

VARAVOIMAKONEEN MITOITUS

Lehto Jaakko

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Jaakko Lehto	Vuosi	2019
Ohjaaja	DI Jaakko Etto		
Toimeksiantaja	Pöyry Finland Oy Esa Suorsa		
Työn nimi	Varavoimakoneen mitoitus		
Sivu- ja liitesivumäärä	36 + 3		

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Pöyry Finland Oy:lle teollisuuden projektiin varavoimakoneen mitoitus. Tavoitteena oli selvittää varavoimakoneen mitoitukseen vaikuttavat asiat siten, että lähetettävään tarjouspyyntökyselyyn saadaan mahdollisimman tarkkaa tietoa. Työn tavoitteena ei ollut suunnitella koko varavoimajärjestelmää tai varavoimakonetta vaan tuottaa tiedot varavoimakoneen mitoituksesta.

Tämän opinnäytetyön kohteena oli teollisuusalueelle tuleva uudisrakennus, johon tullaan tarvitsemaan varavoimakonetta. Kyseisellä varavoimakoneella tullaan syöttämään rakennuksissa olevia laitteita, jotka liittyvät joko suorasti tai epäsuorasti turvallisuuteen. Kyseessä olevalla varavoimaverkolla ei ole tarkoitus ylläpitää kohteen normaaleja toimintoja, vaan pyrkiä varmistamaan kriittisten turvallisuuden liittyvien kohteiden toiminta sähkökatkon aikana.

Työssä tutkittiin varavoimakoneen tehon tarvetta kuormituksen näkökulmasta arvioimalla kuormituksen suuruutta, laatua ja kytkentäilmiöiden vaikutuksia sekä suojausien näkökulmasta arvioimalla johtolähtöjen suojausten toiminnan vaatiman oikosulkuvirran suuruutta.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin, käytössä oleva lähdemateriaali huomioiden, mahdollisimman tarkka arvio varavoimakoneen mitoituksesta. Varavoimakoneen mitoitukselle jäi tässä työssä muutamia epävarmuustekijöitä. Yhtenä epävarmuutena oli, että käytössä ei ollut tarkkoja tietoja kuorman tehokertoimista. Tässä työssä käytettiin arvioita kohteen tehokertoimelle. Toisena epävarmuustekijänä oli generaattorin oikosulkuvirran syöttökyvyn määrittäminen. Tästäkin muodostettiin arvio.

Työn tuloksia voidaan käyttää mitoitustehon suuruusluokan arvioinnissa. Oikosulkuvirran tarpeen määrittelyn tarkentuessa saadaan myös varavoimakone mitoitettua tarkalleen oikein käyttäen menetelmiä, jotka ovat tässä työssä kuvattuja.

Avainsanat
Muita tietoja

varavoima, varavoiman mitoitus, oikosulkuvirta.

Technology, Communication and Transport
Electrical Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Jaakko Lehto	Year	2019
Supervisor	Jaakko Etto, MSc		
Commissioned by	Pöyry Finland Oy		
Subject of thesis	Dimensioning for a Reserve Generator		
Number of pages	36 + 3		

The purpose of this thesis was to make the dimensioning for a reserve generator that is going to be used in an industry related project. The goal was to find out all aspects related to dimension the generator. The purpose of this work was not to do an overall design for the generator.

The subject of this work was a new building and process equipment that will require reserve power. The equipment that need the backup power is directly related to safety. The purpose of the reserve generator is not to make the normal use of the process equipment possible. The purpose is to ensure the working of the critical safety related devices.

Dimensioning for the reserve generator included aspects related to the loads that will be fed by the generator and the quality aspects of those loads. Another investigated factor was the cable protection aspect through the minimum shortcut currents required from the generator.

The result of this work was the best possible estimate of the size needed for the generator. There remained some unsure issues for the dimensioning. One uncertainty factor was that there were no precise information available about the power factors of the loads. The power factors were estimated. The second uncertainty factor was that there was not precise information available about the shortcut current needed from the generator. This was also estimated.

The results of this work can be used to evaluate the size of the generator needed.

Key words

reserve power, dimensioning of reserve generator

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 VARAVOIMAJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU.....	8
2.1 Suunnittelun perusteet	8
2.2 Esimerkitapaus.....	8
3 VARAVOIMALAITOKSEN SUUNNITTELU	10
3.1 Varavoimakoneet.....	10
3.2 Generaattorit.....	11
3.3 Varavoima turvallisuusnäkökulmasta.....	12
3.4 Tehokerroin ja näennäisteho	14
3.5 Mitoitusperiaatteet.....	17
3.6 Kuormat	20
3.6.1 Oikosulkumoottorit.....	20
3.6.2 Kapasitiivinen kuorma	21
3.6.3 UPS-laitteet ja elektroniikka.....	21
4 VARAVOIMAKONEEN MITOITUS	23
4.1 Kohteen varavoimajärjestelmä.....	23
4.2 Kuormat	25
4.3 Varavoimakoneen mitoitus ja laskelmat.....	27
4.4 Oikosulkuvirrat	29
4.5 Polttoainesäiliö.....	30
4.6 Tulokset	31
5 POHDINTA	34
LÄHTEET.....	36
LIITTEET.....	37

ALKUSANAT

Haluaisin kiittää Lapin Ammattikorkeakoulua osaavasta ja joustavasta ohjauksesta opinnäytetyön valmistelussa sekä toimeksiantaja Pöyry Finland Oy:ta osaavasta ohjauksesta sekä mahdollisuudesta tämän opinnäytetyön tekemiseen. Erityiskiitoksen haluaisin antaa perheelleni, joka on tukenut minua koko opiskeluiden ajan.

30.5.2019

Jaakko Lehto

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

UPS	Keskeytymätön virransyöttöjärjestelmä jolla voidaan taata virransyöttö lyhyissä sähkökatkoissa
PRP	ISO 8528-1 mukainen varavoimateho jolla laitosta voidaan käyttää

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella Pöyry Finland Oy:lle teollisuuden projektiin varavoimakoneen mitoitus. Opinnäytetyön tarkoituksena on havainnollistaa, miten varavoimakone liittyy sähköjärjestelmään sekä varavoimakoneen mitoituksen suunnittelu, perustuen projektin aikana hankittuun tietoon varavoimakoneella syötettävän laitteiston tehon tarpeesta, suojauksesta ja oikosulkuvirroista.

Työn tavoitteena on selvittää varavoimakoneen mitoitukseen vaikuttavat seikat siten, että lähetettävään tarjouspyyntökyselyyn saadaan mahdollisimman oikeellista tietoa. Työn tavoitteena ei ole suunnitella koko varavoimajärjestelmää tai varavoimakonetta, vaan tuottaa tiedot varavoimakoneen tehon tarpeesta.

Tämän opinnäytetyön kohteena on teollisuusalueelle tuleva uudisrakennus johon tullaan tarvitsemaan varavoimakonetta. Kyseisellä koneella tullaan syöttämään rakennuksissa olevia laitteita, jotka liittyvät joko suoraan tai epäsuoraan turvallisuuteen. Kyseessä olevalla varavoimajärjestelmällä ei ole tarkoitus ylläpitää kohteen normaaleja toimintoja, vaan pyrkiä varmistamaan kriittisten turvallisuuden liittyvien kohteiden toiminta sähkökatkon sattuessa.

Työssä tutkitaan varavoimakoneen tehon tarvetta ja mitoitusta kuormituksen näkökulmasta arvioimalla kuormituksen suuruutta ja laatua, sekä suojausien näkökulmasta arvioimalla johtolähtöjen suojausten toiminnan vaatiman oikosulkuvirran suuruutta.

2 VARAVOIMAJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

2.1 Suunnittelun perusteet

Varavoimajärjestelmää suunniteltaessa tulee pyrkiä mahdollisimman selkeään lopputulokseen. On järkevää pyrkiä noudattamaan vakiorakenteita mahdollisimman paljon, kuitenkin huomioiden kohteen vaatimukset. Järjestelmän rakentamisen kannalta on järkevää pyrkiä erottamaan toisistaan varmennetut ja varmentamattomat kuormitukset siten, että ne ovat syötettynä erillisistä keskuksista. Verkko on jaettava riittävän pieniin osiin, jolla varmistetaan sähkölaitteiston selektiivinen toiminta. Kytkevien komponenttien määrä on syytä pitää mahdollisimman pienenä, jotta järjestelmä säilyy mahdollisimman yksinkertaisena. (ST-Käsikirja 31 2019, 34-35.)

