojen arvot.

$$S_{\text{keskiarvo}} = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{n} \quad (6)$$

, jossa

$S_{\text{keskiarvo}}$  on näennäistehon keskiarvo (VA)

$S_n$  on sarjan viimeinen näennäisteho (VA)

ja  $n$  on mittauspisteiden lukumäärä (kpl).

Käyttämällä kaavaa 6 saatiin laskennallisesti määriteltyä huipputehojen keskiarvo. Jotta saatiin selvitettyä koko varavoimaverkon kuormitus, tuli eri mittauspisteistä laskennallisesti määritellyt keskiarvot laskea yhteen kaavalla 7.

$$S_{\text{kok}} = S_{\text{EOS6}} + S_{\text{SF4-103.2}} \quad (7)$$

, jossa

$S_{\text{kok}}$  on varavoimalaitoksen DGI-1:n syöttämän verkon kokonaisteho (VA)

$S_{\text{EOS6}}$  on keskuksen EOS6 mitattujen huipputehojen keskiarvo (VA)

ja  $S_{\text{SF4-103.2}}$  on keskuksen SF4-103.2 varmennetun osan mitattujen huipputehojen keskiarvo (VA).

Päätö- ja loistehot voidaan laskea myös kaavoilla 6 ja 7, jolloin näennäistehojen paikalla sijoitetaan päätö- ja loistehojen arvot. Taulukkoon 3 on laskettu verkon jokaisen vaiheen, sekä koko verkon keskiarvo näennäistehoista. Lisäksi taulukkoon on kirjattu vaiheiden ja koko verkon minimi- ja maksimitehot, joiden avulla nähdään, kuinka suurella välillä teho vaihtelee varavoimaverkossa. Taulukkoon 4 on kirjattu vastaavat päätötehojen arvot ja taulukkoon 5 vastaavat loistehojen arvot.

TAULUKKO 3. Varavoimalaitoksen DGI-1:n syöttämän verkon näennäistehot.

Vaihe	Minimi (VA)	Keskiarvo (VA)	Maksimi (VA)
L1	47070,6	47427,1	48689,0
L2	46008,2	46591,8	48031,2
L3	41459,5	41758,8	43077,9
Yhteensä	135779,8	136641,5	140500,1

TAULUKKO 4. Varavoimalaitoksen DGI-1:n syöttämän verkon päätötehot.

Vaihe	Minimi (W)	Keskiarvo (W)	Maksimi (W)
L1	37298,9	37731,8	38917,3
L2	36824,5	37258,1	38577,8
L3	34575,9	34832,1	36059,4
Yhteensä	108973,0	109824,3	113558,5

TAULUKKO 5. Varavoimalaitoksen DGI-1:n syöttämän verkon loistehot.

Vaihe	Minimi (Var)	Keskiarvo (Var)	Maksimi (Var)
L1	27039,8	27291,3	27849,0
L2	25533,3	26133,5	26882,0
L3	21763,6	22003,1	22572,8
Yhteensä	76160,8	76723,3	78318,7

Taulukon 3 mukaiset näennäistehot osoittivat, että vaihe kolme on vähemmän kuormitettu, kuin vaiheet yksi ja kaksi. Vaihtelu on keskiarvossa jopa viisi kilovolttiampeeria. Näin suuri kuormitusero saattaa aiheuttaa suuria virtoja nollajohtimeen. Ratkaisuna on siirtää yksivaiheisia kuormituksia vaiheilta yksi ja kaksi tasaisesti vaiheelle kolme tai tulevaisuudessa lisätä yksivaiheiset kuormat vaiheelle kolme.

Taulukossa 6 on esitetty mitatut tehokertoimien arvot varavoimaverkosta DGI-1. Tehokertoimet  $PF$  ja  $\cos \phi$  olivat mittauksissa hyvin lähellä toisiaan ja vaihtelu oli suurimmillaan 0,02. Näin ollen voidaan olettaa, että yliaaltojen osuus varavoimaverkossa on hyvin vähäistä. Taulukon 6 arvoissa ei ole huomioitu keskuksen SF4-103.2:n varavoimavarmennetun osan kuormitusta, koska kyseisen keskuksen kuormitukset tuli mitata lähdöittäin. Mittaukset kuitenkin osoittivat, että myöskään tämän keskuksen tehokertoimet eivät eroa merkittävästi toisistaan.

TAULUKKO 6. Varavoimaverkon DGI-1:n tehokertoimet.

Suure	Minimi	Keskiarvo	Maksimi
PF	0,82	0,83	0,84
$\cos\phi$	0,82	0,83	0,84

DGI-1:n varavoimaverkossa ei taulukon 6 perusteella esiintynyt merkittäviä yliaaltoja. Kyseisessä varavoimaverkossa on epälineaarisia kuormituksia, kuten taajuusmuuttajia UPS-laitteita, mutta mittaustulosten perusteella ne eivät aiheuta merkittäviä yliaaltoja.

### 5.1.2 Kehityssuunnitelma

Varavoimalaitoksen DGI-1 syöttämä varavoimaverkko käsittää vesi- ja hienokemian tehtaaita. Tehtaiden käyttöpäällikkö, tuotannon mestarit ja käyttäjät tuntevat parhaiten tuotantoprosessit ja prosessilaitteet. He myös määrittelevät, mitä kuormitusta olisi syytä henkilö- ja laitevahinkojen välttämiseksi varmistaa varavoimalla. Mikäli varmennettavaa kuormitusta on liikaa varavoimalaitoksen kokoon nähden, tulee kuormat priorisoida. Tehtaan henkilöturvallisuuteen vaikuttavat kuormat tulee varmistaa ennen kuormituksia, jotka saattavat aiheuttaa vahinkoa prosessilaitteisiin.

Toinen varavoimaverkon kehittämiseen liittyvä tarve on korjaus- ja alasajotoiminnot sähkökatkon aikana. Jotta tehdas pystytään ajamaan alas sähkökatkon aikana, tarvitaan alasajotoimintoihin vaadittavat kuormalaitteet varmistaa varavoimalla. Tällaisia toimintoja ovat esimerkiksi typen saanti ja riittävä valaistus. Tämän lisäksi myös korjaustoiminnot saattavat tarvita sähköä. Tästä syystä tehtaiden tuotantohenkilöstö, sekä kunnossapito-osasto yhdessä määrittelevät, millaisia tarpeita heillä on sähkökatkon aikana.

Taulukossa 7 on esitetty varavoimaverkon laajennustarpeet tehtaalla TI. Pääasiassa laajennukset koostuvat PAX-reaktorien sekoittimista. Yhteensä sähköistä näennäistehokuormaa kaikista varavoimatarpeista tulee 115,2 kVA.

TAULUKKO 7. Varavoimaverkon laajennustarpeet tehtaalla TI.

