

Juuso Smeds

Varavoimakoneella varmennettu sähkönjakelu kiinteistöissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

18.11.2017

Tekija Otsikko	Juuso Smeds Varavoimakoneella varmennettu sähkönjakelu kiinteistöissä
Sivumäärä Aika	36 sivua 18.11.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	Yliopettaja Jarno Varteva
<p>Insinööriyössä selvitettiin Suomessa pääosin pienjännitteisellä dieselgeneraattorilla toteutun kiinteistön varmennetun sähkönjakeluverkon rakennetta ja toimintaa, sekä rakenteeseen ja toimintaan liittyviä vaatimuksia ja suosituksia. Työn toteutuksen apuna käytössä oli FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy:n suunnittelumateriaalia liittyen erään todellisen kiinteistön varmennettuun sähkönjakeluverkkoon.</p> <p>Laitteiston ja järjestelmän vaatimuksia kerättiin aiheeseen liittyvistä Sähkötieto ry:n ST-korteista ja Suomen standardisoimisliitto SFS:n pienjännitesähköasennuksia koskevista standardeista. Lisätietoja hankittiin aiheeseen liittyvistä artikkeleista sekä laitteiston valmistajien kotisivuilta.</p> <p>Työn lopputuloksena syntyi kokonaisuus, jolla tutustumista kiinteistöjen varmennettuihin sähköjärjestelmiin on helpotettu keskittymällä järjestelmään kokonaisvaltaisesti, välttäen liiallisen uppoutumisen tiettyjen järjestelmän osien ja komponenttien yksityiskohtaisempaan toimintaan.</p>	
Avainsanat	Varmennettu sähkönjakelu, varavoimakone, dieselgeneraattori

Author Title	Juuso Smeds Generator Backed-Up Power Distribution in Real Estates
Number of Pages Date	36 pages 18 November 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Jarno Varteva, Principal Lecturer
<p>This study reviews back-up power distribution mainly based on a diesel-powered generator in Finnish real estates. The review covers the generic structure and functioning of such power distribution networks, and provides guide lines and requirements regarding the system. While conducting the study, material provided by an engineering group FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy regarding the back-up power distribution network of an actual real estate was used.</p> <p>The information about the requirements for the installations and system was gathered from ST-cards written by Sähkötieto ry and standards covering low-voltage electrical installations published by the Finnish Standards Association SFS. Additional information was acquired from articles concerning the subject and from the Internet pages of manufacturers.</p> <p>The result is information package that eases the introduction to the back-up power distribution networks in real estates by focusing on the system as a whole avoiding excessive inspection of the detailed functioning of certain components and parts of the system.</p>	
Keywords	Back-up power distribution, standby generator, diesel generator

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Varmennettu sähkönjakelu	2
2.1	Käyttökohteet	3
2.2	Varmennettu sähkönsyöttö lääkintätilassa	4
3	Varavoimageneraattorit	7
3.1	Toiminta ja rakenne	8
3.2	Vaatimukset varavoimageneraattorille	9
4	Ohjaus- ja valvontakojeisto	11
5	Apujärjestelmät	13
6	Järjestelmä	15
6.1	Rakenne ja toiminta	15
6.2	Rinnankäynti	18
6.3	Varmennetun jakeluverkon suojaukset	19
6.4	Maadoitukset	22
7	Varavoimalaitoksen sähkön laatu	23
8	Laitetilat	25
9	Varavoimajärjestelmän suunnittelu	29
10	Varavoimalaitteiston käyttö ja huolto	32
11	Yhteenveto	34
	Lähteet	35

Lyhenteet

ATEX	Atmosphères explosibles. Nimitystä käytetään Euroopan yhteisön direktiiveistä, jotka koskevat räjähdysvaarallisia tiloja, niissä työskentelyä ja tiloissa käytettäviä laitteita
Ex-tila	Räjähdysvaarallinen tila
UPS	Uninterruptible Power Supply. Keskeytymätön tehonlähde. Akustoon perustuva tehonlähde, jolla voidaan turvata sähkönsyöttö jakeluhäiriöiden aikana

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä käsitellään varavoimalla varmennettujen kiinteistöjen sähkönjakeluverkkoa sekä siihen tyypillisesti kuuluvia laitekokonaisuuksia, keskittyen erityisesti pienjännitteisillä varavoimakoneilla toteutettuihin järjestelmiin. Insinööriyössä ei käsitellä UPS-laitteistoja, eikä niillä toteutettuja varavoimajärjestelmiä. Varavoimakoneita ja järjestelmää käsiteltäessä keskitytään pääosin dieselgeneraattoriin perustuvaan varavoimaan, koska se on yleisesti ottaen vallitseva toteutustapa kiinteistöjen varavoimajärjestelmissä.

Insinööriyössä käydään läpi yleisesti varavoimalaitoksen eri laiteryhmiä rakennetta ja toimintaa, laitokselta vaadittavia ominaisuuksia koskien mm. laitetiloihin, tuotettavan sähkön laatua sekä tietyissä käyttökohteissa määritellyjä käyttöaikoja ja katkojen sallittuja enimmäispituuksia. Käsitelyssä on myös erilaisia suunnittelussa huomioitavia seikkoja syötettävän kuorman vaikutuksista tuotetun sähkön laatuun. Työn lopussa käydään läpi varmennetun verkon ylläpidossa tärkeitä seikkoja liittyen laitteiston huoltoon sekä vaadittuihin tarkastuksiin.

Työssä pyritään pitäytymään sähkötekniisesti yksinkertaisella tasolla, mikä helpottaa varavoimajärjestelmistä tietämättömän henkilön tutustumista kiinteistöjen varavoimakoneella varmennetun järjestelmän yleisimpiin toteutustapoihin työtä apuna käyttäen.

Aihe kyseiseen insinööriyöhön on kehitetty itsenäisesti. Työskentelin insinööriyön tekemisen ajankohtana harjoittelevana sähkösuunnittelijana yrityksessä FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy, ja olin osallisena suunnittelemassa kohdetta, johon tilaaja halusi varavoimakoneella varmennettua sähköverkkoa. Aihe oli itselleni entuudesta täysin tuntematon. Järjestelmä ja sen toiminta alkoi kuitenkin lopulta kiinnostaa kovasti ja aiheeseen enemmän perehtyäkseni halusin tehdä aiheesta insinööriyön. Insinööriyön tavoitteeksi muodostui pääasiassa itseni perehdyttäminen kyseisiin järjestelmiin.