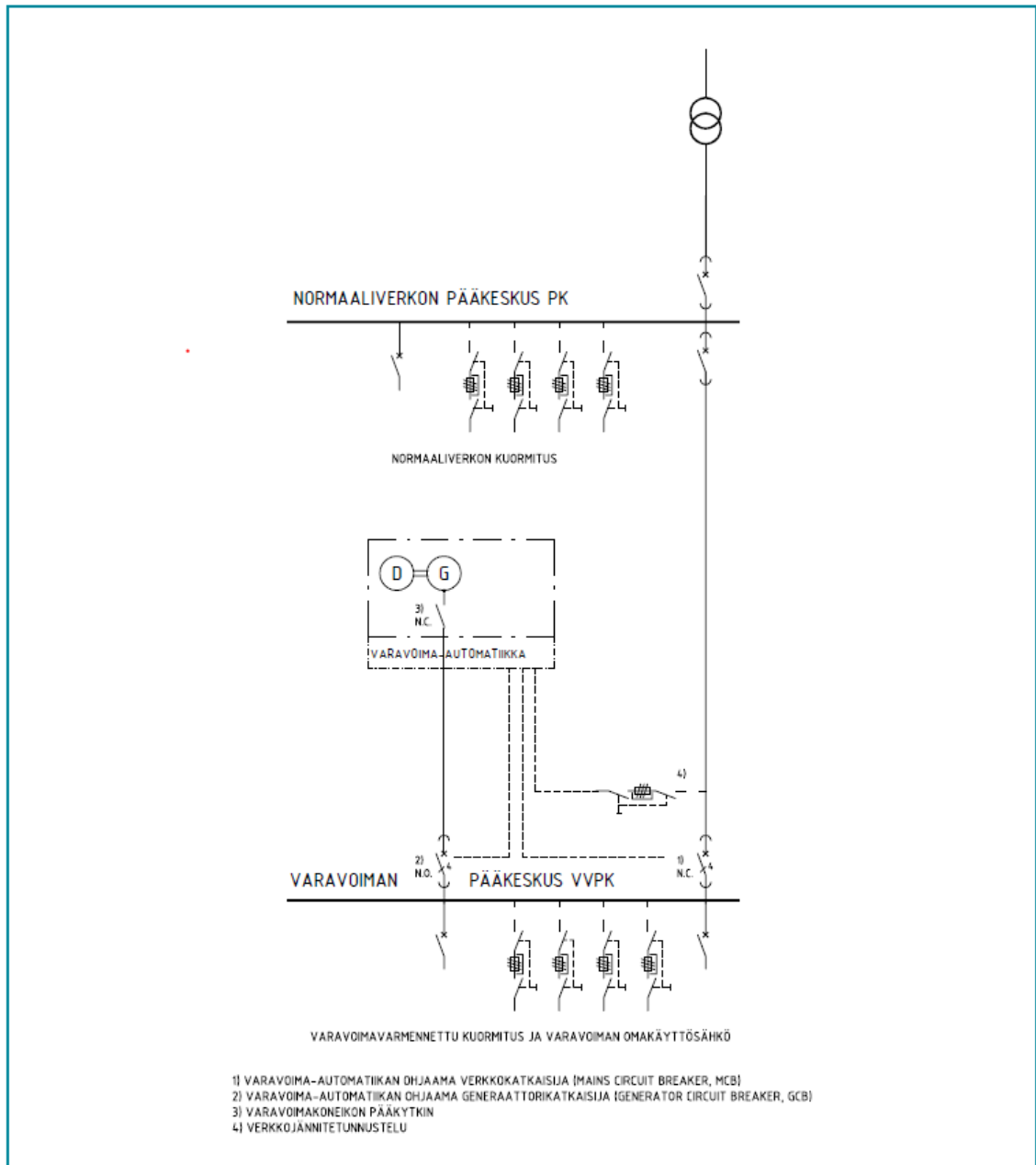
2.2 Esimerkkitapaus

ST- käsikirja 31:ssä ja monissa muissa lähteissä on esitetty useita erilaisia vaihtoehtoisia toteutuksia varavoimajärjestelmälle. Tämän opinnäytetyön tavoitteena ei ole suunnitella koko varavoimajärjestelmää, joten päädyimme esittämään tässä yhteydessä esimerkkitapauksen vastaavanlaisesta pääkaaviosta kuin mikä tämän opinnäytetyön kohteeseen on suunnitteilla.

Kuviossa 1 on esitettyä mallipääkaavio. Kyseinen järjestelmä on rakennettu siten, että verkosta otettu teho ei kulje suoraan varavoimakoneen kautta. Varavoimakone on erillisenä saarekkeena ja normaalitilanteessa katkaisijan 1 ollessa kiinni saa varavoiman pääkeskus syöttönsä suoraan verkosta. Verkkojännitteen kadottua aukeaa kyseinen katkaisija 1. Dieselmoottorin käynnistyttyä sulkeutuvat katkaisijat 2 ja 3, jolloin varavoiman pääkeskus saa syöttönsä dieselgeneraattorilta.

Kuviosta 1 huomataan selkeästi, että normaalitilanteessa varavoiman pääkeskus saa syöttönsä sähköverkosta. Pääkeskuksesta lähtevien johtojen suojaus on toteutettu siten, että suojausten selektiivinen toiminta on varmistettu normaalissa käyttötilanteessa. On huomioitava, että generaattorin syöttämä oikosulku-

virta on oltava riittävä, jotta kyseisen keskuksen kaikki suojaukset toimivat oikein.



Kuvio 1. Esimerkkipääkaavio (ST-Käsikirja 31 2019, 40).

3 VARAVOIMALAITOKSEN SUUNNITTELU

3.1 Varavoimakoneet

Varavoimajärjestelmä voi olla joko katkoton tai katkollinen. Katkoton sähköjakelu on toteutettu yleensä UPS- laitteilla, jotka sähköjakelun häiriötilanteessa toimittavat sähköä katkotta. Katkeava jakelujärjestelmä taas käsittää joko automaattisesti tai manuaalisesti käynnistettävän varavoimajärjestelmän. (ST-Käsikirja 20 2005, 57-58.)

Varavoimakone käsittää yleensä yhdistelmän, jossa dieselmoottori on liitetty yhteiselle alustalle generaattorin kanssa. Dieselmoottori ja generaattori on asennettu samalle alustalle, ja ne on varustettu värinäneristimillä. Rakenteellisesti yhdistelmän täytyy olla rakennettu siten, että moottori ja generaattori on linjattu toisiinsa nähden oikein, että laite kestää käytön ja kuljetuksen rasitukset. Moottorin ja generaattorin yhdistys voi olla joko kytkimellä, jolloin puhutaan kaksilaakerisesta generaattorista tai ilman, jolloin puhutaan yksilaakerisesta generaattorista. (ST-Käsikirja 31 2019, 90.)

Varavoimalaitosta rakennettaessa tulee pyrkiä rakentamaan laitteisto siten, että se on mahdollisimman vähän riippuvainen muista laitteista ja järjestelmistä. Varavoiman tuotannon kannalta kriittiset järjestelmät, kuten varavoimakoneen jäähdytyksen valvonnan tulee, olla liitettynä suoraan varavoimakonetta ohjaavaan automatiikkaan, eikä se saa olla riippuvainen ulkopuolisista järjestelmistä. Indikoinnin tulee vika- ja häiriötilanteissa siirtyä käyttöhenkilöstön tietoon. (ST-Käsikirja 31 2013, 16.)

Suunnittelussa on huomioitava, että koneen on täytettävä olennaiset EU:n direktiivit ja suomalaiset asiaankuuluvat viranomais määräykset. Sähköasennusten turvallisuutta määrittelee SFS 6000 standardi. Koneen mukana täytyy tulla laitetoimittajan allekirjoittama CE- vaatimustenmukaisuuden arviointi. Lisäksi kone täytyy varustaa tarvittavilla arvokilvillä, josta ilmenee olennaiset sähköjakeluun tarvittavat tiedot. (ST-Käsikirja 31 2019, 17.)

Varavoimakone voidaan sijoittaa joko lähelle kiinteistön pääkeskusta tai sellaiseen kohtaan, jossa varmennettua kuormaa on paljon. Ongelmana ensin maini-

tulla on, että mikäli kiinteistön pääkeskuksella on tulipalo, häiriintyy myös varavoiman jakelu. (ST-Käsikirja 31 2019, 33.) Toisaalta jälkimmäisessä vaihtoehdossa, mikäli kulutuskojeella on tulipalo, häiriintyy silloinkin varavoiman jakelu muille alueen varavoimaa tarvitseville laitteille.

Varavoimakone voi toimia saarekkeessa, jolloin verkko erottautuu omaksi saarekkeeseen häiriötilanteen sattuessa (ST-Käsikirja 20 2005, 73). Mikäli saarekkeessa käyvä varavoimakone halutaan tahdistaa verkkoon kun syöttö on palautunut ja näin välttää siirtokatkos, kutsutaan tällaista tilannetta katkotta verkkosyöttöön palautuvaksi. Mikäli halutaan ajaa laitoksella jakeluverkon rinnalla, esimerkiksi huipunajoa varten, puhutaan rinnalla toimivasta voimalaitoksesta. (ST-Käsikirja 20 2005, 78.)

Paluutahdistusta varten laitokseen tarvitaan järjestelmä, joka mahdollistaa pätö- ja loistehon vakavoinnin ja tahdistuksen. Mikäli laitoksella halutaan ajaa rinnan sähköverkon kanssa, tarvitaan lisäksi pätö- ja loistehon säädin, takateholaukaisun generaattorille sekä esto sähkönsyötölle laitoksen verkkoon päin verkkokatkostilanteessa. (ST-Käsikirja 20 2005, 78.)

Varavoimakone tuottaa voimakkaasti lämpöä käydessään. Varavoimakoneen jäähdytyksen hallinta on erittäin tärkeää varavoimakonetta hankittaessa. Varavoimakoneen käydessä polttoaineen energiasta vain noin 38-42 % voidaan muuttaa sähköksi. Loppu energia siirtyy lämpönä joko generaattorin jäähdytysjärjestelmään tai pakokaasujen kanssa ulos. (ST-Käsikirja 31 2019, 53.) Lisäksi generaattori tarvitsee huomattavan paljon korvausilmaa käydessään. 1 MVA:n kokoinen generaattori tarvitsee imuilma-aukon pinta-alaa kuusi neliömetriä. (ST-Käsikirja 31 2019, 55.)

3.2 Generaattorit

Voimalaitoksissa käytettävät generaattorit ovat lähes poikkeuksetta tahtigeneraattoreita. Tahtigeneraattorin pyörimisnopeus on suorassa suhteessa verkon taajuuteen. Tahtigeneraattorin on pyörittävä tietyllä nopeudella, ja jos tämä ei toteudu eli generaattori putoaa tahdistasta, on generaattori irrotettava verkosta. (Rajala 2015, 9.)

Tahtigeneraattorin erona epätahtikoneisiin on, että roottorin magnetointikäymykselle syötetään tasavirtainen magnetointivirta. Tahtigeneraattorit voidaan jakaa kahteen ryhmään roottorin rakenteensa puolesta. Niitä on avo- ja umpinapaisia. Avonapaisessa roottorissa akselille ja roottorille on sijoitettu vastaava määrä napoja, ja oman magnetointikäyminsä avulla ne magnetoituvat S ja N navoiksi. Avonapaisen koneiden käyttökohteita ovat hitaasti pyörivät koneet. Umpinapaisessa roottorissa uria ei ole tasaisesti koko roottorin kehällä, vaan väliin on jätetty magnetointinapoja. Umpinaparootteita käytetään nopeasti pyörivissä generaattoreissa. Avonapageneraattori on halkaisijaltaan suuri, kun taas umpinapageneraattori on pituudeltaan suuri. (Rajala 2015, 7-9.)

ST-käsikirjassa 31 suositellaan varavoimakoneissa käytettäväksi kolmivaiheista sisänapatahtigeneraattoria, joka on harjaton. Käsikirja asettaa generaattorille vaatimuksia muun muassa ylivirran kestolle ja oikosulkuvirran antokyvyille. Generaattorin tulee kestää 2,5 kertainen generaattorin nimellisvirtaan suhteutuva ylivirta kymmenen sekunnin ajan, ja vastaavasti tulee pystyä tuottamaan jatkuvaa kolmivaiheista oikosulkuvirtaa 3 kertaisesti generaattorin nimellisvirtaan nähden 10 sekunnin ajan. Generaattorin jännitteen on noustava nimelliseen jännitteeseen kahden sekunnin kuluessa siitä, kun generaattori on saavuttanut nimellisen pyörimisnopeutensa. (ST-Käsikirja 31 2019, 94.)

3.3 Varavoima turvallisuuskulmasta

Varavoimakoneen tarve perustuu aina joko turvallisuuskulmaan tai taloudellisten etujen turvaamiseen. Turvallisuuskulma voidaan jakaa kahteen erilliseen ajatusmalliin, joko henkilöturvallisuuden varmistamiseen tai omaisuuden hallintaan. (ST-Käsikirja 20 2005, 27.)