Laite	Positio	Teho <sub>mek</sub> (kW)	Teho <sub>säh</sub> (kW)	Teho <sub>säh</sub> (kVA)
PAX-reaktori R1 sekoitin	A-7-04	18,5	20,1	24,0
PAX-reaktori R7 sekoitin	A-7-03	25	27,1	32,2
PAX-reaktori R8 sekoitin	A-7-02	23	24,9	29,3
PAX-reaktori R10 sekoitin	A-7-01	23	24,9	29,3
Hapon syöttöpumppu TIV-I:lle	W-2-48	0,2	0,3	0,3
Yhteensä		89,7	97,4	115,2

Taulukossa 8 on esiteltyä varavoimaverkon laajennustarpeet tehtaalla TIV-1. Yhteensä sähköistä näennäistehokuormaa kaikista laajennustarpeista tulee 151,7 kVA.

TAULUKKO 8. Varavoimaverkon laajennustarpeet tehtaalla TIV-1.

Laite	Positio	Teho <sub>mek</sub> (kW)	Teho <sub>säh</sub> (kW)	Teho <sub>säh</sub> (kVA)
Synteessimassan syöttöpumppu	F-2-56	15	16,4	18,4
Synteessimassan varasyöttöpumppu	F-2-565	12,8	14,1	15,3
Synteessimassasäiliö 2:n sekoitin	F-7-56	22	23,8	27,7
Tiivisteöljypumppu 1	F-2-71A	4	4,7	6,9
Tiivisteöljypumppu 2	F-2-71B	4	4,7	6,9
Raakavesipumppu 4	W-2-D04	55	58,6	69,8
Jäteveden neutralointisäiliön pumppu	W-2-47	3	3,5	4,5
Jäteveden neutralointisäiliön sekoitin	W-7-47	1,5	1,8	2,1
Yhteensä		117,3	127,6	151,7

Taulukon 8 mukaisten varavoimatoiveiden lisäksi tehtaalla kesikäytävälle tarvitaan 63 ampeerin pistorasiakeskus. Kyseistä pistorasiakeskusta käytettäisiin typen purkamiseen typpiautosta. Tähän tarkoitukseen soveltuu esimerkiksi ABB:n 63A-pistorasiakeskus

(kuva 17). Kyseinen keskus tulee pitää jännitteettömänä normaalissa tilanteessa ja käyttö on sallittu vain sähkökatkon aikana. Kyseisen keskuksen syöttö voidaan ottaa mistä tahansa vapaana olevasta TIV-1:n varavoimavarmennetusta keskuksen lähdöstä tai suoraa keskuksen EOS6 lähdöstä. Keskuksen tekniset tiedot on koottu liitteeseen 4.



KUVA 17. ABB:n 63A-pistorasiakeskus. (Sähkönumerot.fi 2017, 34 051 66.)

Taulukossa 9 on esiteltyä varavoimaverkon laajennustarpeet tehtaalla TIV-1. Yhteensä sähköistä näennäistehokuormaa kaikista varavoimatarpeista tulee 37,2 kVA.

TAULUKKO 9. Varavoimaverkon laajennustarpeet tehtaalla TIV-3.

Laite	Positio	Teho <sub>mek</sub> (kW)	Teho <sub>säh</sub> (kW)	Teho <sub>säh</sub> (kVA)
PAA-reaktorin sekoitin	G-7-21	15	16,4	19,5
Rikkihapon syöttöpumppu	G-2-14	3	3,5	4,2
Puhdasveden syöttöpumppu	W-2-71	11	12,1	13,5
Yhteensä		29,0	32,0	37,2

Mikäli kaikki varavoimatarpeet lisättäisiin varavoimaverkkoon, verkon uusi kuormitus-teho tulisi olemaan eri tehtaiden varavoimatarpeiden- ja verkon nykyisen kuormituksen yhteenlaskettu näennäisteho kaavan 8 mukaisesti.



$$S_{\text{kok}} = S_{\text{nykyinen}} + S_{\text{TI}} + S_{\text{TIV-1}} + S_{\text{TIV-3}} \quad (8)$$

, jossa

$S_{\text{kok}}$  on varavoimalaitoksen DGI-1:n syöttämän verkon kokonaisteho suunniteltujen lisäysten jälkeen (VA)

$S_{\text{nykyinen}}$  on DGI-I:n syöttämän verkon nykyinen kuormitus (VA)

$S_{\text{TI}}$  on tehtaan TI varavoimatarpeiden yhteenlaskettu näennäisteho (VA)

$S_{\text{TIV-1}}$  on tehtaan TIV-1 varavoimatarpeiden yhteenlaskettu näennäisteho (VA)

ja  $S_{\text{TIV-3}}$  on tehtaan TIV-3 varavoimatarpeiden yhteenlaskettu näennäisteho (VA).

Varavoimalaitoksen DGI-1 syöttämän varavoimaverkon nykyinen kuormitusteho saatiin taulukosta 3. Tehtaan T1 varavoimatarpeiden yhteenlaskettu näennäisteho on laskettu taulukkoon 7. Tehtaan TIV-1 varavoimatarpeiden yhteenlaskettu näennäisteho on laskettu taulukkoon 8 ja tehtaan TIV-3 varavoimatarpeiden yhteenlaskettu näennäisteho taulukkoon 9. DGI-1:n syöttämän varavoimaverkon kuormitus suunniteltujen muutosten jälkeen saadaan sijoittamalla luetellut näennäistehot kaavaan 8.

$$S_{\text{kok}} = 136,6 \text{ kVA} + 115,2 \text{ kVA} + 151,7 \text{ kVA} + 37,2 \text{ kVA} = 440,7 \text{ kVA}$$

Kyseisen varavoimaverkon varavoimalaitoksen DGI-1 näennäisteho on 400 kVA, joka on vähemmän kuin vaadittu tehon tarve. Tästä syystä joitain suuria kuormituksia tulisi jättää pois varavoimaverkosta, jotta varavoimageneraattori ei ylikuormitu sähkökatkon aikana. Toinen vaihtoehto on liittää kaikki kuormitukset varavoimaverkkoon ja pitää huolen siitä, että kaikki varavoimaverkon kuormitus ei ole samaan aikaan päällä. Tämä onnistuu kyseisessä verkossa, sillä kaikki laitteet käynnistetään uudelleen sähkökatkon aikana automaatiojärjestelmän kautta.

DGI-I:n syöttämän varavoimaverkon keskusten lähdöt ovat täynnä, eikä toivottuja laitteita päästä suoraa liittämään varavoimaverkkoon. Tästä syystä keskus EOS6, jonka takana on lähes koko vesi- ja hienokemian varavoimaverkko, tulisi uusida. Keskus on vanha kotelokeskus ja kaikki lähdöt ovat käytössä, joten keskuksen uusiminen on suositeltavaa, mikäli varavoimatarpeet halutaan osaksi varavoimaverkkoa.