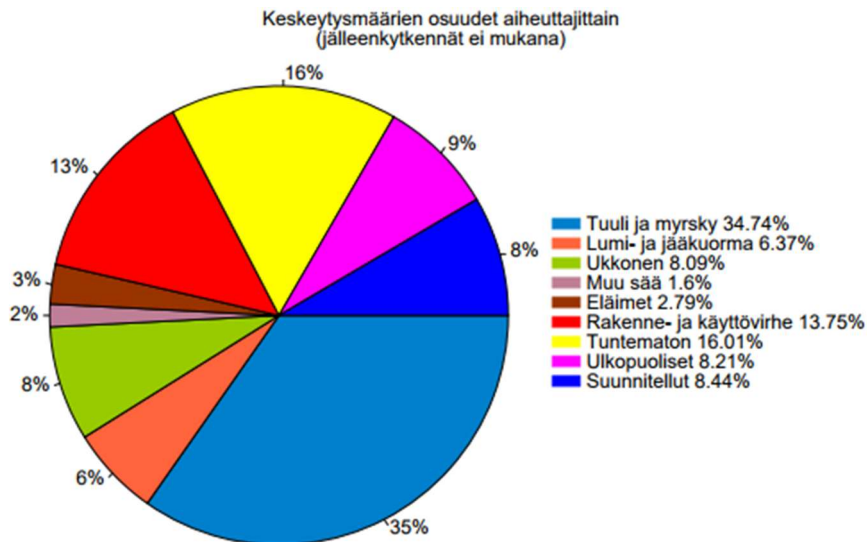
2 Varmennettu sähköjakelu

Varmennetulla sähköjaketulla tarkoitetaan yleisestä jakeluverkosta erillään toimivan tehonlähteen syöttämää sähköverkkoa. Tehonlähteenä yleisen jakeluverkon puolella toimii usein joko kaasuturbiinilla varustettu varavoimalaitos tai hiilivoimalaitos. Kiinteistöpuolella, jossa tehon tarve on murto-osa yleiseen sähköjakeluun verrattuna, käytetään varavoiman tehonlähteinä UPS-laitteistoja ja varavoimageneraattoreita. Varmennetulla sähkönsyötöllä varustetussa kiinteistössä on usein molemmat tehonlähteet täydentämässä toisiaan.

Varavoiman tarkoituksena on siis sähköjakelun varmistaminen myös silloin, kun yleisessä sähköjakeluverkossa tapahtuva jakelu jostain syystä katkeaa.

Yleisesti ottaen sähköjakeluverkon luotettavuus Suomessa on hyvällä tasolla. Vuonna 2016 asemakaava-alueella sijaitsevan käyttäjän kokeman keskimääräisen sähkökatkoksen kesto oli alle tunti. Asemakaava-alueiden ulkopuolella kesto oli keskimäärin alle 8 tuntia. Syy eroon johtuu pääasiassa verkon asennustavasta. Asemakaava-alueen ulkopuolella yleisemmät ilmajohtdot ovat herkempiä sään aiheuttamille häiriöille maakaapeleihin verrattuna. Ilmajohtojen vaurioiden paikantaminen ja korjaaminen syrjäisillä alueilla vie enemmän aikaa asemakaava-alueilla vaurioituneiden maakaapeleiden korjaamiseen verrattuna.

Sähkökatkojen suurimpia aiheuttajia Suomessa vuonna 2016 olivat myrskyjen sekä lumen ja jääkuorman aiheuttamat viat jakeluverkossa. Sähkökatkoista pieni osa oli sähköverkon uudistustöistä aiheutuvia suunniteltuja työkeskeytyksiä, jolloin sähkökäyttäjän kokeman katkon aika jäi erittäin lyhyeksi. Energiateollisuus ry:n laatimassa kuviossa 1 on eritelty tarkemmin sähkökäyttäjän kokemien sähkökatkojen aiheuttajia. [1.]



Kuvio 1. Asiakkaan kokeman sähköjakelun keskeytyksen aiheuttajat. Energiateollisuus ry 2016.

Yleisen sähköjakeluverkon luotettavuudesta huolimatta erilliselle varavoimajärjestelmälle löytyy tarvetta niin pienessä kuin suuressa mittakaavassa. Järjestelmiä voidaan räätälöidä erilaisiin kohteisiin riippuen lähinnä järjestelmän käyttäjän tarpeista.

2.1 Käyttökohteet

Varmennettua sähköjakelua käytetään kohteissa, joissa laitekokonaisuuksien toiminta halutaan turvata mahdollisesta sähkökatkoksesta huolimatta. Tyypillisiä kohteita ovat mm. sairaalat, liikerakennukset ja teollisuus. Syrjäisemmillä alueilla myös pienkiinteistöt, kuten omakotitalot ja kesämökit, ovat usein varustettu varavoimageneraattorilla. Myrskyn vaurioittaessa voimalinjoja etenkin syrjäisillä alueilla voi sähkökatko kestää jopa useita päiviä, jolloin erillinen varavoimajärjestelmä voi osoittautua erittäin hyödylliseksi ratkaisuksi.

Sähköjakelun yllättävä katkeaminen voi teollisuudessa aiheuttaa mittavat tappiot tuotannon keskeytyessä. Sairaanhoidon puolella kyse ei ole enää pelkästään taloudellisista tappioista vaan pahimmassa tapauksessa ihmishengistä katkoksen osuessa esimerkiksi keskelle leikkaustilannetta. Sairaalaympäristössä varavoimajärjestelmiin liittyykin tiettyjä vaatimuksia, joita eritellään seuraavassa kappaleessa.

2.2 Varmennettu sähkönsyöttö lääkintätilassa

Lääkintätilaksi kutsutaan tilaa, jossa potilaita tutkitaan, hoidetaan ja valvotaan sähkökäyttöisten lääkintälaitteiden avulla. Lääkintätiloissa tapahtuvat toimenpiteet ovat usein luonteeltaan sellaisia, että lyhytaikainenkin sähkökatkos voi mahdollisesti aiheuttaa suurta vahinkoa potilaalle. Potilaiden turvallisuuden vuoksi tiloja varten onkin säädetty erillisiä vaatimuksia koskien mm. varmennettua sähkönsyöttöä. Tilojen varmennetun sähkönsyötön vaatimuksissa käsitellään järjestelmiä, jotka sisältävät mahdollisen generaattorin lisäksi UPS-laitteiston.

Lääkintätilat jaetaan kahteen ryhmään:

Ryhmä 1	Ryhmä 2
Lääkintätila, jossa sähkönsyötön keskeytys ei aiheuta välitöntä uhkaa potilaan turvallisuudelle, ja sähkökäyttöisen lääkintälaitteen liityntäosia on tarkoitus käyttää ihon ulkopuolisesti.	Lääkintätila, jossa sähkökäyttöisten lääkintälaitteiden liityntäosia on tarkoitus käyttää sydämenläheisiin toimintoihin, leikkaussalikäyttöön tai tehohoitoon, joissa sähkönsyötön keskeytys voi aiheuttaa välittömän vaaran potilaille.