Mikäli varavoimajärjestelmää käytetään turvaamaan henkilöturvallisuutta, kutsutaan järjestelmää aina nimellä turvasyöttöjärjestelmä. Turvasyöttöjärjestelmän käsite on laaja ja se käsittää monia erilaisia järjestelmiä, kuten esimerkiksi paloilmoitinjärjestelmän. (ST-Käsikirja 20 2005, 28) Mikäli varmennettua sähkönjakelua käytetään muuhun kuin henkilöturvallisuuden turvaamiseen, käytetään siitä nimitystä varasyöttöjärjestelmä. (ST-Käsikirja 20 2005, 50.)

Mikäli kiinteistön väestönsuojaratkaisut kuuluvat toiminnalliseen S1- luokkaan, olisi nämä suositeltavaa liittää varmennetun sähkönjakelun piiriin. (ST-Käsikirja 20 2005, 29) Turvajärjestelmien sähkönsyöttöä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, että sähkönsyöttö tulee toteuttaa samalla varmuus- ja luotettavuus-tasolla kuin turvattava järjestelmäkin (ST- Käsikirja 20 2005, 31). Sähkösyötön turvaamista on arvioitava tapauskohtaisesti, onko akkuvarmennus riittävä vai halutaanko liittää suojattava kohde varmennetuina sähkönjakelun piiriin. (ST-Käsikirja 20 2005, 32.)

Tuotannollisesti ajateltuna olisi ihanteellista, että kokonainen tuotantoprosessi voitaisiin turvata varmennetulla jakelulla. Tällöin varavoimajärjestelmän investointikustannukset taas nousisivat kohtuuttoman korkeaksi ja usein yritykset joutuvatkin miettimään erilaisia kompromisseja. Tällaisia kompromissiratkaisuja voivat olla esimerkiksi kriittisimpien prosessien turvaaminen, tai varavoiman tarpeen minimoiminen siten, että prosessit voidaan ajaa hallitusti alas. (ST-Käsikirja 20 2005, 34.)

Varmennettujen järjestelmien on myös huomioitava ympäristöolosuhteiden säilyminen. Esimerkiksi työskentelytilojen valaistuksen ja ilmanvaihdon on oltava riittävä. Lisäksi työskentely voi vaatia esimerkiksi hissien toiminnan ylläpitämistä. (ST-Käsikirja 20 2005, 36.)

Varmennustason luokittelua tehdessä tulee ensin suorittaa riskianalyysi. Tämän jälkeen voidaan soveltaa henkilöturvallisuuteen liittyvissä kohteissa ST käsikirjan 20 taulukko 2.1- 2.2 mukaista matriisia. Taulukko on esitetty liitteessä 2. (ST-Käsikirja 20 2005, 38-39.)

Varmennetun sähkönjakelujärjestelmän toimintavarmuus on myös huomioitava. Laitteita on joskus huollettava ja on joko hyväksyttävä, että tällöin sähkönjakelun keskeytyksen sattuessa ei ole varmennettua jakelua saatavilla, tai rakennettava laitteistot siten, että edellä mainitussa tilanteessa ei varmennettu sähkönjakelu häiriöidy. (ST-Käsikirja 20 2005, 42.)

Toiminta-aika, joka varmennetun jakelujärjestelmän tulee toimia, määräytyy aina tapauskohtaisesti. Tämä tulee myös tarkastella riskienarvioinnin näkökul-

masta siten, että huolehditaan henkilöturvallisuudesta ja omaisuuden turvaamisesta. (ST-Käsikirja 20 2005, 46.)

Kun toiminta-aika kasvaa pitkäksi, on huomioitava myös polttoainevaraston riittävyys. Lisäksi tulee tarkastella, toimiiko laitos kyseisen vaaditun toiminta-ajan miehittämättömänä automaattisesti ja tarvitseeko sitä tällä ajanjaksolla huoltaa. (ST-Käsikirja 20 2005, 47.)

Sähkön tuotannon laadun varmistamiseksi ei voida tukeutua pelkästään jakeluverkon sähkönlaatua säänteleviin standardeihin. Nämä ovat hyvin väljiä. Varmennetun jakelujärjestelmän laatutaso täytyy pystyä määrittelemään pääkohditain tehdyn riskienarvioinnin perusteella. (ST-Käsikirja 20 2005, 47.)

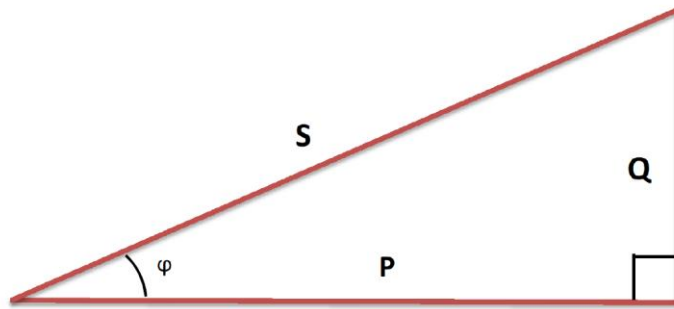
ST käsikirja 20 jakaa sähkön laadun tarkastelun kolmeen eri osa-alueeseen; sähkön saatavuus, jakelun luotettavuus sekä jännitteen ominaisuudet. (ST-Käsikirja 20 2005, 47.)

3.4 Tehokerroin ja näennäisteho

Tehosta puhuttaessa puhutaan usein wateista ja kilowateista. Watti on pätötehon yksikkö. Varavoimakone on mitoitettava kokonaistehontarpeen eli näennäistehon mukaisesti.

Näennäistehon yksikkö on volttiamppeeri VA. Näennäisteho sisältää tehon reaaliosan eli pätötehon, sekä tehon imaginäärisen osan eli loistehon. Tehokerroin eli $\cos\varphi$ ilmaisee jännitteen ja virran vaihe-eron.

Tehokerroin on helpoin selittää tehokolmion avulla joka on esitetty kuviossa 2. Alla olevaan kuvaan on piirretty suorakulmainen kolmio, jonka hypotenuusa on näennäisteho S, viereinen kateetti on pätöteho P ja vastainen kateetti on loisteho Q. Kun kulmasta φ otetaan cosinin arvo, saadaan tietoon tehokerroin.



Kuvio 2. Tehokolmio

Varsinkin oikosulkumoottoreiden kanssa toimittaessa on tehokerroin hyvin olennainen tieto. Oikosulkumoottori koostuu rungon, laakerointien ja roottorin lisäksi staattorikäämistä, ollen näin hyvin induktiivinen laite ja kuluttaa loistehoa. Kaikki oikosulkumoottoreiden toimittajat ilmoittavat laitteilleen tehokertoimen arvon erilaisissa katalogeissa. Näiden avulla on helppo päätellä laitteiden näennäistehon tarve. Alla olevassa taulukossa 1 on ABB:n moottorikatalogista tehokertoimien arvoja IE3 hyötysuhdeluokan pienjännitemoottoreille. Näitä tarvitaan myöhemmin tässä työssä.

Taulukko 1. ABB oikosulkumoottorien toiminta-arvoja (ABB 2018, 19).

IP 55 - IC 411 - Insulation class F, temperature rise class B
IE3 efficiency class according to IEC 60034-30-1; 2014

Output kW	Motor type	Product code	Speed r/min	Efficiency IEC 60034-30-1; 2014			Power factor Cos ϕ	Current			Torque		Moment of inertia J = 1/4 GD ² kgm ²	Weight kg	Sound pressure Level L _{pa} dB
				Full load 100%	3/4 load 75%	1/2 load 50%		I _N A	I ₂ /I _N	T _N Nm	T ₁ /T _N	T ₂ /T _N			
1500 r/min = 4 poles															
400 V 50 Hz															
CENELEC-design															
0.25	M2BAX 71MB 4	3GBA072320---D	1440	73,5	70,1	63,8	0,64	0,78	6,1	1,67	2,7	3,5	0,00075	10	41
0.37	M2BAX 71MLA 4	3GBA072410---D	1441	77,3	74,9	69,8	0,66	1,06	6,8	2,47	2,7	3,8	0,00098	12	50
0.55	M2BAX 80MC 4	3GBA082330---D	1445	80,8	80,8	78,1	0,75	1,31	7,8	3,64	2,6	3,9	0,00228	17	48
0.75	M2BAX 80MLA 4	3GBA082410---D	1444	82,5	81,3	78	0,72	1,79	8,4	4,86	3,8	4,6	0,00295	21	48
1.1	M2BAX 90SB 4	3GBA092120---D	1439	84,1	83,2	80,9	0,74	2,57	7,7	7,23	3,6	4,2	0,00394	23	47
1.5	M2BAX 90SLA 4	3GBA092010---D	1444	85,3	84,2	81,3	0,7	3,65	8,3	9,87	4,6	5,4	0,00485	25	44
2.2	M2BAX 100LB 4	3GBA102520---D	1451	86,7	86,6	84,5	0,77	4,77	9,2	14,54	3,4	4,4	0,00863	34	50
3	M2BAX 100LKA 4	3GBA102810---D	1450	87,7	87,6	86,5	0,8	6,18	9,8	19,78	3,7	4,6	0,0115	41	56
4	M2BAX 112MLA 4	3GBA112410---D	1443	88,6	88,9	88,1	0,81	8,11	9,4	26,53	3,6	4,4	0,0152	50	57
5.5	M2BAX 132SMA 4	3GBA132210---D	1463	89,6	90,4	90,2	0,77	11,5	7,9	35,89	2,6	3,3	0,0297	67	68
7.5	M2BAX 132SME 4	3GBA132250---D	1465	90,4	90,7	90,3	0,78	15,5	7,4	48,96	2,5	4	0,037	77	60
11	M2BAX 160MLA 4	3GBA162410---F	1477	91,4	91,8	91,1	0,82	21,1	7,6	71,27	2,6	3,3	0,11	136	61
15	M2BAX 160MLB 4	3GBA162420---F	1477	92,1	92,4	91,6	0,82	28,5	8,2	96,99	3	3,7	0,135	161	61
18.5	M2BAX 180MLA 4	3GBA182410---F	1472	92,6	92,6	92	0,82	35	10,3	120,1	3,6	4	0,135	169	64
22	M2BAX 180MLB 4	3GBA182420---F	1473	93	93,2	92,5	0,8	42,8	10,1	142,58	3,3	4,2	0,167	198	65
30	M2BAX 200MI A 4	3GBA202410---F	1481	93,6	94	93,5	0,82	56,3	10	192,76	3,9	3	0,32	282	69
37	M2BAX 225SMA 4	3GBA222210---F	1479	93,9	94,2	93,7	0,81	70,3	9,3	237,79	2,5	3	0,376	278	67
45	M2BAX 225SMB 4	3GBA222220---F	1481	94,2	94,4	93,8	0,79	87,8	9,1	288,31	4,2	3,6	0,415	293	68
55	M2BAX 250SMA 4	3GBA252210---F	1479	94,6	94,7	94	0,83	102	10,1	351,77	4,4	3,4	0,62	386	74
75	M2BAX 280SMB 4	3GBA282220---M	1485	95	95,2	94,8	0,86	133	6,4	483	2,3	2,8	1,38	573	75
90	M2BAX 280SMC 4	3GBA282230---M	1485	95,2	95,3	94,8	0,86	159	7,1	588	2,5	2,9	1,73	636	75
110	M2BAX 315SMB 4	3GBA312220---M	1489	95,4	95,4	94,8	0,85	196	7	705	2,1	3	2,43	823	71
132	M2BAX 315SMC 4	3GBA312230---M	1488	95,6	95,8	95,3	0,86	231	6,7	847	2,2	2,9	2,9	892	71
160	M2BAX 315SMD 4	3GBA312240---M	1488	95,8	96	95,8	0,85	282	6,9	1026	2,2	3	3,2	933	71
200	M2BAX 315MLB 4	3GBA312420---M	1487	96	96,4	96,4	0,86	351	6,8	1284	2,4	3	3,9	1091	74
250	M2BAX 355SMA 4	3GBA352210---M	1491	96	96	95,6	0,86	435	6,4	1601	2,1	2,9	5,9	1445	78
315	M2BAX 355SMB 4	3GBA352220---M	1491	96	96	95,6	0,86	545	6,7	2018	2,3	3	6,9	1595	78
355	M2BAX 355SMC 4	3GBA352230---M	1490	96	96,2	95,8	0,86	616	6,3	2273	2,3	2,8	7,2	1635	78

Taulukossa 2 on esitettyä tehokertoimen arvo Eatonin 40kVa UPS laitteelle, jota tullaan myöhemmin myös tarvitsemaan mitoituslaskelmissa.