Koska varavoimatarpeiden tehot ovat suuria, varavoimatarpeiden liittäminen varavoimaverkkoon olisi helpointa toteuttaa, kuten keskus SFS-103.2 on toteutettu. Keskuksessa on tehty jako varmennettuihin ja varmistamattomiin kuormiin. Mikäli kaikki uudet varmennettavat keskuksat kaapeloitaisiin keskuksen EOS6 kautta, normaalin verkon muuntajan teho ei riittäisi. Vaikka ehdotettu ratkaisu tekisi varavoimaverkosta monimutkaisemman, se säästäisi muuntajan uusinnat, sekä paljon työtä.

Kaikki varmennettavat keskuksat liitetään varavoimaverkkoon keskusten omien syötönvaihtoautomaatiikoiden avulla. Keskuksat kaapeloidaan uusittavan keskuksen EOS6 kautta, mutta keskuksat saavat normaalisti syöttönsä nykyistä reittiä pitkin. Keskuksissa kuormat jaotellaan varmennettuihin ja varmistamattomiin kuormiin. Näin vältetään suurilta muutoksilta normaalissa verkossa, mutta pystytään toteuttamaan varmennettu syöttö halutuille kuormille.

## 5.2 Varvoimalaitoksen DGII-2 verkko

### 5.2.1 Verkon analyysi

DGII-2:n syöttämän verkon kuormitus mitattiin kolmesta eri pisteestä: keskukselta A4, keskukselta TT7 ja keskukselta NF-45. Keskusten syöttö ei tapahdu normaalissa tilanteessa generaattorin keskuksen KT03 kautta, joten keskusten kuormitukset tuli mitata erikseen. Kyseisen varavoimaverkon kuormitus saadaan laskemalla yhteen näiden kolmen mittauksen kuormitustehot.

Aivan kuten DGI-1:n mittauksissa, myös DGII-2:n syöttämän varavoimavarmennetun verkon kuormitustehot mitattiin ja laskettiin kolmen eri keskuksen huipputehojen keskiarvot kaavalla 6. Tämän jälkeen kyseisen varavoimaverkon kokonaistehot laskettiin kaavalla 9.

$$S_{\text{kok}} = S_{A4} + S_{NF-45} + S_{TT7} \quad (9)$$

jossa  $S_{\text{kok}}$  on varvoimalaitoksen DGII-2:n syöttämän verkon kokonaisteho (VA)

$S_{A4}$  on keskuksen A4 mitattujen huipputehojen keskiarvo (VA)

$S_{NF-45}$  on keskuksen NF-45 mitattujen huipputehojen keskiarvo (VA)

ja  $S_{TT7}$  on keskuksen TT7 mitattujen huipputehojen keskiarvo (VA).

Myös DGII-2:n syöttämän varavoimaverkon pätö- ja loistehot voidaan laskea sijoittamalla pätö- ja loistehojen mittaustuloksetkaavoihin 6 ja 9 näennäistehojen paikalle. Taulukkoon 10 on laskettu verkon jokaisen vaiheen, sekä koko verkon keskiarvo näennäistehoista. Lisäksi taulukkoon on kirjattu vaiheiden ja koko verkon minimi- ja maksimitehot, joiden avulla nähdään, kuinka suurella välillä teho vaihtelee varavoimaverkossa. Taulukkoon 11 on kirjattu vastaavat pätötehojen arvot ja taulukkoon 12 vastaavat loistehojen arvot.

TAULUKKO 10. Varavoimalaitoksen DGII-2:n syöttämän verkon näennäistehot.

Vaihe	Minimi (VA)	Keskiarvo (VA)	Maksimi (VA)
L1	37223,0	37521,4	38167,0
L2	37088,1	37846,5	38571,6
L3	40729,5	41394,1	42347,9
Yhteensä	116254,3	117624,3	119356,2

TAULUKKO 11. Varavoimalaitoksen DGII-2:n syöttämän verkon pätötehot.

Vaihe	Minimi (W)	Keskiarvo (W)	Maksimi (W)
L1	28456,7	29037,9	29670,5
L2	29265,9	29622,7	30075,1
L3	31693,5	32779,7	33716,4
Yhteensä	89955,5	91513,7	93057,4

TAULUKKO 12. Varavoimalaitoksen DGII-2:n syöttämän verkon loistehot.

Vaihe	Minimi (Var)	Keskiarvo (Var)	Maksimi (Var)
L1	22927,2	23569,1	23736,4
L2	22118,0	22728,3	23062,1
L3	24006,1	24910,1	25354,8
Yhteensä	71748,6	72812,7	73367,0

Taulukosta 10 nähdään, että DGII-2:n syöttämän varavoimaverkon kuormitus on jakaantunut epätasaisesti. Eniten kuormaa on kolmannella vaiheella ja vaihtelu on jopa 4 kVA. Ensimmäisen ja toisen vaiheen kuormitus on lähes yhtä suuri. Ratkaisuna vinokuormitukselle on siirtää yksivaiheisia kuormituksia kolmannelta vaiheelta tasaisesti vaiheille yksi ja kaksi.

Koska varavoimaverkon DGII-2:n keskusten syötöt tapahtuvat normaalissa tilanteessa eri muuntopiireistä, ei normaalissa tilanteessa pystytä mittamaan koko varavoimaverkon tehokertoimia.  $PF$ :n ja  $\cos \varphi$ :n vertailu tehtiin tässä varavoimaverkossa keskuskohtaisesti. Nämä keskuskohtaiset tehokertoimet on kirjattu taulukoihin 13 ja 14.

TAULUKKO 13. Varavoimaverkon DGII-2 keskuskohtaiset tehokertoimen  $PF$  arvot.

Keskus	Minimi PF	Keskiarvo PF	Maksimi PF
A4	0,56	0,57	0,57
NF-45	0,76	0,77	0,77
TT7	0,8	0,81	0,81

TAULUKKO 14. Varavoimaverkon DGII-2 keskuskohtaiset  $\cos \varphi$ :n arvot.

Keskus	Minimi $\cos \varphi$	Keskiarvo $\cos \varphi$	Maksimi $\cos \varphi$
A4	0,56	0,56	0,56
NF-45	0,76	0,77	0,78
TT7	0,8	0,81	0,81

Taulukon 13 ja 14 mukaan  $PF$ :n ja  $\cos \varphi$ :n erotus oli maksimissaan 0,01 yksikköä, joten kyseisessä varavoimaverkossa ei esiinny merkittäviä yliaaltoja.