Ryhmän 2 lääkintätilat tulee varustaa varavoimajärjestelmällä, jotta mahdollisen sähkökatkon sattuessa käynnissä olevat toimenpiteet voidaan tehdä turvallisesti loppuun, sekä yleisesti turvataan lääkintätilan keskeytymätön toiminta. Ryhmän 1 lääkintätiloihin varmennettua sähkönsyöttöä ei vaadita, ja päätöksen varavoimajärjestelmän tarpeesta tekee lääkintätilan vastuullinen johto.

Varavoimajärjestelmien syöttö on luokiteltu viiteen eri ryhmään katkon keston perusteella:

Taulukko 1. Lääkintätilojen varavoimajärjestelmien sähköisten syöttöjen luokittelu [3.]

Luokka 0 (ei katkoa)	automaattinen syöttö ilman katkoa
Luokka 0,15 (hyvin lyhyt katko)	automaattinen syöttö 0,15 s kuluessa
Luokka 0,5 (lyhyt katko)	automaattinen syöttö 0,5 s kuluessa
Luokka 15 (keskipitkä katko)	automaattinen syöttö 15 s kuluessa
Luokka >15 (pitkä katko)	automaattinen tai käsin ohjattu syöttö yli 15 s kuluessa

Mahdollinen sähkönsyötön katkeaminen tulee sairaalaympäristössä pystyä korvaamaan varavoimalla korkeintaan 0,5 sekunnissa, joten normaalisti sairaalan varavoiman sähköisen syöttöön valitaan luokka 0,5. Sairaaloissa voidaan kuitenkin pitkien katkojen ajalle varautua lisävaravoimalla, jonka kytkeytymisaika voi olla yli 15 s.

Lääkintätilassa eri laitejärjestelmille on SFS standardissa 6000-7-710 määritelty omat vaatimukset varavoiman kytkeytymisajalle sekä ajalle, jonka tehonlähteen tulee pystyä syöttämään laitetta katkoksen ajan:

- 1. Enintään **0,5 s** kytkeytymisajan omaavien varavoimajärjestelmän tehonlähteiden tulee pystyä syöttämään vähintään **3** tunnin ajan:
 - leikkausvalaisimet
 - lääkintäsähkölaitteet, joissa on käytön kannalta välttämättömiä valaisimia mm. tähystysvalaisimet ja niihin liittyvät välttämättömät laitteet, esim monitorit
 - kriittiset elämää ylläpitävät lääkintälaitteet. (Huom. akkuvarmennettu lääkintälaitte voidaan liittää syöttöön, jonka kytkeytymisaika on enintään 15s.

- 2. Enintään **15 s** kytkeytymisajan omaavien varavoimajärjestelmän tehonlähteiden tulee pystyä syöttämään vähintään **24** tunnin ajan:
 - poistumisvalaistus
 - varavalaistus (ryhmän 2 lääkintätilassa vähintään 50% valaisimista).

- 3. Yli **15 s** kytkeytymisajan omaavien varavoimajärjestelmän tehonlähteiden tulee pystyä syöttämään vähintään **24** tunnin ajan:
 - Muut kuin kohdissa 1 ja 2 mainitut sairaalatoiminnan ylläpitoon vaaditut laitejärjestelmät

Kohdassa 1 vaadittu kytkeytymis- ja syöttöaika pystytään saavuttamaan oikein mitoitetulla UPS-järjestelmällä tai akustolla, joita tukemaan voidaan lisäksi kytkeä varavoimageneraattori syöttöajan pidentämiseksi. Kohdan 2 ja 3 kytkeytymis- ja syöttöaika saavutetaan kiinteistöön asennetusta automaattisesti käynnistyvästä varavoimageneraattorista. 15 sekunnin kytkeytymisaika perustuu lähinnä aikaan, jonka varavoimageneraattorin moottori tarvitsee verkkovirran katkeamisesta halutun pyörimisnopeuden saavuttamiseen. Varavoimageneraattorin syöttöaika riippuu koneikossa olevan polttoaineen määrästä. Käymisaikaa voidaan tarvittaessa pidentää varaamalla ylimääräistä polttoainetta varavoimageneraattorin varastosäiliöön.

Varavoimajärjestelmän tehonlähteeksi ei hyväksytä paristoja eikä yleisestä jakeluverkosta tulevaa toista syöttöä. Tehonlähteiden toimintavalmiutta tulee valvoa ja testata säännöllisesti.

Eri varavoimajärjestelmien varmentamat pistorasiat suositellaan lääkintätiloissa merkitsemään tekstin lisäksi värijärjestelmällä helpottamaan järjestelmän tunnistamista. SFS-käsikirjassa 600-1 kohdassa 6000-7-710 suositeltavat tunnusvärit syötön kytkeytymisaikojen mukaan ovat seuraavat: normaaliverkko valkoinen, yli 15 s syöttö vaaleansininen, alle 15 s syöttö sininen, alle 0,5 s syöttö punainen ja UPS-syöttö oranssi. [3;4.]

3 Varavoimageneraattorit

Luvussa käytetään termiä varavoimageneraattori laitekokonaisuudesta, jonka muodostaa generaattori, polttomoottori sekä näiden toimintaan edellytettävät komponentit.

Varavoimageneraattori on varmennetun sähköverkon ydinkomponentti. Generaattoreita löytyy laaja valikoima pienkiinteistöön tarkotetuista alle 5 kVA:n generaattoreista jopa yli 3000 kVA:n laitokäyttöön tarkotettuihin generaattoreihin. Liikuteltavia varavoimageneraattoreita kutsutaan aggregaateiksi ja niiden tehonlähteenä on usein bensiinimoottori. Suuremmat kiinteistöjen varavoimageneraattorit ovat kiinteästi asennettuja dieselgeneraattoreita. Kiinteästi asennetut generaattorit asennetaan sisätiloissa varavoimakonehuoneeseen tai erilliseen varavoimakonttiin rakennuksen ulkopuolelle. Generaattoreita saa avoimena mallina, sekä koteloituna mallina. Avoin malli soveltuu käytettäväksi sisätiloissa ja tulee usein halvemmaksi ratkaisuksi koteloituun versioon verrattuna. Koteloidut varavoimageneraattorit ovat usein sääsuojusta, joten niitä voi sijoittaa suoraan ulkotiloihin ilman erillistä varavoimakonehuonetta. Sisätiloihin sijoitettu varavoimageneraattori voidaan myös usein varustaa koteloinnilla paremman äänieristävyyden takia. [5;6.]