Taulukko 2. Eaton 40kVA UPS tekninen erittely (Eaton 2019, 3).

Technical specifications

Input	
Nominal Voltage	400 Vac (L-L) 230 Vac (L-N)
Frequency	40-65 Hz (self-adaptive to 50 Hz and 60 Hz)
Wiring	3-Phase + N + PE
THD i	<5%
Power factor	>0.99
Dual-line input	Support
Battery	
Type	Maintenance free VRLA batteries
Backup time	Up to 15 min with internal batteries
Battery nominal voltage (lead-acid)	360 V (30x12 V, 180 cells) 384 V (32x12 V, 192 cells)
Output	
Voltage	400 Vac (L-L) 230 Vac (L-N)
Frequency	50/60 Hz
Phase	Three-phase four wire + grounding
Power factor	0.8
Overload capability	125%, 10 min. 150%, 1 min.

Operation environment

Temperature	0°C to 40°C
Humidity	20% to 90%
Efficiency	
Line mode	92%
HE (high efficiency)	98%
Display	
LCD	Chinese/English UPS state and operation introduction. Input voltage, output voltage, current, frequency, charger voltage and current, fault and warning display.
LED	UPS operation state
Warning equipment	
	Buzzer alarm and light double LED
Communication interface	
	RS-232, AS/400, RS485, service, EPO, compensate interface for battery temperature, intelligent slot
Compliance with standards	
Safety (CB certified)	IEC62040-1, EN60950-1
EMC	IEC 62040-2, IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-3, IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-5

3.5 Mitoitusperiaatteet

Varavoimajärjestelmää suunniteltaessa on huomioitava, että yleensä ei voida kytkeä varavoimakoneelle 100 % kuormaa kerralla. Kuorma on kytkettävä portaissa. Kuormanottokyky tarkoittaa kuormaa, joka koneelle voidaan kerralla kytkeä. (ST-Käsikirja 20 2005, 110.)

Varavoimakonetta suunniteltaessa on tiedostettava, että varavoimageneraattorit eivät kykene tuottamaan samanlaista oikosulkuvirtaa kuin normaalisti syötetyssä sähköverkossa on, vaan se on huomattavasti pienempi. Generaattorityypillä on huomattava merkitys oikosulkuvirran tuottoon. (ST-Käsikirja 20 2005, 166.)

On huomioitava, että mikäli generaattori ei kykene tuottamaan tarvittavaa oikosulkuvirtaa verkkoon, eivät verkon suojaukset toimi siten kuin ne on suunniteltu. Generaattori ja sen pääsyöttö voidaan suojata myös vaihtoehtoisin menetelmin, kuten vikavirtasuojalla ja alijännitelaukaisua käyttämällä. (ST-Käsikirja 20 2005, 168.)

Vaatumuksena nykyaikaisille generaattoreille on, että ne kykenevät syöttämään 2,4 kertaisesti oman nimellisvirtansa verran jatkuvaa oikosulkuvirtaa. Jotkut generaattorit voivat tuottaa oikosulkuvirtaa jopa 3-3,5 kertaisesti oman nimellisvirtansa verran, mutta vain hetkellisesti. (ST-Käsikirja 20 2005, 168.) Mikäli oikosulku tapahtuu generaattorin navoissa, alkuoikosulkuvirta voi olla jopa 6 kertainen generaattorin nimellisvirtaan nähden. Virta vaimenee kuitenkin nopeasti jatkuvan oikosulkuvirran arvoon. (ST-Käsikirja 20 2005, 169.)

Mikäli generaattorin syöttämässä järjestelmässä normaalit suojalaitteet eivät toimi, on generaattorin suojien toimittava myös epäselektiivisesti. On huomioitava, että kosketussuojaus on toteutettu SFS 6000:n mukaisesti. Mikäli tavalliset ylivirtasuojat eivät toimi, on käytettävä suojaukseen vikavirtasuojakytkimiä sekä maasulku- ja vakioaika-alijännitesuojan yhdistelmiä. (ST-Käsikirja 20 2005, 170.)

Poiskytkentäajat vioille ovat 230 V jännitteellä 0,4 s, ja 400 V jännitteellä 0,2 s. Pääjohdoille sekä ryhmäjohdoille, joiden syöttö kohdistuu vain kiinteästi asennettuihin laitteisiin, sallitaan 5 s poiskytkentäaika. (ST-Käsikirja 20 2005, 172.)

Suojattava verkko jaetaan riittävän pieniin osiin, jotta voidaan hallita verkon sisäisiä häiriöitä. Varavoimakoneen suojausta suunniteltaessa on huomioitava, että suojattavan verkon suurimman ylivirtasuojan koko täytyy olla sellainen, että generaattorin oikosulkuvirta riittää varmistamaan suojauksen toiminnan. Suojauksen selektiivisyys on pyrittävä varmentamaan, tosin suurissa järjestelmissä tämä voi olla erittäin haastavaa. Generaattorin tuottama oikosulkuteho on yleensä aina pienempi kuin verkosta saatava, joten vastaavasti generaattorin jännitejähkyys on huonompi. Tällöin on otettava huomioon generaattoria mitoitettaessa jännitteen alenema. Suojausten on toimittava kaikissa käyttötilanteissa. (ST-Käsikirja 31 2019, 34.)

Varavoimakoneen suorituskykyä kuvaavia arvoja ovat käytettävyys, käynnistymisaika ja kuormanottokyky, teho, sähkön laatu ja miehittämätön toiminta-aika. Käytettävyyttä voidaan kuvata käytettävyysluvulla, joka koostuu erilaisista osatekijöistä. Näitä ovat muun muassa varavoimaverkon rakenne, varavoimakoneikon luotettavuus ja asennusten huolellisuus. (ST-Käsikirja 31 2019, 77.)

Tyypillisesti varavoimakoneen kytkeytyessä verkkoon esiintyy kytkeytymishetkellä useita tuotetun sähkön laatuun liittyviä asioita. Tällaisia ilmiöitä aiheuttavat esimerkiksi muuntajien kytkentävirtasysäykset ja moottoreiden käynnistymiset. (ST-Käsikirja 31 2019, 118.)

Käynnistymisaika ja kuormanottokyky määräytyvät sähkölaitteiston asettamien vaatimusten perusteella. Tyypillisestä laitteiston käynnistymiselle on kahden sekunnin viive, jolla estetään turhat käynnistymiset. Kuorman kytkemistä varavoimakoneelle on yleensä porrastettu siten, että koko kuorma ei kytkeydy kerralla. Tyypillisesti ensimmäinen kytkeytyvä kuorma saa olla noin 55 % nimellistehosta. Tyypillisesti ensimmäinen porras voi kytkeytyä 12 s kuluttua jännitteen katoamisesta. On huomioitava, että taajuuden ja jännitteen täytyy pysyä määritellyissä rajoissa. (ST-Käsikirja 31 2019, 78.)

Edellä mainittujen suojaukseen ja generaattorin ominaisuuksiin liittyvien kohtien lisäksi laitoksen teho on mitoitettava huippukuorman mukaisesti. On pyrittävä huomioimaan tulevaisuuden laajennustarpeet ja kuormanottokyky. Varavoimakoneen mitoituksessa puhutaan näennäistehosta, joka on ilmoitettu tehokerto-

mella 0,8 (ind). ST- Käsikirja 31 on koonnut standardista ISO 8528-5 olennaiset sähkön laatuun liittyvät vaatimukset eri suorituskykyluokille (Taulukko 3).

Taulukko 3. Suorituskykyluokat (ST-Käsikirja 31 ,79)

Ominaisuus	G1	G2	G3
taajuuden droop (alenema, kun teho 0 % ⇒ 100 %)	8 %	5 %	3 %
taajuuden sallittu vaihteluväli vakiintuneessa syöttötilanteessa	±2,5 %	±1,5 %	±0,5 %
taajuuden sallittu alenema äkillisessä kuorman lisäyksessä	-15 %	-10 %	-7 %
taajuuden asettumisaika	< 10 s	< 5 s	< 3 s
jännitteen sallittu vaihteluväli vakiintuneessa syöttötilanteessa	±5 %	±2,5 %	±1,0 %
jännitteen sallittu alenema äkillisessä kuorman lisäyksessä	-25 %	-20 %	-15 %
jännitteen asettumisaika	< 10 s	< 6 s	< 4 s

Suorituskykyluokkien soveltuvuus käyttötarkoitukseen ST- Käsikirjan 31 mukaisesti on esitetty taulukossa 4. (ST-Käsikirja 31 2019, 80.)

Taulukko 4. Suorituskykyluokkien soveltaminen (ST- Käsikirja 31 2019, 80).

Luokka	Käyttökohteet
G1	Yleiset käyttökohteet kuten valaistus
G2	Verkkosähkön vaatimusten mukainen käyttö. Valaistus ja moottorit
G3	Korkean vaatimustason kohteet kuten telekommunikaatiolaitteet
G4	Tietokonekäytöt (ominaisuudet määriteltävä erikseen valmistajan ja asiakkaan kanssa)

Varavoimalaitoksen itse käyttämä teho esimerkiksi jäähdytyspuhaltimille on yleensä 3-7 % luokkaa laitoksen nimellistehosta. Laitoksen on pystyttävä tuottamaan nimellistehonsa verran tehoa jatkuvasti, sekä lisäksi kyettävä kestämään PRP- tehomitoituksen mukaisesti 10 % ylikuormitusta tunnin ajan 12 tunnin ajanjaksolla. (ST-Käsikirja 31 2019, 80.)