### 5.2.2 Kehityssuunnitelma

Kloraattitehtaalta TIII-2 löytyi kolme pumppua, jotka olisi syytä liittää varavoimavarmenteen verkkoon. Kyseiset pumput, sekä niiden tehot on kirjattu taulukkoon 15. Yhteensä pumppujen sähköteho on 70,4 kVA.

TAULUKKO 15. Varavoimaverkon laajennustarpeet tehtaalla TIII-2

Laite	Positio	Teho <sub>mek</sub> (kW)	Teho <sub>säh</sub> (kW)	Teho <sub>säh</sub> (kVA)
Kyllästimen syöttösäiliön pumppu 1	B-2-10	3	3,5	4,0
Kyllästimen syöttösäiliön pumppu 2	B-2-11	3	3,5	4,0
Kennojen pesu- ja tyhjennyspumppu	E-2-05	50	53,0	62,3
Yhteensä		56	60,0	70,4

Kloraattitehtaalta TIII-3 löytyi yksi 110 kW:n kierrätyspumppu, jota tarvitaan sähkökatkon aikana. Kyseisen pumpun sähköinen näennäisteho on 134,5 kVA. Kyseisen pumpun muut tiedot on koottu taulukkoon 16.

TAULUKKO 16. Varavoimaverkon laajennustarpeet tehtaalla TIII-3.

Laite	Positio	Teho <sub>mek</sub> (kW)	Teho <sub>säh</sub> (kW)	Teho <sub>säh</sub> (kVA)
Liuksen kierrätyspumppu	E-2-301	110	115,7	134,5

Mikäli kaikki taulukoiden 15 ja 16 pumput lisättäisiin varavoimaverkkoon, verkon uusi kuormitusteho tulisi olemaan eri tehtaiden varavoimatarpeiden- ja verkon nykyisen kuormituksen yhteenlaskettu näennäisteho kaavan 10 mukaisesti.

$$S_{\text{kok}} = S_{\text{nykyinen}} + S_{\text{TIII-2}} + S_{\text{TIII-3}} \quad (10)$$

, jossa

$S_{\text{kok}}$  on varavoimalaitoksen DGII-2:n syöttämän verkon kokonaisteho suunniteltujen lisäysten jälkeen (VA)

$S_{\text{nykyinen}}$  on DGII-2:n syöttämän verkon nykyinen kuormitus (VA)

$S_{\text{TIII-2}}$  on tehtaan TIII-2 varavoimatarpeiden yhteenlaskettu näennäisteho (VA)

ja  $S_{\text{TIII-3}}$  on tehtaan TIII-3 varavoimatarpeiden yhteenlaskettu näennäisteho (VA).

DGII-2:n syöttämän varavoimaverkon nykyinen kuormitus saatiin taulukosta 10. Tehtaan TIII-2 varavoimatarpeiden yhteenlaskettu näennäisteho on laskettu taulukkoon 15 ja tehtaan TIII-3 varavoimatarpeiden tehokuormitus saatiin taulukosta 16. DGII-2:n syöttämän varavoimaverkon kuormitus suunniteltujen muutosten jälkeen saadaan sijoittamalla luetellut näennäistehot kaavaan 10.

$$S_{\text{kok}} = 117,6 \text{ kVA} + 70,4 \text{ kVA} + 134,5 \text{ kVA} = 322,5 \text{ kVA}$$

Nykyinen varavoimageneraattori DGII-2 on nimelliseltä teholtaan 315 kVA, joka jää 7,5 kVA suunnitellusta laajennuksesta. Lisäksi kuormituksessa ei ole huomiotu kahta polarisaatiotasasuuntaajaa, jotka liitetään hankinnan jälkeen varavoimaverkkoon. Näistä syistä johtuen, uuden varavoimalaitoksen hankinta sekä varavoimakoneikon tehon kasvattaminen 400 kVA:iin on suositeltava ratkaisu.

Myös DGII-2:n varavoimatarpeille tulee tehdä priorisointi. Mikäli suuria pumppuja ei tarvitse käyttää samaan aikaan, säästytään priorisoinnilta ja kaikki kaavailtu kuormitus on mahdollista liittää osaksi varavoimaverkkoa. Ongelmaksi pumppujen liittämiseksi tulee varavoimakeskukset, joissa ei ole vapaita lähtöjä. Nykyisiä keskuksia tulee laajentaa, jotta varavoimatarpeet saadaan liitettyä osaksi varavoimaverkkoa.

Varavoimalaitoksen DGII-2 nykyinen näennäisteho on 315 kVA ja taulukossa 16 esitetty liuoksen kierrätyspumppun näennäisteho on 134,5 kVA. Kierrätyspumppun teho on noin 43 % varavoimalaitoksen tehosta, joten varavoimalaitos DGII-2 ei kykene käynnistämään kyseistä kierrätyspumppua. Mikäli varavoimalaitos uusitaan ja koneikon kokoa kasvatetaan 400 kVA, pumppun tehon suhteellinen osuus varavoimalaitoksen tehosta olisi 34 %. Uusi varavoimalaitos saattaa kyetä käynnistämään kyseisen pumppun, mutta koko varavoimaverkon toimivuuden kannalta kierrätyspumppulle on suositeltavaa hankkia pehmoikäynnistin, joka rajoittaa pumppun moottorin ottamaa suurta käynnistysvirtaa ja helpottaa pumppun käynnistämistä.

### 5.3 Varavoimalaitoksen DG4-11 verkko

#### 5.3.1 Verkon analyysi

Varavoimalaitoksen DG4-11:n syöttämän verkon kuormitus mitattiin keskukselta N4K03. Koko muu varmennettu verkko on tämän keskuksen takana, joten mittaus tehtiin keskuksen syöttökaapelista. Mittaustuloksiin on lisätty TIII-4:n polarisaatiotasasuuntaajan-, sekä reaktiosäiliön pumppun tehot, koska nämä kuormitukset eivät olleet mittaustilanteessa käynnissä. Taulukkoon 17 on kirjattu DG4-11:n syöttämän varavoimaverkon näennäistehot. Taulukkoon 18 on kirjattu vastaavat pätötehot ja taulukkoon 19 vastaavat loistehot.

TAULUKKO 17. Varavoimalaitoksen DG4-11:n syöttämän verkon näennäistehot.

Vaihe	Minimi (VA)	Keskiarvo (VA)	Maksimi (VA)
L1	51220,0	51584,3	51920,0
L2	50300,0	50715,0	50920,0
L3	51620,0	51894,5	52420,0
Yhteensä	153400,0	154054,4	154800,0

TAULUKKO 18. Varavoimalaitoksen DG4-11:n syöttämän verkon päätötehot.