Syy, miksi dieselgeneraattoreita suositetaan kiinteissä varavoimalaitoksissa bensiinikäyttöisten sijaan, johtuu pitkälti polttoaineiden ominaisuuksista. Bensiini on erittäin herkästi syttyvää polttoainetta, ja sen varastointi muodostuu ongelmaksi sisätiloissa. Etenkin kiinteistöissä, joissa varavoimageneraattorin tulisi kyetä ylläpitämään varavoimaverkkoa usean tunnin ajan, tulisi tarvittavan varastoidun bensiinin määrästä merkittävä turvallisuusriski. Dieselöljyllä ei vastaavaa paloriskiä ole, joten sen varastointi on riskittömämpää. Lisäksi dieselmoottori on usein hyötysuhteeltaan parempi vastaavaan bensiinimoottoriin verrattuna.

Aggregaateissa polttoainetta harvemmin tarvitsee varastoida suuria määriä sisätiloihin. Tällöin bensiinillä käyvät generaattorit voivat olla vartenotettava vaihtoehto hankintaa tehdessä etenkin pienikiinteistöissä, joissa varmennettavan verkon kuorma ei ole suuri. Bensiinillä käyvät aggregaatit ovat usein myös edullisempia vastaaviin dieselmoottorimalleihin verrattuna. [7.]

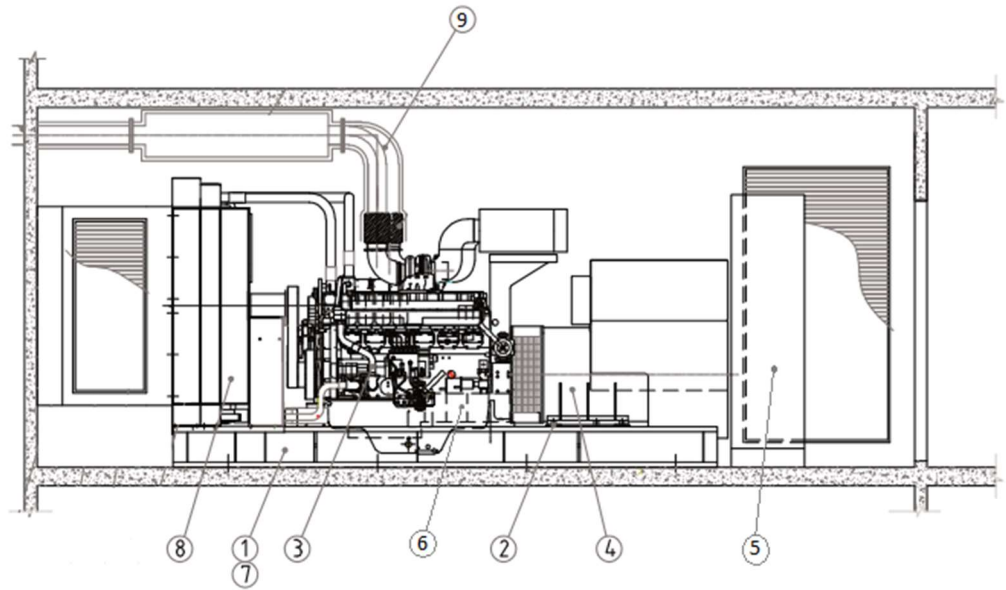


Kuva 1. SDMO Industriesin varavoimageneraattoreita. Vasemmalla 2,8 kW:n yksivaiheinen bensiinigeneraattori ja oikealla 3,3 MVA:n dieselgeneraattori.

3.1 Toiminta ja rakenne

Varavoimageneraattorien toimintatapa yksinkertaistettuna on pääosin samanlainen riippumatta siitä, onko kyseessä bensiini- vai dieselmootorilla varustettu koneikko. Polttomootoriin johdetun polttoaineen energia muutetaan mekaaniseksi liike-energiaksi, joka voimansiirron avulla siirretään moottorista generaattorin roottorille. Generaattorissa moottorin pyörittämän roottorin sekä kiinteän staattorin avulla liike-energia muutetaan sähköenergiaksi, ja siirretään johtimia pitkin varavoimakoneesta ulos. Erot bensiini- ja dieselgeneraattoreiden toiminnassa tulevat lähinnä siitä, miten polttoaineen energia muutetaan liike-energiaksi polttomootorin sisällä.

Varavoimageneraattoreiden rakenne riippuu luonnollisesti siitä, minkä kokoluokan laitteisto on kyseessä. Kuva 1 havainnollistaa hyvin, kuinka eri teholuokan koneikot ulkonäöllisesti poikkeavat toisistaan. Pienempitehoiset aggregaatit koostuvat lähinnä polttomootorista, generaattorista sekä moottorin ja generaattorin välisestä voimansiirrosta. Isommille dieselgeneraattoreille on edellä mainittujen komponenttien lisäksi ominaista moottorille ja generaattorille asennettu yhteinen alustarakenne ja käyntitärinän eristimet, polttoainesäiliö, ohjausjärjestelmät sekä jäähdytys- ja ilmastointijärjestelmät. [5;8.]



Kuva 2. Dieselgeneraattorin rakenne. [8.] (kuvaa muokattu)

Kuvan 2 dieselgeneraattorin osien selitykset:

1. Teräsalusta
2. Tärinäneristimet
3. Dieselmoottori
4. Generaattori
5. Ohjaus- ja valvontakojeisto
6. Akusto moottorin käynnistykseen ja ohjaukseen
7. Polttonesteen käyttösäiliö
8. Puhallin jäähdytystä varten
9. Pakoputki

3.2 Vaatimukset varavoimageneraattorille

Lähtökohtaisesti generaattorilaitteiston tulee olla yhteensopiva syötettävän kuorman kanssa mm. jännitteen, taajuuden ja kuorman suhteen. Laitteiston on oltava mitoitettu niin, että syötettävä kuorma ei ylitä generaattorin tehoa, eikä kuormitusten kytkentä päälle ja pois päältä aiheuta laitteistoa vaarantavia jännite- ja taajuusvaihteluita. Käytössä on myös oltava laitteet, joilla voidaan tarvittaessa automaattisesti kytkeä syötettävän verkon osia pois kuorman ylittäessä generaattorin kuormitettavuuden. [3.]

Varavoimageneraattorin käynnistymisen on oltava varmaa ja sen on tapahduttava ensimmäisellä käynnistysyrityksellä. Moottorin käynnistymisajan tulee vastata kohteeseen vaadittua varavoiman kytkeytymisaikaa, esimerkkinä lääkintätiloissa vaadittu 15 s verkkovirran katkeamisesta varavoiman kytkeytymiseen. Käynnistymisen varmistamiseksi käyttöpaikan eri lämpötilaolosuhteissa tulee dieselmoottori varustaa esilämmittimellä, jonka toiminta automaattisissa varavoimalaitoksissa on varmistettava automaattisella vikahälytyksellä.