Varavoimalaitoksen on täytettävä toiminta-ajalle asetetut vaatimukset. Yleensä vaaditaan kahdeksan tunnin toiminta-aikaa, mutta tilanteesta riippuen se voi olla

myös muuta. Yleensä toiminta-aikaa rajoittavat tekijät ovat polttoainesäiliön tilavuus sekä dieselmoottorin öljyn kulutus. (ST-Käsikirja 31 2019, 81.)

Polttoaineen kulutusta ja täten polttoainesäiliön kokoa mietittäessä voidaan nyrkkisääntönä käyttää, että varavoimakone kuluttaa 3 dl polttoainetta tuotettua kilowattituntia kohden. Yleensä koneiden omat säiliöt on mitoitettu kahdeksan tunnin käyttöä varten. Mikäli halutaan pidempiä toiminta-aikoja, on joko hankittava suurempi säiliö, tai varustettava laitos automaattisella täytöllä. Varastosäiliön minimimitoitus tulisi mitoittaa sen mukaisesti, kuinka pitkään on pahimmassa tapauksessa tultava toimeen ilman polttoainetäydennystä. (ST-Käsikirja 31 2019, 109.)

3.6 Kuormat

Järjestelmän kuormat koostuvat taajuusmuuttajaohjatuista oikosulkumootoreista, ohjausjärjestelmistä, valaistuksesta sekä UPS-laitteista. Järjestelmän näkökulmasta vaikeimpia kuormia ovat suurta käynnistysvirtaa ottavat sähkölaitteet, kuten oikosulkumootorit sekä jännitteen aaltomuotoa vääristävät laitteet, kuten paljon puolijohdetekniikkaa sisältävät laitteet. On huomioitava, että laitoksen elinkaaren aikana kulutuslaitteissa voi olla suuriakin muutoksia joten on tärkeää, että varavoimakone mitoitetaan siten, että siihen jää reserviä tulevaisuuden varalle. (ST-Käsikirja 31 2019, 115.)

3.6.1 Oikosulkumootorit

Oikosulkumootorin käynnistysvirta on yleensä noin 6-7 kertainen suhteessa nimellisvirtaan. Mikäli oikosulkumoottori käynnistetään suoraan varavoimakoneella, tulee huomioida että oikosulkumootorin käynnistysvirta saa olla enintään varavoimakoneen nimellisvirran suuruinen. Tällöin sallitaan 15 % jännitteenalenema. Oikosulkuvirran rajoittamiseksi on erilaisia keinoja. Taajuusmuuttajalla voidaan esimerkiksi rajoittaa moottorin ottama käynnistysvirta moottorin nimellisvirran suuruiseksi. (ST-Käsikirja 20 2005, 104.)

Oikosulkumootorin ottama käynnistysvirta vaikuttaa varavoiman tuotantoon siten, että suuret virrat aiheuttavat generaattorille hetkellisesti jännitteen ja taajuuden alenemaa. Erityisesti jännitteenalenema on merkittävässä roolissa. Suo-

raan käynnistettäessä moottoreita varavoimageneraattorilla on suurin moottorikoko, jonka generaattori kykenee käynnistämään noin 25 - 35 % generaattorin nimellistehosta. Generaattorilla voi tällöin olla jopa 30 % jännitteen alenema. (ST-Käsikirja 31 2019, 115.) Näin suuri jännitteen alenema on liian suuri monille komponenteille ja tässä yhteydessä täytyy arvioida järjestelmä kykyä sietää alentunutta jännitettä.

3.6.2 Kapasitiivinen kuorma

Teollisuuslaitoksissa käytetään yleisesti kompensointikondensaattoreita kompensoimaan induktiivista loistehoa. On huomattava, että mikäli häiriötilanteessa verkkoon jää kompensointiparistoja esimerkiksi viivästetyn portaiden vähennysohjauksen vuoksi voi syntyä tilanne, jossa verkko on tuntuvasti ylikompensoitu. Kompensointikondensaattorit voivat muodostaa tällöin rinnakkaisresonanssiipiirejä generaattorin kanssa ja tämä voi aiheuttaa vakavia ongelmia sähkönlaadulle. (ST-Käsikirja 31 2019, 117.)

3.6.3 UPS-laitteet ja elektroniikka

UPS-laitteet voivat olla varavoiman tuotannon kannalta hyvin vaikeita tapauksia. Mikäli käytössä on yhden muunnoksen UPS-laite, ei laite korjaa varavoimaverkon taajuutta, vaan se siirtyy akkukuormalle taajuuden heitellessä. Tämä saattaa aiheuttaa stabiiliusongelmia verkolle. Kahden muunnoksen UPS-laitteet voivat korjata myös verkon taajuutta. (ST-Käsikirja 20 2005, 103.)

Tietokoneet sietävät vain hyvin lyhyitä sähkökatkoja. Menneinä vuosin tietokoneiden teholähteiden tehokertoimet saattoivat olla 0,7 luokkaa, mutta nykyään ne ovat kehittyneet siten, että ovat jo 0,98 luokkaa. On huomioitava, että tietokoneiden teholähteet aiheuttava paljon yliaaltoja, etenkin 3. ja 5. yliaaltoa. Tämä on huomioitava nollajohtimen mitoituksessa. (ST-Käsikirja 20 2005, 104.)

UPS-laitteita on pidetty aikaisemmin hyvin hankalana kuormana. Nykyisissä UPS-laitteissa on kuitenkin nykyään suodatettu yliaallot jo niin tehokkaasti, että niiden ottama virta on jo lähes sinimuotoista. On huomioitava, että mikäli UPS-laitteelle on olemassa ohitus, jolloin UPS-laitteen takana oleva kuorma kytkeytyy

varavoimakoneelle, voi itse kuorma olla hyvinkin epälineaarista. (ST-Käsikirja 31 2019, 116.)

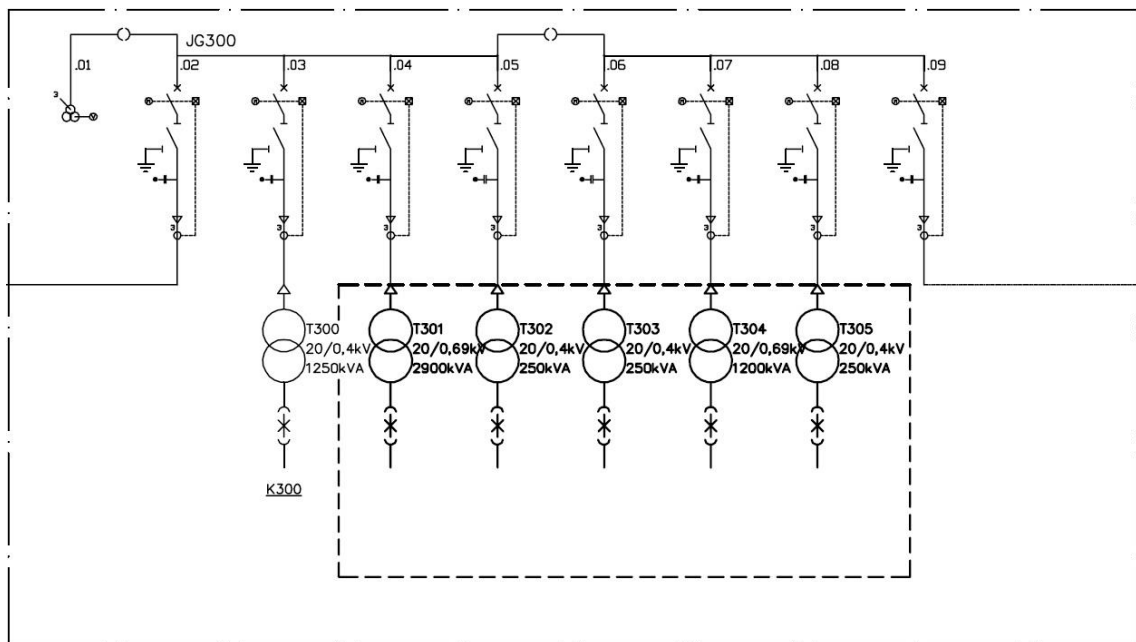
Taajuusmuuttajakäytöissä on huomioitava, että taajuusmuuttajat sisältävät paljon tehoelektroniikkaa. Nämä voivat aiheuttaa häiriötä jännitteelle siten, että jännitteen aaltomuoto vääristyy. Tämä voi aiheuttaa ongelmia itse verkkoon tai generaattorin jännitteensäätimelle. Rajaa epälineaarisen kuorman tarkalle mää-
rälle ei ole määritetty. Häiriötä voi alkaa syntymään, mikäli kuormaa on yli puo-
let kokonaiskuormasta. (ST-Käsikirja 31 2019, 116.)

4 VARAVOIMAKONEEN MITOITUS

4.1 Kohteen varavoimajärjestelmä

Varavoimakoneen sijoituskohteessa tulee olemaan useita 20 kV muuntajia ja kohteen sähköverkko on kokonaisuutena hyvin laaja. Pienjännitepuolen pääjännitteet tulevat olemaan 690 V ja 400 V. Kyseisessä uudisrakennuskohteessa on päätetty rakentaa sähkölaitteisto siten, että kaikki varavoimaa tarvitsevat laitteet tullaan syöttämään yhden keskuksen kautta. Tällöin on helppo rakentaa katkaisijoilla sopiva varavoimajärjestelmä. Varavoimajärjestelmän pääjännite tulee olemaan 400 V. Alla olevassa kuviossa 3, on esitetty osa kohteen pääkaavioista.

Kuviossa 3 olevasta pääkaavion osasta nähdään osa sähkölaitteiston rakenteesta sekä suojattava kohde. Tarkoituksena on suojata muuntajan T300 takana oleva keskus K300 varavoimalla.



Kuvio 3. Kohteen pääkaavio.