Vaihe	Minimi (W)	Keskiarvo (W)	Maksimi (W)
L1	43561,7	44057,5	44370,9
L2	43561,7	43793,2	44101,1
L3	43831,4	44411,0	45045,2
Yhteensä	130954,8	132260,2	133382,4

TAULUKKO 19. Varavoimalaitoksen DG4-11:n syöttämän verkon loistehot.

Vaihe	Minimi (Var)	Keskiarvo (Var)	Maksimi (Var)
L1	26236,0	26400,2	26640,6
L2	24752,4	25227,1	25696,5
L3	26236,0	26387,9	26910,3
Yhteensä	77593,1	78230,7	79211,5

Taulukosta 17 nähdään, että varavoimaverkon kuormitus on jakaantunut tasaisesti kaikille vaiheille, eikä suuria kuormitus eroja ole. Toinen vaihe on hieman vähemmän kuormitetumpi kuin vaiheet yksi ja kaksi, mutta ero on suhteellisen pieni.

Taulukossa 20 on esitetty mitatut tehokertoimien arvot varavoimaverkosta DG4-11. Tehokertoimet  $PF$  ja  $\cos \varphi$  olivat mittauksissa hyvin lähellä toisiaan ja vaihtelu oli suurimmillaan mittaustuloksessa 0,01. Näin ollen voidaan olettaa, että yliaaltojen osuus varavoimaverkossa on hyvin vähäistä.

TAULUKKO 20. Varavoimaverkon DG4-11:n tehokertoimet.

Suure	Minimi	Keskiarvo	Maksimi
PF	0,79	0,83	0,85
$\cos \varphi$	0,79	0,83	0,85

### 5.3.2 Kehityssuunnitelma

Kloraattitehtaan TIII-4:n kaikki varavoimavarmennettavat kuormat ovat jo varavoimaverkossa, eikä tehtaan käytöltä tullut mitään uusia varavoimatoiveita. Tämän lisäksi verkon varavoimalaitoksen varavoimageneraattorilla on reilusti ylimääräistä tehokapasiteettiä ja koneikko on melko uusi. DG4-11 nimellinen sähköteho on 325 kVA, kun taulukon 17 perusteella verkon huipputeho on 154,7 kVA. Tarvittaessa pystyttäisiin käyttämään hyödyksi DG4-11:n ylimääräistä tehokapasiteettiä muilla kloraattitehtailla. Esimerkiksi 110 kW:n kierrätyspumppu TIII-3:lla voitaisiin lisätä DG4-11:n varavoimaverkkoon.

## 6 KUSTANNUSLASKELMA

Laskettaessa kokonaishintaa projektille, haastavin osuus on tarvittavien tarvike- ja työmäärien selvittäminen. Koska projekti on tarkoitus toteuttaa kokonaan alihankintana, projektin arvioitu kokonaishinta tulee sisältämään kaikki urakkaan vaadittavat tarvikkeet ja työmäärän. Kokonaishinta määritellään laskemalla yhteen varsinaisen urakan tarvikkeet ja -työkustannukset, sekä erilliskustannukset. Lopulliseen hintaan sisältyy kohdekohtaisesti arvioidut riskit, kustannusnousuvaraukset hankinnoille, sekä kustannusnousuvaraukset työlle sosiaalikuluneen. Tässä opinnäytetyössä lasketaan kokonaishinta, jonka on tarkoitus olla suuntaa antava kustannusarvio suunnitelmalle. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2012, 42.)

Työn kustannusten arviointi lähti liikkeelle uusien keskusten ja varavoimalaitoksen hinnoittelusta. Uuden varavoimakoneikon hinnoittelussa käytettiin apuna toimeksiantajayrityksen laitetoimittajakontaktia, jolla on tietoa tehtaasta ja sen varavoimalaitoksista. Varavoimakoneen DGII-2:n uusiminen sisältää koko varavoimalaitoksen uusimisen, asennuksen ja käyttöönoton. Projektin muu työvoiman tarve arvioidaan ja hinnoitellaan. Uusista keskuksista kysyttiin alihankkijalta tarjous.

Taulukossa 21 on esitetty kustannuslaskelma varavoimaverkon kehittämissuunnitelmalle. Suuret materiaalihankinnat, kuten uudet keskuksat ja varavoimalaitos DGII-2 on kirjattu omina osinaan ja muut asennustarvikkeet, kuten kaapelit on sisällytetty kohtaan asennustarvikkeet.

TAULUKKO 21. Kustannuslaskelma Äetsän tehtaan varavoimaverkon kehityssuunnitelmalle.

	Kustannus (€)
Varavoimalaitoksen DGII-2 uusiminen	77000
Keskuksen EOS6 uusiminen	15500
Keskuksen NF-45 uusiminen	15900
Keskuksen TT7 uusiminen	11800
Pistorasiakeskus TIV-1:lle	1200
Asennustarvikkeet	7500
Työkustannukset	12000
<b>Yhteensä</b>	<b>140900</b>



Työkustannuksia on ilman tarkkoja suunnitelmia vaikea määritellä. Varsinaisen asennustyön lisäksi kehityssuunnitelman täytäntöönpano sisältää suunnitelmien laadintaa, piirustusten päivitystä, työsuunnittelua ja vanhojen asennusten purkamista. Koko projektia on haastavaa toteuttaa kerralla ja asennustyöt vaativat tehdasseisakkia. Jotta projekti pystytäisiin toteuttamaan tehdasseisakin aikana, alihankkijalla saatetaan joutua teettämään ylitöitä.

Kun huomioidaan kehityssuunnitelman riskit ja kustannusnousuvaraukset hankinnoille, voidaan arvioida kustannusten nousevan 150 000:n euroon. Vaikka kustannuslaskelma ei ole täysin tarkka työkustannusten ja asennustarvikkeiden osalta, niiden suhteellinen osuus suunnitelman kustannuksista on pieni verrattuna isoihin varavoimalaitos- ja keskushankintoihin.

## 7 KEHITYSSUUNNITELMAN YHTEENVETO

Kehityssuunnitelman laadinnan lähtökohtana oli saada tietoon nykyisen varavoimaverkon kuormitustehot. Äetsän tehtaan varavoimaverkko ei ole yhden keskuksen takana oleva säteittäinen verkko, vaan se koostuu kolmesta erillisestä varavoimaverkosta. Lisäksi normaalissa tilanteessa useat varavoimakeskukset saavat syöttönsä toisista muuntopiiristä ja kytkeytyvät syötönvaihtoautomaatiikoiden kautta osaksi varavoimaverkkoa vasta sähkökatkon sattuessa. Tästä syystä mittauksia tuli tehdä useasta eri pisteestä ja laskea mitatut kuormitustehot yhteen. Mittaukset toteutettiin kokonaisuudessaan Fluke 434-mittarilla.