Dieselmoottorille vaadittavia teknisiä ominaisuuksia ovat mm.

- nimellinen käyntinopeus 25 r/s
- painevoitelujärjestelmä
- suljettu jäähdytysjärjestelmä nestejäähdytteiselle dieselille
- polttoaineenjäähdytin, jolla varmistetaan polttoaineen lämpötilan pysyminen alle +50 °C
- ilmaisimet öljynpaineelle, öljymäärälle, jäähdytysnesteen lämpötilalle sekä määrälle
- suojaukset, jotka pysäyttävät moottorin alhaisesta öljynpaineesta, korkeasta lämpötilasta ja moottorin ryntäyksestä.
- käyntitietoilmaisin
- termostaattiohjattu esilämmitys [8.]

Generaattorille vaadittavia teknisiä ominaisuuksia ovat mm:

- suositeltu generaattorityyppi kolmivaiheinen sisänapatahtigeneraattori harjattomalla rakenteella
- nimellisjännite 400/230 V, taajuus 50 Hz
- tehokerroin 0,8
- kotelointi vähintään IP21
- jännitteen nouseva viimeistään kahdessa sekunnissa nimelliseksi käyntinopeuden noususta nimelliseksi. [8.]

4 Ohjaus- ja valvontakojeisto

Varavoimalaitoksen ohjaus- ja valvontakojeistolla tarkoitetaan varavoimakoneikon läheisyyteen sijoitettua teräslevyrakenteisten kojekaappien muodostamaa kokonaisuutta. Varavoimakoneeseen kiinni tulevan kojeiston asennuksessa tulee varmistua, ettei koneikon käymisestä aiheutuva värinä aiheuta vahinkoa kojeistolle. Kojekaappeja voi tapauskohtaisesti olla yksi tai useampia, ja ne sisältävät seuraavat kokonaisuudet:

- ohjauskojeet
- suojaus- ja hälytyskojeet
- mittaus- ja valvontakojeet
- pääpiirin kojeet.

Ohjauskojeet

Varavoimalaitoksen toiminnan ohjauksen kojeet koostuvat yleisimmin automatiikan ohjauspaneelista ja erilaisista käsikäyttöisistä toiminnoista. Ohjauspaneelista voidaan määritellä varavoimakoneikon haluttu toimintatapa: seis, käsinkäyttö, automatiikan ohjaama tai koekäyttö. Paneelista voidaan myös manuaalisesti käynnistää ja pysäyttää koneikko, sekä kuitata suojaus ja hälytyspiirit. Yleisimpiä käsikäyttöisiä toimintoja ovat mm. taajuuden ja jännitteen säätö, automaattisen tahdistuksen valinta sekä mahdolliset polttoaineen seisonalämmityksen ja käyttösäiliön täyttöpumpun kytkimet. [8.]

Suojaus- ja hälytyskojeet

Suojaus- ja hälytyskojeiden perimmäisenä tarkoituksena on suojata varavoimalaitetta sekä syötettävää verkkoa vaurioitumiselta, sekä ilmoittamaan laitteiston toiminnan häiriöt. Suojauskojeet pysäyttävät varavoimakoneikon mm. generaattorin jännitteen ja/tai virran noustessa yli määritellyn raja-arvon. Yleisimpiä rakennusautomaatiikkaan siirrettäviä tietoja ovat koneikon käymisen indikointi sekä varoittavat ja pysäyttävät hälytykset. [8.]

Mittaus- ja valvontakojeet

Mittaus- ja valvontakojeet antavat tietoa varavoimakojeiston tilasta. Kojeryhmä sisältää verkon ja generaattorin pääkojeiden asennonosoitteet sekä mahdollisten erotus- ja ohituskytkimien asennonosoitteet. Mittaus- ja valvontakojeilla seurataan generaattorilaitteiston arvoja, kuten

- jäähdytysnesteen lämpötila
- generaattorin taajuus
- öljynpaine
- vaihekohtainen virtamittaus
- verkko- ja generaattorijännitteet
- latausjännite.

Kojeryhmä voi myös pitää sisällään generaattorilaitteiston tahdistuksessa käytettävän synkronoskoopin. Tällöin varavoimalaitteisto on tarkoitettu lähtökohtaisesti käytettäväksi yleisen jakeluverkon tai toisen varavoimayksikön rinnalla. [8;9.]

Pääpiirin kojeet

Pääpiirin kojeryhmä pitää sisällään varavoimalaitteiston pääkytkimet sekä generaattorin oikosulku- ja ylivirtasuojat. Generaattorin pääkytkimenä käytetään 3- tai 4 napaista kytkintä tai pääkytkinvaatimukset täyttävää katkaisijaa. Kojeryhmä sisältää myös verkon pääkytkimen sekä mahdolliset ohitus-, erotus- ja työmaadoituskytkimet.

Varavoima-automaatiikan ohjaamat generaattorikatkaisija ja verkkokatkaisija sisältyvät pääpiirin kojeisiin. Niiden avulla varavoimalaitos voidaan automaatiikan avulla verkkojännitteen häiriötilanteessa liittää syötettävään verkkoon, ja jännitteen palautuessa normaalisti erottaa omaksi saarekkeeksi sähköverkosta. Automaattisesti käynnistyvän varavoimalaitoksen käynnistymisen aika verkkokatkoksen tapahtumisesta varavoimakoneen sähkönsyöttöön kestää noin 10 sekuntia. [6.]

Ohjaus- ja valvontakojeisto sijoitetaan vaihtoehtoisesti varavoimakoneeseen kiinni tai konehuoneen seinustalle. Jos ohjaus- ja valvontakojeisto on sijoitettu erilliseen tilaan varavoimageneraattorista, tulee koneikkoon erikseen asentaa pääkytkimenä toimiva kytkinlaite.

Varavoimakoneeseen kiinni tulevan kojeiston asennuksessa tulee varmistua, ettei koneikon käymisestä aiheutuva värinä aiheuta vahinkoa kojeistolle.

5 Apujärjestelmät

Varavoimalaitoksen apujärjestelmät sisältävät lähinnä dieselgeneraattoreiden käyttöön tarvittavat välttämättömät laiteryhvät ja asennukset. Laiteryhmään kuuluvat mm. seuraavat laitekokonaisuudet:

- käynnistysjärjestelmä
- dieselmoottorin polttonestejärjestelmä
- pakoputkisto
- jäähdytysjärjestelmä
- laitehuoneen ilmastointijärjestelmä
- laitehuoneen palonsammutusjärjestelmä.