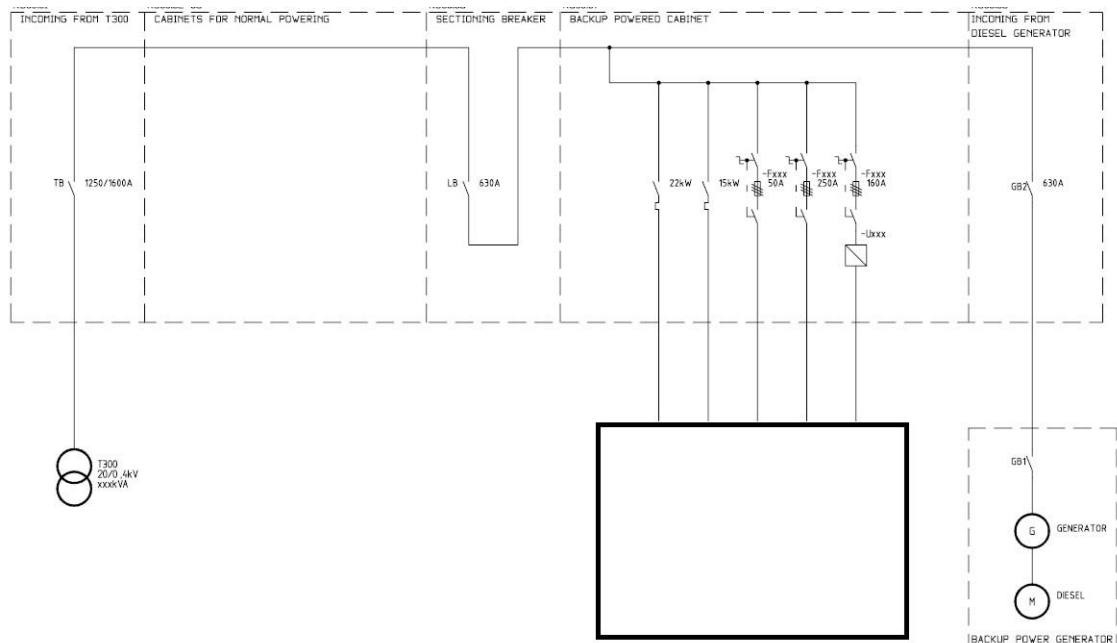
Kohteeseen tuleva varavoimajärjestelmä tulee olemaan tyypiltään katkotta verkkosyöttöön palautuva. Kyseisen koneen toimintaperiaate tulee olemaan sellainen, että sähkökatkotilanteessa erotetaan varavoimalla suojattava kohde saarekkeeseen, kytketään generaattori syöttämään saarekettä, ja verkkosähkön

palaututtua tahdistetaan generaattori verkkoon. Hetken verkon rinnalla käyntiin generaattori erotetaan verkosta ja kuorma jää verkkosähkön varaan.

Alla olevassa kuviossa 4 on havainnollistettu generaattorin toimintaa. Generaattori tulee toimimaan siten, että normaalissa käyttötilanteessa muuntajan katkaisija TB on kiinni ja linjakatkaisija LB on kiinni, vastaavasti generaattorin katkaisijat GB1 ja GB2 ovat auki. Tässä tilanteessa keskus saa syöttönsä muuntajalta T300 ja varavoimalle ei ole tarvetta.

Kun verkkojännite häviää, aukeavat muuntajan katkaisija TB ja linjakatkaisija LB. Generaattorille tulee tässä kohtaa käsky käynnistyä. Generaattorin käynnistyttyä ja generaattorin tuottaman jännitteen vakaannuttua kytketään kiinni katkaisijat GB1 ja GB2, tällöin keskusta syötetään saarekkeena generaattorilta.

Verkkojännitteen palaututtua kytketään katkaisija TB kiinni, tahdistetaan generaattori verkkoon, ja kytketään katkaisija LB kiinni. Tämän jälkeen erotetaan generaattori verkosta kuormaerottimilla GB1 ja GB2 ja sammutetaan dieselmoottori.



Kuvio 4. Varavoimajärjestelyn periaate

Varavoimakoneen tavoitteena tässä kohteessa ei ole mahdollistaa suojattavan laitoksen normaalia käyttöä. Tavoitteena on että varavoimakoneella voidaan

hoitaa kriittiset henkilöturvallisuuteen liittyvät prosessit loppuun sähkökatkon sattuessa.

4.2 Kuormat

Keskuksen K300 suojattavat kohteet ovat tavanomaisten valaistusten lisäksi suoraan henkilöturvallisuuteen liittyviä, kuten hissejä sekä palovesipumppaamoja.

Kuorman määrää ja kuorman laatua selvitettiin siten, että kohteeseen jo laaditun kojeluettelon perusteella selvitettiin, että mitkä kojeista tarvitsevat varavoimaa. Selvitystä varavoimaa tarvitseville laitteille suorittivat jokaisen eri suunnitteludispliinin vastuulliset henkilöt. Tämän jälkeen kuormitusluetteloa käsiteltiin sähkölaitteiston haltijan kanssa ja saatiin aikaiseksi alustava listaus varavoimaa tarvitsevista laitteista. Varavoimaa tarvitsevat laitteet on esitetty alla olevassa taulukossa 5. Kaikki moottorikuormat ovat taajuusmuuttajaohjattuja ja UPS- laite käsittää yhden 40 kW UPS- laitteen.

Taulukko 5. Varavoimaa tarvitsevat laitteet.

Varavoimaa tarvitsevat laitteet				
Kohde	Teho[kW]	Jännite[V]	Hyötysuhde	Korjattu teho
Fire water pump 1	22	400	93 %	24
Fire water pump 2	10	400	91,40 %	11
Elevator	21,6	400	93 %	23
Service hoist	75	400	95 %	79
Additional load hoist	20	400	95 %	21
Production hoist	30	400	93,60 %	32
UPS electrical room	40	400	92 %	43,5
Lights		400		7
Lights		400		7
Laajennusvara		400		40
Yhteensä				287 kW

Taulukossa 5 mainitun ”service hoist”:n teho 75 kW on laitteen keskimääräinen teho jonka laite tarvitsee toiminnassaan. Laitetoimittajan ilmoituksen perusteella saatiin kuitenkin selville, että varsinainen laite on mitoitukseltaan huomattavasti

suurempi, moottorin nimellistehon ollessa 110 kW. Alla olevassa taulukossa 6 on esitettyä laitetoimittajan ilmoituksen mukaisesti suurin nostokoneen kiihdytyksessä kolmen sekunnin ajan esiintyvä kuorma. Yhteenlasketusta summasta on vähennetty kohteen keskimääräinen tehontarve, ja korvattu se maksimi-kuormituksella. Näin saadaan selville todellinen tehontarve ja voidaan mitoittaa varavoimakone toimimaan myös huippukuormituksen esiintyessä.

Taulukko 6. Varavoimakoneen huippukuormitukset.

Varavoimaa tarvitsevat laitteet				
Kohde	Teho[kW]	Jännite[V]	Hyötysuhde	Korjattu teho
Fire water pump 1	22	400	93 %	24
Fire water pump 2	10	400	91,40 %	11
Elevator	21,6	400	93 %	23
Service hoist	75	400	95 %	79
Additional load hoist	20	400	95 %	21
Elevator acceleration load		400		186
Production hoist	30	400	93,60 %	32
UPS electrical room	40	400	92 %	43,5
Lights		400		7
Lights		400		7
Laajennusvara		400		40
Yhteensä				382 kW

Seuraavaksi selvitettiin kuorman laatuun liittyviä tekijöitä. Tällaisia ovat esimerkiksi, sisältävätkö varmennetut kohteet suoria moottorilähtöjä tai taajuusmuuttajaohjattuja moottorilähtöjä tai kuormitusten tehokertoimia. Tärkeää on myös huomioida moottoreiden hyötysuhteen merkitys moottorin verkosta ottamaan tehoon. Tämä voidaan laskea kaavalla 1 ja tulokset on esitetty taulukossa 5. Moottorin hyötysuhteita arvioitiin nimelliskuormituksella ja ylempänä esitetyn ABB- moottorikatalogin antamilla arvoilla. UPS- laitteelle käytettiin hyötysuhteen valmistajan teknisen erittelyn mukaisesti arvoa 92 %.

$$P_{\text{syöttö}} = \frac{P_{\text{lähtö}}}{\eta} \quad (1)$$

missä

$P_{\text{syöttö}}$	on	moottorin verkosta ottama teho W
$P_{\text{lähtö}}$	on	moottorin akseliteho W
η	on	Moottorin hyötysuhde

Kohteen sähkösuunnittelu ei ollut vielä työtä tehdessä valmistunut, joten tietoja päädyttiin arvioimaan. Kohteessa olevien pumppujen ja nostokoneiden tehokertoimia arvioitiin siten, että ne olisivat puhtaasti moottorikuormaa. Näin ollen tehokertoimet saatiin moottorinvalmistajien esitteistä. UPS-laitteelle selvitettiin valmistajan esitteistä tehokertoimen arvo. Muille laitteille tehokertoimeksi arvioitiin standardin mukaisesti 0,8.

4.3 Varavoimakoneen mitoitus ja laskelmat

Laitteiston ilmoitettu pätöteho on esitelty yllä olevassa taulukossa 3. Varavoimakoneen mitoituksen kannalta ei ole olennaista niinkään pätöteho vaan mitoitus tehdään näennäistehon mukaisesti. Näennäistehon määrän arvioimiseksi tulee tietää kuorman laatuun liittyviä seikkoja. Näistä tärkeimpiä ovat kuormien tehokertoimet.

Selvitettäessä kuorman näennäistehoa, lasketaan ensiksi kuormitusten loisteho. Loisteho voidaan laskea, kun tiedetään kuorman tehokerroin ja pätöteho. Trigonometriaa hyödyntäen voidaan kuviossa 2 esitetyn tehokolmion avulla muodostaa yhtälö loistehon selvittämiseksi. Tämä on esitetty alla kaavassa 2. Kaavalla 2 saadut tulokset on esitetty taulukossa 7.

$$Q = \tan \varphi * P \quad (2)$$

missä

P	on	Kuorman hyötysuhteella korjattu teho W
Q	on	loisteho VAR
$\tan\varphi$	on	tehokolmion kärkikulman tangenti

Taulukko 7. Kuormien loistehot

Varavoimaa tarvitsevat laitteet						
Kohde	Teho[kW]	Jännite[V]	Hyötysuhde	Korjattu teho	Tehokerroin	Loisteho(kVAr)
Fire water pump 1	22	400	93 %	24	0,80	17,7
Fire water pump 2	10	400	91,40 %	11	0,82	7,6
Elevator	21,6	400	93 %	23	0,80	17,4
Service hoist	75	400	95 %	79	0,86	46,8
Additional load hoist	20	400	95 %	21	0,86	12,5
Elevator acceleration load		400		186		
Production hoist	30	400	93,60 %	32	0,82	22,4
UPS electrical room	40	400	92 %	43,5	0,99	6,2
Lights		400		7	0,80	5,3
Lights		400		7	0,80	5,3
Laajennusvara		400		40	0,80	30,0
Laitoksen häviöt 7%		400		30	0,80	22,5
Yhteensä				424 kW		

Kuorman näennäisteho voidaan laskea kun tiedetään kuorman loisteho ja pätöteho. Näennäisteho lasketaan kaavalla 3.

$$S_n = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3)$$

missä

S_n on nimellisteho VA
 P on Pätöteho W
 Q on loisteho VAr

Kaavalla 3 lasketut näennäistehon arvot on esitetty alla olevassa taulukossa 8.

Taulukko 8. Näennäistehon tarve.