Mittauksista saadut kuormitustehot olivat realistisia verrattuna siihen, mitä kuormitusta oli verkon takana. Sähkön laadussa ei myöskään havaittu mitään poikkeavaa ja mittaus tulokset osoittivat sähkön olevan laadultaan hyvää varavoimaverkossa. Voidaan olettaa, että sähkökatkon aikana kaikki varavoimavarmennetut kuormat toimivat ilman ongelmia.

Saatuja kuormitusten tehomittauksia yhdessä varavoimatarpeiden kanssa verrattiin varvoimalaitosten varvoimageneraattorien nimelliseen sähkötehoon. Vertailussa huomattiin vesi- ja hienokemian tehtaiden kuormitustehojen ylittävän varvoimalaitoksen DGI-I varvoimageneraattorin nimellisen tehon, mikäli kaikki toivotut kuormat lisättäisiin varvoimaverkkoon. Kuormat tulee joko priorisoida tai kehittää järjestelmä, jolla varmistetaan, etteivät kaikki kuormitukset ole yhtä aikaa päällä. Kloraattitehtaita TIII-2 ja TIII-3 syöttävä varvoimalaitos DGII-2 puolestaan pystyy kattamaan nykyisen kuormituksen, sekä toivotut varvoimatarpeet, mikäli varvoimalaitos uusitaan ja tilalle otetaan nykyistä kokoa suurempi varvoimageneraattori. Kloraattitehtaalle TIII-4 varvoimatarpeita ei ollut ja nykyisen varvoimageneraattorin teho on riittävä tehtaan tarpeisiin.

Mitään suunniteltua kuormitusta ei pystytä suoraa liittämään varvoimaverkkoon, koska varvoimatarpeet eivät sijaitse varmennetuissa keskuksissa. Kustannustehokkain ratkaisu on varustaa varvoimatarpeiden keskuksat syötönvaihtoautomaatiikoilla ja varmentaa täten halutut kuormitukset. Tämä ratkaisu monimutkaistaa varvoimaverkon rakennetta, mutta säästytään suurilta muutoksilta ja kaapeloinneilta. Joka tapauksessa nykyisiä varmennettuja keskuksia EOS6, NF-45 ja TT7 on laajennettava tai kokonaan uusittava, koska vapaita lähtöjä kyseisissä keskuksissa ei ole.

Kehityssuunnitelmalle laadittiin kustannuslaskelma, joka sisälsi varavoimalaitoksen DGII-2 uusimisen, kolme uusittavaa keskusta, uuden pistorasiakeskuksen, sekä asennustarvikkeet ja työkustannukset. Kun kaikki arvioidut kustannukset laskettiin yhteen, saatiin tuloksena 140 900 euroa. Riskien ja kustannusnousuvarausten kanssa tulokseksi saatiin 150 000 euroa. Vaikka kustannuslaskelma ei ole täysin luotettava työkustannusten ja asennustarvikkeiden osalta, niiden suhteellinen osuus suunnitelmassa on pieni verrattuna laite- ja keskushankintoihin. Tästä syystä kustannuslaskelma on riittävän tarkka, jotta laadittua suunnitelmaa voidaan lähteä viemään eteenpäin tietäen sen melko tarkat kustannukset.

Työn avulla saatiin selville Äetsän tehtaan varavoimaverkon nykyinen tilanne kuormitus-tehojen ja sähkön laadun osalta. Lisäksi työssä perehdyttiin varavoimaverkon kehittämiseen. Työlle asetetuissa tavoitteissa onnistuttiin ja saatiin kasaan aineisto, jota voidaan käyttää Äetsän tehtaalla pohjana suunnittelussa ja varavoimaverkon tietokantana.

## LÄHTEET

AGCO Corporation. 2017. Diesel generating sets. Luettu 19.2.2017.

<http://www.agcopower.com/en/products/power-generation/diesel-generating-sets/>

Aura, L. Tonteri J. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. 1. painos. Helsinki: WSOY.

ABB Oy. 2017. Pienjännitekojeistotuotteet ja kiskosillat: Myynti.

ABB Oy. 2010. Pienjännitetuotteet: Hinnasto 2010. Luettu 05.03.2017

[http://abb.smartpage.fi/fi/hinnasto10/pdf/ABB\\_Hinnasto\\_2010.pdf](http://abb.smartpage.fi/fi/hinnasto10/pdf/ABB_Hinnasto_2010.pdf)

ABB Oy. 2009. TTT-käsikirja, UPS-laitteet.

Eaton Corporation. 2012. UPS-käsikirja Euroopan versio.

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. 1.painos. Vantaa: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Hietalahti, L. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. 1.painos. Vantaa: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Kemira Oyj. 2015. Tilinpäätös 2015.

Kemira Oyj. 2016. Perehdytysaineisto Äetsän toimipaikka.

Kemira Oyj. 2017. Äetsän tehtaan SA-osasto.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2014. Sähköurakoitsijan tarjouslaskenta. Tampere: Tammerprint Oy.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2006. Yliaallot ja kompensointi. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Sähkönumerot.fi. 2017. Luettu 13.2.2017.