Käynnistysjärjestelmä

Dieselmoottorilla varustettu varavoimageneraattori tarvitsee käynnistystä ja ohjausta varten oman erillisen akuston. Akusto on tyypillisesti käynnistykselle ja ohjaukselle yhteinen ja nimellisjännitteeltään joko 12 tai 24 VDC riippuen käytössäolevan dieselmoottorin sähköjärjestelmästä. Akuston mitoituksessa tulee ottaa huomioon varavoimalaitoksen sijoittamisesta aiheuvat mahdolliset lämpötilan vaikutukset ja siitä johtuva akuston napajännitteen alenema. Napajännite ei huonoimmissa olosuhteissa saisi laskea 15 % enempää nimellisestä jännitteestä. Sama lämpötilanvaikutus tulee myös ottaa huomioon akuston ja käynnistysmoottorin välisissä kaapeleissa. Käynnistysmoottorin oikosulkuvirralla sallittu jännitteenalenema on plus- ja miinusjohdossa yhteensä 8 %. Jännitteenaleneman minimoimiseksi akusto tulisikin

yleensä sijoittaa varavoimakoneen välittömään läheisyyteen, suojattuna kuitenkin koneen tuottamalta lämmöltä.

Varavoimalaitteisto yleisesti varustetaan akustoa varavoimakoneen käymisen aikana varaavalla latausgeneraattorilla, sekä laitoksen seisonnan aikana akustoa täydessä varaustilassa pitävällä ylläpitovarauslaitteella. Ylläpitovarauslaitteena voidaan käyttää virranrajoituksella varustettua vakiojännitelatauslaitetta. Laite ottaa varauksensa varmennetusta sähköverkosta, ja se on varustettu jännitemittauksella.

Akuston sijoittelussa tulee varmistua laittilan riittävästä ilmanvaihdosta, ja akuston mahdollisesta vaurioitumisesta aiheutuvien akkuhappojen kestävydestä. Myös koneiston käymisestä aiheutuvan lämmön, mekaanisen rasituksen ja öljyn haitallinen vaikutus käynnistyskaapeleihin tulee minimoida. [8.]

Dieselmoottorin polttonestejärjestelmä

Dieselmoottorin polttonestejärjestelmällä tarkoitetaan dieselgeneraattoreissa polttoaineen varastointiin ja moottorille siirtoon tarvittavaa laitteistoa. Järjestelmään kuuluu täyttö- ja ilmaputkilla sekä ylitäytön estimellä varustettu polttonesteen varastosäiliö, käsi-, tai sähköpumpulla varustettu varastosäiliön ja käyttösäiliön välinen siirtolaitteisto, käyttösäiliö sekä putkisto käyttösäiliön ja polttomoottorin välillä. Laitoksen toimivuuden kannalta kriittiset osat ovat käyttösäiliö sekä käyttösäiliön ja polttomoottorin välinen putkisto. Varastosäiliö ja polttonesteen siirtolaitteisto ovat lähinnä polttonestehuollon yksinkertaistamista sekä laitoksen pitempiaikaisen käytön varmistamista varten. [8.]

Varavoimakonehuoneen jäähdytysjärjestelmä

Varavoimakoneikon toimivuuden kannalta on tärkeää, ettei sitä ympäröivän ilman lämpötila pääse nousemaan liian korkeaksi. Yleisenä nyrkkisääntönä voidaan pitää +40 °C:n lämpötilaa, jonka alle ilman lämpötila pyritään pitämään. Varavoimakoneen käymisen aikana tuottama lämpöenergia on huomattava, jopa neljäsosa laitoksen kokonaissähkötehoon verrattuna. Suureen merkitykseen nousee siis varavoimakonehuoneen jäähdytyksen järjestäminen tehokkaan ilmanvaihdon avulla. [8.]

6 Järjestelmä

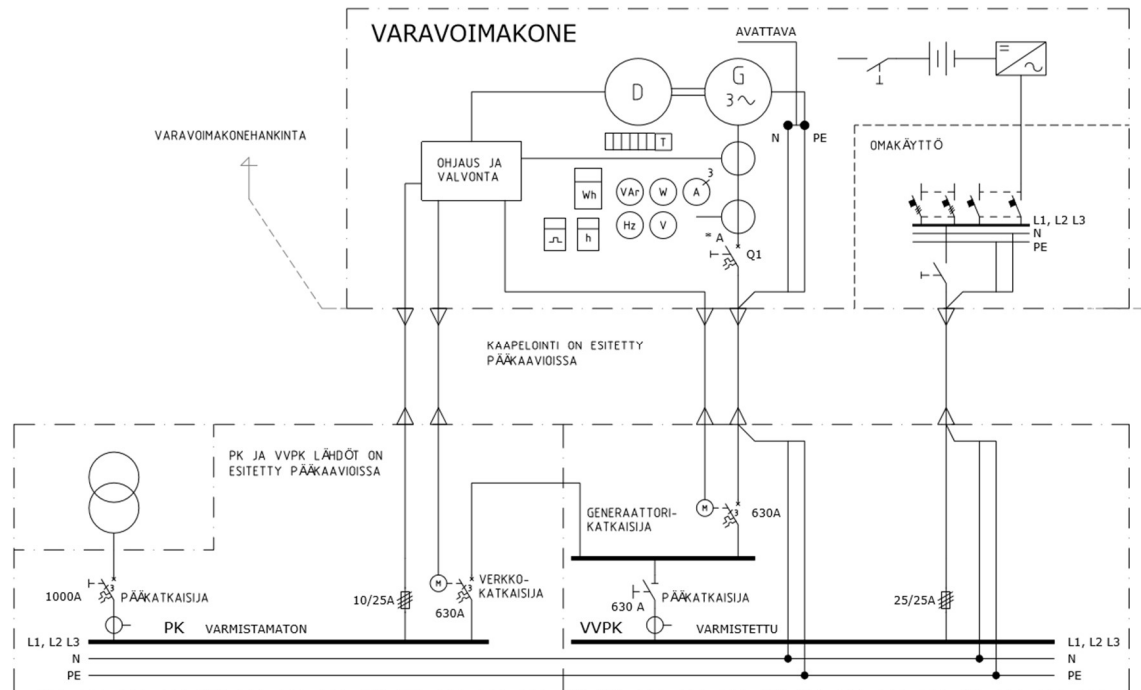
Kokonainen varavoimajärjestelmä koostuu aiemmin eriteltyjen laitekokonaisuuksien lisäksi kiinteistössä olevasta sähköverkosta. Varavoimakoneikon varmistama sähkönsyöttö yhdistetään osittain samaan verkkoon, jota normaalitilanteessa yleinen jakeluverkko syöttää. Tällöin syntyy tilanne, jolloin syötettävillä laitekokonaisuuksilla voi olla kaksi eri jännitelähdettä, varavoimakone ja kiinteistön muuntaja, saman kaapelin kautta kytkettynä. Järjestelmän toteutuksessa tulee huomioida, ettei mahdollisuutta ns. kaksoissyöttöön ole, eikä virransyöttö varavoimalaitoksesta yleiseen jakeluverkkoon saa olla mahdollista.