Varavoimaa tarvitsevat laitteet							
Kohde	Teho[kW]	Jännite[V]	Hyötysuhde	Korjattu teho	Tehokerroin	Loisteho(kVAr)	Näennäisteho[kVA]
Fire water pump 1	22	400	93 %	24	0,80	17,7	28,3
Fire water pump 2	10	400	91,40 %	11	0,82	7,6	12,6
Elevator	21,6	400	93 %	23	0,80	17,4	27,7
Service hoist	75	400	95 %	79	0,86	46,8	88,4
Additional load hoist	20	400	95 %	21	0,86	12,5	23,6
Elevator acceleration load		400		186			218,2
Production hoist	30	400	93,60 %	32	0,82	22,4	39,1
UPS electrical room	40	400	92 %	43,5	0,99	6,2	43,9
Lights		400		7	0,80	5,3	8,8
Lights		400		7	0,80	5,3	8,8
Laajennusvara		400		40	0,80	30,0	50,0
Laitoksen häviöt 7%		400		30	0,80	22,5	37,5
Yhteensä				424 kW			498 kVA

Näennäistehoa voitaisiin myös arvioida kaavalla 4.

$$S_n = \sqrt{3} * U_n * I_n \quad (4)$$

missä

S_n	on	nimellisteho VA
U_n	on	nimellisjännite V
I_n	on	nimellisvirta A

Laskettujen kuormitusten perusteella saatiin varavoiman tarpeeksi 448 kVA. Varavoimakonetta mitoitettaessa on kuitenkin tärkeää huomioida myös tulevaisuuden laajennusvara. Työn tilaajan kanssa yhteistyössä päädytään varamaan koneelle 40 kW laajennusvaraa. Näin saadaan lopulliseksi tehon tarpeeksi noin 500 kVA. Lopputuloksessa on hieman virhettä, johtuen siitä että laitekohdaiset näennäistehot laskettiin yhteen. Tarkan vastauksen olisi saanut laskemalla laitteiden pätö- ja loistehot yhteen.

4.4 Oikosulkuvirrat

Varavoimakoneen mitoituksessa on tärkeää huomioida, että sähköverkon oikosulku ja ylikuormitussuojauksen on myös toimittava riippumatta siitä, tuleeko syöttö verkosta vai varavoimageneraattorilta. Tätä opinnäytetyötä kirjoittaessa ei vielä ollut selvillä varmennettavan kohteen keskuksella vaadittava oikosulkuvirta. Työn suorittamisen mahdollistamiseksi käytettiin SFS 6000 standardiin perustuvana arviona 2,3 kA vaatimusta.

On huomioitava, että itse generaattorin ja suojattavan keskuksen välillä on kaapelireitin pituutta noin 15 m metriä, ja syöttävän kaapelin impedanssi tulisi myös huomioida, kun arvioidaan generaattorin tuottaman oikosulkuvirran suuruutta. Syöttökaapeli vaikuttaa oikosulkuvirtoihin siten, että se pienentää generaattorin syöttämän oikosulkuvirran suuruutta varavoimakeskuksella. Tällöin generaattorilta vaaditaan vastaavan määrän suurempi oikosulkuvirran tuottokyky, mille tässä työssä käytettiin arvion 30 A likiarvoa.

Nimellistehon määrittämiseen voidaan siis käyttää kaavaa 4. ST-käsikirjan 20 mukaisesti generaattoreiden vaatimuksena pidetään, että generaattorin tulisi

kyetä tuottamaan vähintään 2,4 kertaisesti oman nimellisvirtansa verran jatkuvaa oikosulkuvirtaa. Tämä on esitetty kaavamuodossa alla kaavassa 5.

$$I_{cll} = 2,4 \times I_n \quad (5)$$

missä

I_{cll}	on	maksimi generaattorin tuottama oikosulkuvirta A
I_n	on	generaattorin nimellisvirta

Kaavat 5 ja 6 voidaan yhdistää yhdeksi kaavaksi. Tämä on alla kaavassa 6 esitettyinä

$$\frac{I_{cll}}{2,4} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (6)$$

Ratkaistaan kaavasta S_n , jolloin saadaan kaava 7 generaattorin nimellistehon mitoitukseen.

$$S_n = \frac{I_{cll} \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{2,4} \quad (7)$$

missä

S_n	on	generaattorin pienin vaadittu nimellisteho
I_{cll}	on	keskuksella vaadittu oikosulkuvirta

Sijoitetaan arvot kaavaan ja saadaan tulokseksi 673 kVA.

$$S_n = \frac{(2300A + 30A) \cdot \sqrt{3} \cdot 400V}{2,4} = 673kVA$$

4.5 Polttoainesäiliö

Polttoainesäiliön mitoituksen lähtökohtana tulee olla varavoimakoneelle asetettavat käyntiaikavaatimukset. Tässä kyseisessä tapauksessa varavoimakoneelle on asetettu käyntiaikavaatimukseksi kahdeksan tunnin käyntiaika.

ST-käsikirjan 31 mukaisesti voidaan varavoimakoneen polttoaineen kulutusta arvioida yksinkertaisella kaavalla, jossa jokaista tuotettua kilowattituntia kohden kone kuluttaa 3 dl polttoainetta. Polttoainesäiliön mitoitus tehdään tässä yhteydessä kuorman mukaisesti, ei laskettujen oikosulkutehojen perusteella olevan

koneen nimellistehon mukaisesti. Tällöin polttoaineen kulutus voidaan laskea, kuten alla olevassa kaavassa 8 on esitetty

$$PA_h = \frac{0,3l}{kW} * P_n \quad (8)$$

missä

PA_h on polttoaineen tuntikulutus
 P_n on varavoimakoneen maksimi kuormitus tunnissa.

Sijoitetaan kaavaan 9 arvot ja saadaan vastaukseksi

$$PA_h = \frac{0,3l}{kWh} * 424kW = 127,2l/h$$

Tällöin kahdeksan tunnin polttoainesäiliön keston varmistamiseksi vaaditaan vähintään 1000 l riittoisuudeltaan oleva polttoainesäiliö. Laskutoimitus alla.

$$8h * \frac{127,8l}{h} = 1017,6l$$

Polttoainesäiliön kokoa arvioitaessa, on myös tärkeää miettiä miten säiliö tullaan tulevaisuudessa täydentämään. Tässä kyseisessä kohteessa on päädytty siihen, että säiliö tullaan täydentämään tankkiautolla tarvittaessa. Tehdasalueen sisäisellä tankkiautolla voidaan tuoda tarvittaessa pieniäkin määriä polttoainetta. On tärkeää huomioida, että varavoimakonetta tulee voida myös koestaa ja testata ilman, että joka kerta konetta täytyy olla tankkaamassa. Standardi 1000 l polttoainesäiliö riittäisi tämän tapauksen varavoimakoneelle juuri kahdeksan tunnin käyttöä varten. Mikäli haluttaisiin mahdollistaa koneen koestaminen ilman, että konetta täytyisi olla aina tankkaamassa, olisi syytä harkita 2000 l polttoainesäiliön hankkimista. Tällöin yhdellä tankilla voitaisiin teoriassa selvittää kahdesta kahdeksan tunnin jaksosta tai koestaa konetta kahdeksan tuntia ilman tankkausta.

4.6 Tulokset

Mitoituksen tuloksena päädyttiin siihen, että kohde tarvitsee varavoimageraattorin, jonka koko on vähintään 673 kVA. Standardoitu nimellisteholtaan seuraava suurempi varavoimakone on mitoitukseltaan 750 kVA.

Tämän kyseisen varavoimakoneen mitoituksen erikoisuutena on, että kohteessa tarvittava varsinainen kuormitus on suhteellisen pieni, mutta kuormituksesta ison osan muodostaa yksittäinen suuri lähtö, jonka etusulakkeet ovat mitoitukseltaan 250 A. Tämä saa aikaan tilanteen, jossa on huomioitava suojauksien toiminnan kannalta, että generaattorilla on riittävästi oikosulkuvirrantuottokykyä. Lisäksi kuorman laatuun liittyvät kuormitusten tehokertoimet, hyötysuhteet ja moottoreiden ohjaustavat ovat olennaisia. On huomioitava, että generaattori kykenee käynnistämään oikosulkumoottorin, jonka teho on noin 25 – 35 % generaattorin nimellistehosta. Tässä kyseisessä kohteessa ei ole suojattavina kohteina suoria moottorilähtöjä, vaan kaikki moottorilähdöt on varustettu taa-juusmuuttajilla. Tällöin käynnistysvirran arvoja voidaan tehokkaasti rajoittaa, eikä niitä tarvitse huomioida.

Kuormituksen perusteella mitoitettuna olisi kohteeseen riittänyt 500 kVA generaattori. Kun huomioidaan laitteiston asettamat vaatimukset oikosulkuvirroille, huomataan, että tarvitaan huomattavasti isompi generaattori 673 kVA. Standardoituna konekokona tämä tarkoittaa 750 kVA mitoituksella olevaa konetta.

Oikosulkuvirran tarve määriteltiin tätä opinnäytetyötä varten 2,3 kA mitoitukselle. Tämä arvioitiin perustuen gG- tyyppin 250 A sulakkeilta vaadittaville oikosulkuvirroille, sekä tiedostetulle seikalle, että suurimman lähdön kaapelin pituus tulee olemaan noin 55 m ja se tulee sijaitsemaan kaapelihyllyllä muiden kaapeleiden joukossa. Tämä luo suuren epävarmuuden saaduille mitoituksen tuloksille johtuen oikosulkuvirran tarpeesta. Mikäli voitaisiin pienentää suojattavan kohteen suojauksia esimerkiksi jakamalla kuormitusta pienempiin suojattaviin osiin, tai käyttämällä sulakkeiden sijaan katkaisijoita, voitaisiin myös oikosulkuvirran tarvetta pienentää ja näin toimia pienemmällä generaattorilla. Lisäksi tehokertoimille käytettiin arvioita todellisten arvojen puuttuessa. Tämän merkitys kokonaisuudelle ei ole yhtä merkittävä, johtuen siitä, että kone joudutaan reilusti yli-mitoittamaan johtuen juuri tarvittavista oikosulkuvirroista. Varavoimakonetta mitoittaessa selvisi, että aiemmin ilmoitettu 75 kW teho eräälle hissille oli laitteen keskimääräinen teho. Moottorin todellinen nimellisteho oli 110 kW ja kohteen vaatima suurin teho hissien kiihdyttäessä on jopa 218 kVA. Lisäksi varavoimakontin ja rakennuksen välin syöttökaapelin vaikutukselle oikosulkuvirran antokykyvaatimukseen on käytetty tässä työssä arviota. Syöttökaapeli vaikuttaa oi-

kosulkuvirtoihin siten, että se pienentää generaattorin syöttämän oikosulkuvirran suuruutta varavoimakeskuksella. Tällöin generaattorilta vaaditaan vastaavan määrän suurempi oikosulkuvirran tuottokyky, mille tässä työssä käytettiin arvion 30 A likiarvoa.