<http://www.sahkonumerot.fi/3405166/>

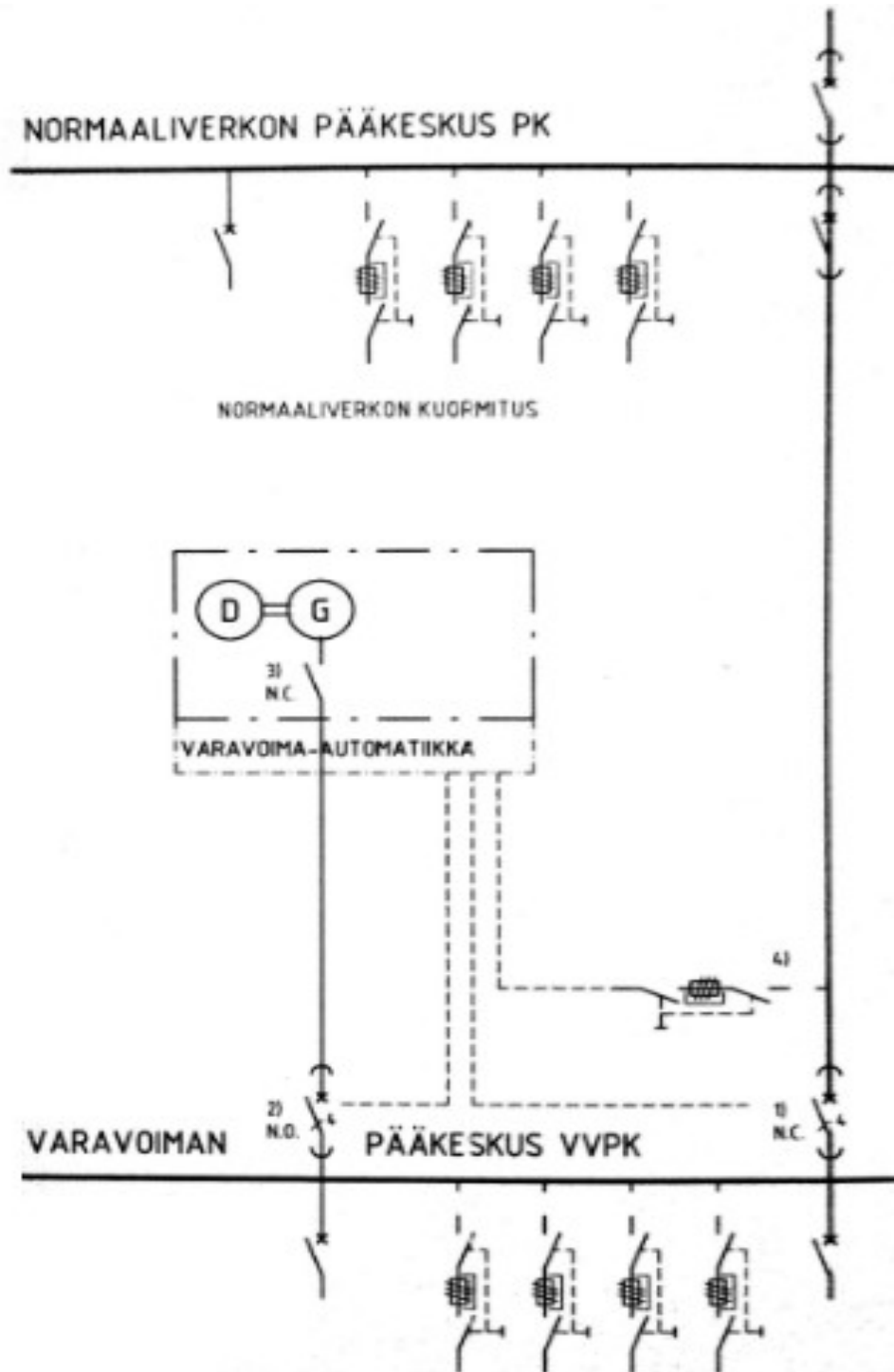
Sähkötieto ry. 2016. ST 52.15: Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sähkötieto ry. 2014. ST 52.16: Yliaaltosuodatinlaitteet ja niiden sijoitus alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. Espoo: Sähköinfo Oy.

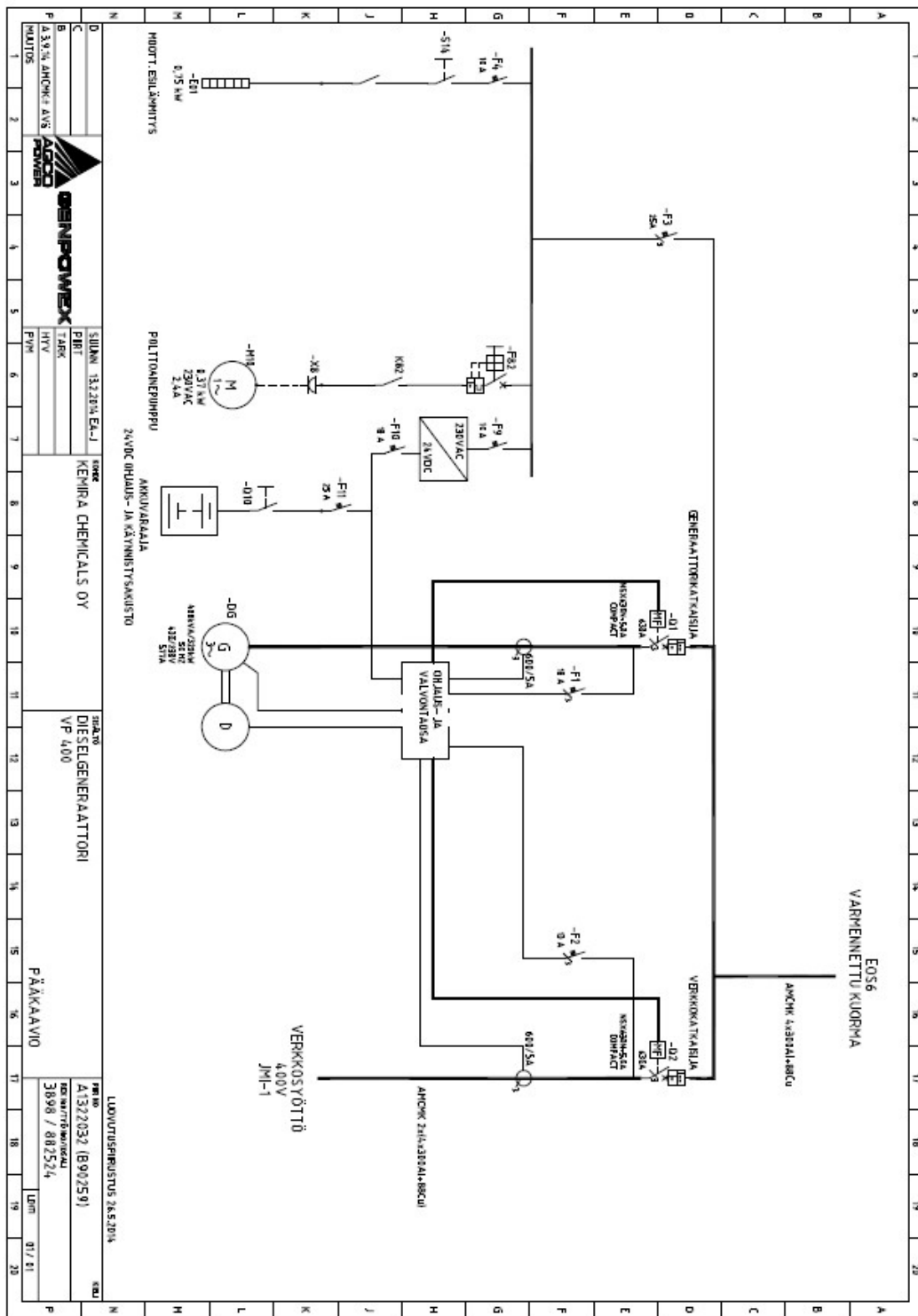
Sähkötieto ry. 2013. Varavoimalaitokset. 3. uudistettu painos. Tampere: Tammerprint Oy.