6.1 Rakenne ja toiminta

Yleisin kiinteistöihin asennettava varavoimageneraattorilla toimiva järjestelmä perustuu dieselgeneraattorilla varustettuun saarekkeena toimivaan varavoimalaitokseen. Saarekkeena toimivalla tarkoitetaan toimintaperiaatetta, jossa verkkojännitteen katketessa varavoiman varmentama verkko eriytyy yleisestä jakeluverkosta omaksi saarekkeeksi. SFS standardissa 6000-5-55 asetetaan tiettyjä vaatimuksia yleisestä jakeluverkosta erillään toimivalle varavoimajärjestelmälle, joilla varmistetaan, ettei generaattori voi toimia rinnan yleisen jakeluverkon kanssa. Standardissa mainittuja menetelmiä ovat

- sähköinen, mekaaninen tai sähkömekaaninen lukitus vaihtokytkimen käyttömekanismien tai ohjauspiirien välillä
- lukitusjärjestelmä, johon on ainoastaan yksi siirrettävä avain
- kolmiasentoinen vaihtokytkin, joka katkaisee toisen syötön ennen kuin toinen syöttö kytkeytyy
- sopivalla lukituksella varustettu automaattinen vaihtokytkin
- muut yhtä turvallisen työskentelyn takaavat menetelmät. [3.]

Varmennetulla sähköjakelulla varustetuissa kiinteistössä on lähtökohtaisesti kaksi pääkeskusta: yleisestä jakeluverkosta jännitteen saava tavallinen pääkeskus PK sekä varavoiman pääkeskus VVPK. Keskusten tunnuksat voivat vaihdella tapauskohtaisesti.



Kuva 3. Varavoiman periaatekaavio

Kuvassa 3 esitetty varavoimajärjestelmä perustuu saarekkeena toimivaan 300 kVA:n varavoimalaitokseen, jossa varavoimakonehuone on sijoitettu kiinteistöstä erillään sijaitsevaan konttiin. Varavoiman pääkeskus VVPK taas on sijoitettu kiinteistön sisälle samaan tilaan normaalin jakelun pääkeskuksen PK kanssa.

Normaalitilanteessa verkkokatkaisija on kiinni, jolloin VVPK saa jännitteen PK:n kautta, ja toimii ikään kuin PK:n jatkeena. Yleisen sähkönjakelun joutuessa häiriötilaan varavoimalaitteiston ohjaus- ja valvontakojeisto havaitsee jännitteen katoamisen yhdestä tai useammasta vaiheesta ja avaa verkkokatkaisijan irrottaakseen varavoimajärjestelmän erilleen pääkeskuksesta. Samaan aikaan generaattorikatkaissija sulkeutuu, varavoimakone käynnistyy ja alkaa syöttämään jännitettä varavoiman pääkeskukseen VVPK. Yleisen sähköverkon palautuessa häiriöstä järjestelmä havaitsee jännitteen palautumisen pääkeskukseen PK, avaa generaattorikatkaissijan ja sulkee verkkokatkaisijan, jolloin ollaan palautettu normaalitilanteeseen. Tällöin myös varavoimakoneikko sammuttaa itsensä.

Varavoimaverkko tulisi pyrkiä pitämään mahdollisimman yksinkertaisena verkon hallinnan sekä huollon helpottamiseksi.

6.2 Rinnankäynti

Varavoimalaitoksen rinnankäynnillä tarkoitetaan varavoimakoneen toimimista samanaikaisesti yleisen jakeluverkon tai toisen varavoimakoneen kanssa. Rinnankäynti aiheuttaa tiettyjä huomionarvoisia seikkoja järjestelmän toteutuksessa riippuen siitä, käykö varavoimalaitos rinnan yleisen jakeluverkon vai toisen varavoimalaitoksen tai koneikon kanssa.

Käytettäessä varavoimalaitosta, joka pystyy toimimaan rinnakkain yleisen jakeluverkon kanssa, voidaan saavuttaa katkoton paluu normaaliin sähkönjakeluun yleisen sähkönjakeluverkon toipuessa tapahtuneesta katkoksesta sekä mahdollistaa laitoksen koekäyttö verkon rinnalla. Tällöin laitokseen vaaditaan automaattisia lisätoimintoja, joita ovat mm. tahdistus, päto- ja loistehon säätö verkon rinnalla oltaessa sekä sähkön syötön sähkölaitoksen verkkoon päin estävällä laukaisulla. Generaattorilaitteisto tulee myös varustaa laitteilla, joilla sen voi erottaa yleisestä jakeluverkosta. Kyseisten laitteiden tulee olla jatkuvasti yleisen jakeluverkon haltijan käytettävissä.

Koneikon väärä tahdistus verkkoon nähden voi verkon suuren oikosulkutehon takia aiheuttaa riskejä varavoimalaitoksen toiminnalle johtuen mm. koneikon ja verkon kytkentäkohdan suuresta oikosulkuvirrasta. Vikaantumisen ehkäisemiseksi tulee varmistua pääpiirin katkaisijoiden oikosulkuvirran katkaisukyvyyn riittävydestä sekä varustaa tahdistusjärjestelmä suurella vaihe-erolla kytketymisen estävällä lisälaitteella mahdollisen tahdistimen vikaantumisen sattuessa.

Yleisen jakeluverkon vikaantuminen rinnankäytön aikana tulee ottaa järjestelmässä huomioon. Tilanne voi aiheuttaa häiriöitä varavoimavarmennetussa kuormassa, ja lisäksi voidaan olla tilanteessa, jossa varmennettu verkko alkaakin syöttämään jännitettä jakeluverkkoon päin. Vikaantumisen hetkellä varavoimalaitoksen tuleekin automatiikan avulla kyetä erottamaan varavoimajärjestelmä välittömästi erilliseksi saarekkeeksi jakeluverkosta.

Jakeluverkon rinnalla tapahtuvista varavoimakoneikon koekäytöstä tulisi tehdä ilmoitus jakeluverkkoyhtiöön.

Kahden tai useamman varavoimakoneen rinnankäynti monimutkaistaa varavoimalaitosta, jolloin käytössä olevien laitteiden toiminnan luotettavuus korostuu erityisesti käyttövarmuuden kannalta. On tärkeää, että koneikot pystyvät tahdistumaan samanaikaisesti, ja suojaukset mitoitettu oikein kytkentätilanteesta riippumatta. Kuorma tulisi pyrkiä jakauttamaan koneikkojen kesken pätö- ja loistehon kannalta.