Polttoainesäiliön tilavuutta arvioitiin kuormituksen mukaisesti. Kuormitukselle riittäisi noin 1000 l säiliö kahdeksan tunnin käyttöajalle. Kuitenkin konetta joudutaan tulevaisuudessa koestamaan ja testaamaan säännöllisesti ja tämä on syytä huomioida polttoainesäiliön koon mitoituksessa. 2000 l säiliöllä mahdollistetaan noin 8 h käyttöajat ilman tankkausta.

Tiivistettynä tarjouspyyntöä varten selvitetty tiedot ovat:

- Generaattorilta vaadittu nimellisteho on vähintään 673 kVA. Tämän vahvistamiseksi tarvitaan vahvistus oikosulkuvirtojen tarpeesta keskuksella.
- Generaattori tulee osaksi turvasyöttöjärjestelmää ja se täytyy olla rakennettu tavalla joka vastaa turvasyöttöjärjestelmän vaatimuksia.
- Generaattorin suorituskykyluokaksi riittää G2 joka määrittelee tärkeimmät generaattorilta vaadittavat ominaisuudet. Tämä täytyy varmistaa ennen lopullista vahvistusta.
- Generaattorin poltto-ainesäiliön tilavuus tulee olla vähintään 1000 l.
- Generaattorin on kyettävä kytkemään kerralla kohteen suurin kuormitus, eli 218 kVA / 315 A kuorma. Kuormituksen kesto on kolme sekuntia, jonka aikana jännitteenaleneman on pysyttävä sallituissa rajoissa.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön tuloksena saatiin, käytössä oleva lähdemateriaali huomioiden, mahdollisimman tarkka arvio varavoimakoneen mitoitustehosta. Sähkösuunnittelun tarkentuessa, tulee myös varavoimakoneen mitoitus tarkentumaan.

Varavoimakoneen mitoitukselle jäi tässä työssä muutamia epävarmuustekijöitä. Yhtenä epävarmuutena oli, että käytössä ei ollut tarkkoja tietoja kuorman tehokertoimista. Tässä työssä käytettiin arvioita kohteen tehokertoimelle. Tehokertoimia arvioitiin siten, että hissien ja pumppujen vaatima teho oletettiin kokonaisuudessaan moottorikuormaksi, ja näille otettiin arvot moottorivalmistajien esitteistä. Muille kuormille joiden tehokertoimia ei ollut tiedossa käytettiin arviota 0,8 induktiivista. Tämä on varsin todennäköisesti reilusti alakanttiin ja on näin turvallisella puolella koneen mitoitusta mietittäessä.

Tehokertoimien määrittäminen ei tässä tapauksessa lopulta ollut niin olennaista kun aluksi ajateltiin. Voisi jopa väittää, että tehokertoimilla ei ole juurikaan merkitystä koneen mitoituksen kannalta johtuen juuri siitä, että kone tullaan mitoittamaan vaadittavien oikosulkuvirtojen perusteella.

Loppuvaiheessa työn tekemistä selvisi, että eräälle laitteelle aiemmin ilmoitettu 75 kW teho olikin laitteen keskimääräinen teho. Todellinen moottorikoko on huomattavasti suurempi ollen mitoitukseltaan 110 kW. Samalla selvisi, että kuorma tulee olemaan taajuusmuuttajaohjattu. Kuitenkin kyseessä on hissi, ja laitetoimittajan laskelmien perusteella hissi tulee tarvitsemaan maksimissaan kolmen sekunnin ajan kiihdyttäessään jopa 315 A virtaa ja 218 kVA tehoa. Tämä on erittäin tärkeää huomioida tarjouspyynnössä, jotta koneen kuormanotto-kyky riittää kytkemään kyseisen kuormituksen muun kuormituksen lisäksi siten, että jännitteenalenema pysyy sallituissa rajoissa.

Kuten aiemmin tässä työssä on todettu, niin kohteessa on vähän varsinaista kuormitusta, mutta yksi suurempi lähtö jossa etusulakkeet ovat luokkaa 250 A. Tätä työtä kirjoittaessa sähkösuunnittelu ei ollut vielä valmistunut, eikä ollut vielä käytettävissä vaatimusta oikosulkuvirralla kyseisellä keskuksella. Päädyimme käyttämään työssä arvioita, jossa huomioimme SFS 6000 asettamat vaatimukset oikosulkuvirroille 250 A, gG sulakkeilla ja 55 m kaapelipituudella. Lisäksi

arvioimme syöttökaapelin mitoitusta ja päätimme käyttää tälle arvona 30 A, joka lisätään generaattorilta vaadittavaan oikosulkuvirran tuottokykyyn. Näillä arvioilla oikosulkuvirran tarpeesta on hyvin olennainen merkitys koneen mitoitukselle, ja tämä onkin työn suurin epävarmuustekijä. Mikäli generaattorin kokoa halutaan pienentää, on löydettävä keinoja pienentää etusulakkeiden kokoa, tai käyttää suojauksena katkaisijoita jotka tarvitsevat vähemmän oikosulkuvirtaa.

Kuten tässä työssä on aiemmin mainittu, voidaan varavoimajärjestelmät jakaa turvasyöttöjärjestelmiin ja varavoimajärjestelmiin sen mukaisesti, että käytetäänkö niitä henkilöturvallisuuden turvaamiseen. Tässä käyttökohteessa varavoimakoneen taakse tulee palovesipumppuja ja hissejä. Molemmat vaikuttavat suoraan henkilöturvallisuuteen ja tulkintamme mukaisesti tämä varavoimakone tulee tulkita osaksi turvasyöttöjärjestelmää. Tämän johdosta ei mitoituksen lähtökohdista voi tinkiä ja suojaus vikavirtoja vastaan tulee toimia kaikissa olosuhteissa.

Kohteen suorituskykyluokittelua ei voitu tässä vaiheessa vielä tehdä, johtuen siitä, että lopullista tietoa kohteen kuormitusten vaatimuksista ei ollut käytössä. Yleisellä tasolla voidaan todeta, että kohteessa ei ole erityisen herkkää elektronikkaa, joten kohteen luokitteluna voidaan käyttää suorituskykyluokkaa G2, joka vastaa likimain verkkosähkön olosuhteita.

Työn tavoitteena oli tuottaa tietoa toimeksiantajalle, jota voidaan hyödyntää tarjouspyyntöä varten. Työ pääsi tavoitteisiinsa. Työn tuloksia voidaan käyttää arvioimaan tulevan varavoimakoneen kokoa. Työn liitteenä 1 on Excel-taulukko, jota voidaan käyttää määrittämään varavoimakoneen mitoitusta. Kunhan sähkösuunnittelun tuloksena saadaan luotettava vaatimus kohteessa tarvittavalle oikosulkuvirralla, saadaan myös varavoimakone mitoitettua tarkalleen oikein käyttäen menetelmiä, jotka ovat tässä työssä kuvattuja.

LÄHTEET

ABB 2018. Low voltage general performance motors catalog. Viitattu 13.5.2019
<http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105789&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

Eaton 2019. E-Series datasheet. Viitattu 13.5.2019
<https://www.eaton.com/Eaton/ESeriesUPS/ESeriesDXUPS20-40kVA3-Phase/index.htm#tabs-2>

ST-Käsikirja 20. 2005. Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät. Espoo. Sähkötieto Oy.

ST-Käsikirja 31. 2019. Varavoimakoneet ja –laitokset. Espoo. Sähkötieto Oy.

Rajala, T. 2015. Sähkövoimatekniikan laboratorion generaattorilaitteisto. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähkövoimatekniikka. Opinnäytetyö.

LIITTEET

Liite 1. Mitoituslaskuri

Liite 2. Turvayöttöjärjestelmien luokittelu

Liite 1. Mitoituslaskuri

LASKENTA KUORMITUSTEN PERUSTEELLA							
Varavoimaa tarvitsevat laitteet							
Kohde	Teho[kW]	Jännite[V]	Hyötysuhde	Korjattu te	Tehokerroin	Loisteho(kVAr)	Näennäisteho[kVA]
Fire water pump 1	22	400	93 %	24	0,80	18	30
Fire water pump 2	10	400	91,40 %	11	0,82	8	13
Elevator	21,6	400	93 %	23	0,80	17	29
Service hoist	75	400	95 %	79	0,86	47	92
Additional load hoist	20	400	95 %	21	0,86	12	24
Elevator acceleration load		400		186			218
Production hoist	30	400	93,60 %	32	0,82	22	39
UPS electrical room	40	400	92 %	43	0,99	6	44
Lights		400		7	0,80	5	9
Lights		400		7	0,80	5	9
Laajennusvara		400		40	0,80	30	50
Laitoksen häviöt 7%		400		27	0,80	20	34
Yhteensä				421	kW		499 kVA
Kuormitusten mukaan mitoitettuna koneen nimellisteho					499 kVA		
LASKENTA OIKOSULKUVIRTOJEN PERUSTEELLA							
Vaatus oikosulkuvirroille							
Varavoimakeskuksella	2300 A		Pääjännite			400 V	
Syöttökaapelin vaikutus	27 A		Syöttökaapelin resistanssi			0,059 Ω /km	
			Syöttökaapelin reaktanssi			0,053 Ω /km	
Tarvittava oikosulkuvirta	2327 A		Kaapelin pituus			15 m	
			Oikosulkuvirta kaapelin kanssa			2273 A	
Kerroin oikosulkuvirran antokyvylle							
	2,4						
Vaadittava näennäisteho Sn	672 kVA						
Oikosulkuvirtojen mukaan mitoitettuna koneen nimellisteho					672 kVA		

Liite 2. Turvayöttöjärjestelmien luokittelu. ST-Käsikirja taulukot 2.1 ja 2.2

Taulukko 2.1. Esimerkki turvayöttöjärjestelmien luokittelusta.

Toiminto Tila Prosessi Järjestelmä	Luokka					Laitekohtainen suojaus		Järjes- telmä	Syöttö	
	Katko- ton	0,15 s kytk.	0,5 s kytk.	15 s kytk.	> 15 s kytk.	Akusto	Vara- käynti- aika	Redun- dantti	Vara- voima	UPS
Paloilmoitus	X					On	24 h	Ei	X	-
Leikkaussali			X			Ei	-	Ei	-	X

Taulukko 2.2. Esimerkki varmennettavien toimintojen vaatimuksista.

Toiminto Tila Prosessi Järjestelmä	Suojaustaso				Varakäyntiaika			Järjestelmä		
	Häiriö- suojaus- jännite	Häiriö- suojaus- taajuus	Katko- ton	Sallittu katko- aika	Auto- maat- tinen	Miehi- tetty	Jatkuva	Ei redun- dantti	Redun- dantti teho- lähde	Redun- dantti jakelu
Tietokone- sali - tietokoneet	X	X	X	-	4 h	7 vrk	-	-	X	X
Tietokone- sali - jäähditys				2 min	4 h	7 vrk	-	-	-	X