## LIITTEET

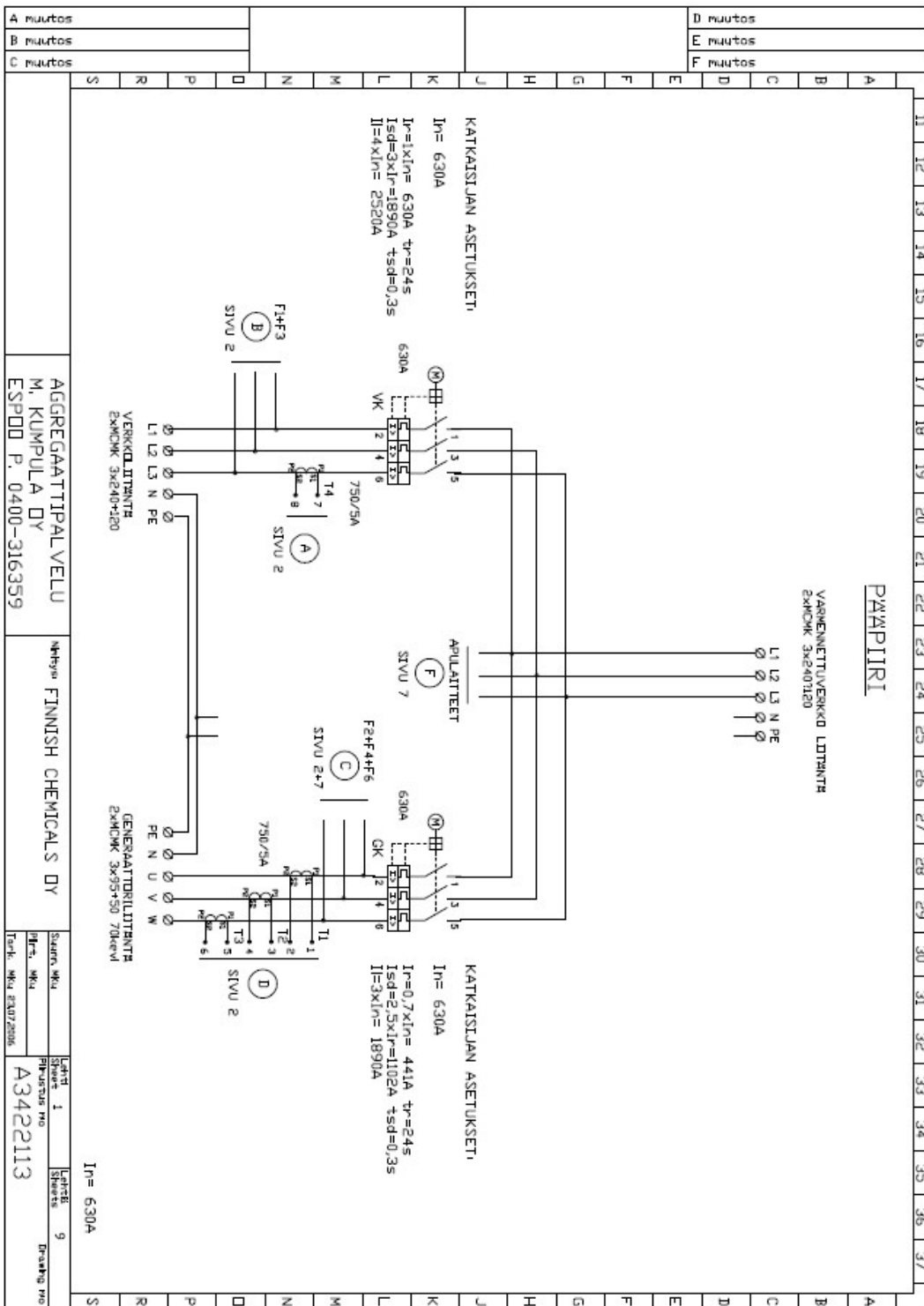
Liite 1. Pääkaavio ison varavoimakoneikon liittämistavaksi. (Sähkötieto ry 2013, 40.)



Liite 2. Dieselgeneraattori DGI-1:n pääkaavio. (Kemira Oyj 2017.)



Liite 3. Dieselgeneraattori DG4-11:n pääkaavio. (Kemira Oyj 2017.)



## Liite 4. ABB:n 63A pistorasiakeskuksen tekniset tiedot. (Sähkönumerot.fi, 34 051 66.)

Pistorasiakeskus - 63A, IP44, Plastic, Size 250x5 -  
ABB Pj-kojeet

Sähkönumero	34 051 66
Yleisnimi ja tuotesarja	Pistorasiakeskus
Tekninen nimi	63A, IP44, Plastic, Size 250x5
Pitkä tuotenimi	63A, IP44, Plastic, Size 250x560x160, 3xSchuko, 1x16A, 1x32A, 1x63A 3PNE, RCD
GTIN-koodi	7392696689892
Toimittajan tuotekoodi	MPR63
Toimittajan tuotekoodi 2	2CMA168989R1000
Toimittaja	ABB Oy /
Tuotemerkki	ABB Pj-kojeet
Tuoteryhmä	34 Keskuksset ja keskuksien osat >=IP34 sekä kotelot ja osat >=IP20

**Modular Combi, muovikoteloitu**

Kotelo: Vankka kestopuovinen

Suojausluokka: IP44, roiskevesitiivis

Mitat: Taulukon (alla) tai asiakkaan tilauksen mukainen

Pistorasiat: Combi Plastic on suunniteltu erityyppisille yksivaiheisille normaaleille pistorasioille ja 3-vaiheisille pistorasioille 63A saakka. Mukana voi olla myös pistotulpan lukituksella varustettuja 3-vaiheisia pistorasioita.

Kaapeliäpiviennit: 4 poislyötävää ahiota ylhäällä. Sopivat 2 x ø 40 mm ja 2 x ø 25 mm.

Pohjassa 3 x ø 47 mm.

Kaapelikoko: 2 x 16 mm<sup>2</sup> Cu. Sopivat ketjutukseen

Peitekannet: Johdonsuojille / vikavirtasuojille, enintään 13 modulia, 2 avointa ja loput rivistä aukotettavissa. DIN-kisko pohjassa liittimille ja johdonsuojille/vikavirtasuojille.

Pohjasta nostettu kisko sallii johtojen vedon kiskon alle. Kansi on lukittavissa munalukolla.

Nimellisjännitteet 230/400 V~

**Tekniset tiedot (ETIM)****Tuotteen mitat**

PiL. mm	Kork. mm	Lev. mm	Paino kg	Tilav. l
620	160	250	5.4	24.8

**Tuotteen täydentävät tiedot**

Alkuperämaa	Takuuaika (kk)	Tullinimike	UNSPSC-koodi	ETIM-luokka
SE	12	85366990		
Käyttöyksikkö	Muunnoskerroin	Myyntiyksikkö	Muutospäivä	Julkaisupäivämäärä
PCE	1	PCE	27.01.2016	20.12.2002

**STUL-TAKUUI**