Rinnankäyvät varavoimakoneikot tulee suojata aikahidastuksella varustetulla takatehosuojauksella, jotta häiriötilanteessa generaattori ei ala käymään verkon syöttämänä moottorina.

Jos varavoimakoneikko on tarkoitettu käymään rinnan toisen koneikon tai yleisen jakeluverkon kanssa, tulee erityistä huomiota kiinnittää kiertävien harmonisten yliaaltovirtojen rajoittamiseen johtimien ylikuormituksen välttämiseksi. Yliaaltovirtoja voidaan rajoittaa mm.

- käyttämällä kompensatiokäämityksellä varustettuja generaattoreita
- asentamalla sopiva impedanssi generaattoreiden tähtipisteiden liitäntään
- käyttämällä kiertovirtapiirin katkaisevia kytkimiä, jotka on lukittu siten, etteivät ne heikennä vikasuojauksen toimintaa
- suodattimilla. [10.]

6.3 Varmennetun jakeluverkon suojaukset

Varmennetun jakeluverkon suojaukset harvemmin poikkeavat normaalissa verkossa käytössä olevista suojuuksista. Tiettyä laiteryhmää suojaava ylivirtasuoja on sama riippumatta siitä, tuleeko jännite varavoiman pääkeskukseen generaattorilta vai yleisestä jakeluverkosta. Huomionarvoinen seikka varavoimalla varmennettujen laiteryhmiä suojuuksia mitoittaessa tulee kuitenkin varavoimageneraattorin tuottaman oikosulkuvirran suuruudesta.

Esimerkkitalanteessa verkkosyötetyn varavoimakeskuksen oikosulkuvirta on suuruudeltaan noin 30 kA. Kiinteistössä on 800 kVA:n varavoimakone, joka verkon

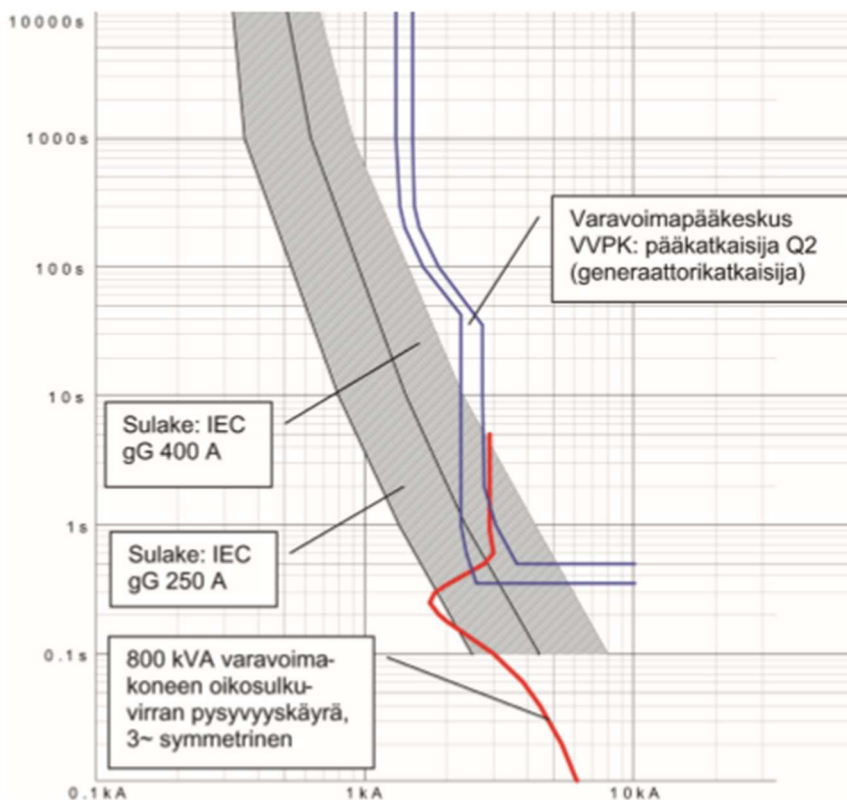
syötön vaihtuessa pystyykin tuottamaan ainoastaan 2,9 kA:n oikosulkuvirran. Esimerkissä käsitellyn varavoimageneraattorin tuottaman oikosulkuvirran voidaan havaita olevan ainoastaan noin 10 % oikosulkuvirran suuruudesta normaalitilanteesta. Tämä aiheuttaa tiettyjä haasteita, sillä verkon suojausten tulisi toimia riippumatta siitä, mistä varavoimakeskukseen tuleva jännite on peräsin. [11.]

Vaikka poikkeavaa oikosulkuvirran suuruutta ei varmennetun verkon suojauksia mitoittaessa otettaisi huomioon, on silti hyvin mahdollista, että vaatimukset poiskytkentäajoista täyttyvät. Varavoimakoneen automatiikka suojauksineen kykenee virtarajalla sammuttamaan itsensä muutamassa sekunnissa. Tämä ei kuitenkaan ole toivottava tilanne, sillä tällöin koko varmennettu verkko menee pois päältä. Jos taas suojaukset keskuksessa mitoitetaan suunnitteluvaiheessa oikein, koskee katkos mahdollisesti vain yhtä laiteryhmää.

Varavoimajakelun suojausten selektiivisyys

Suojausten selektiivisyydellä tarkoitetaan vikatilanteessa aiheutuvien häiriöiden rajaamista mahdollisimman pienelle alueelle. Pyrkimyksenä on irroittaa vain vikaantunut osa verkosta ja pitää muu verkko toimintakuntoisena. Selektiivisyyttä suojaukseen voidaan tuoda mm. ryhmä- ja keskuskohtaisilla johdonsuojakatkaisijoilla ja sulakkeilla

Varavoimageneraattorilla turvatun jakeluverkon suojaus selektiivisyyden kannalta voi aiheuttaa haasteita aiemmin käsitellyn pienen oikosulkuvirran suuruuden takia. Varavoimakeskuksissa ylivirtasuojat tulisi pyrkiä mitoittamaan ottaen huomioon sekä yleisestä jakeluverkosta saatavan oikosulkuvirran, että varavoimakoneikon tuottaman oikosulkuvirran suuruuden mukaan. Tavoiteltavassa tilanteessa varmennetun verkon suojaus pysyy selektiivisenä myös varavoimakoneen turvaaman jakelun aikana.



Kuva 6. Ylivirtasuojien toimintakäyrät, pääkeskus VVPK, varavoimatilanne 400V. [11.]

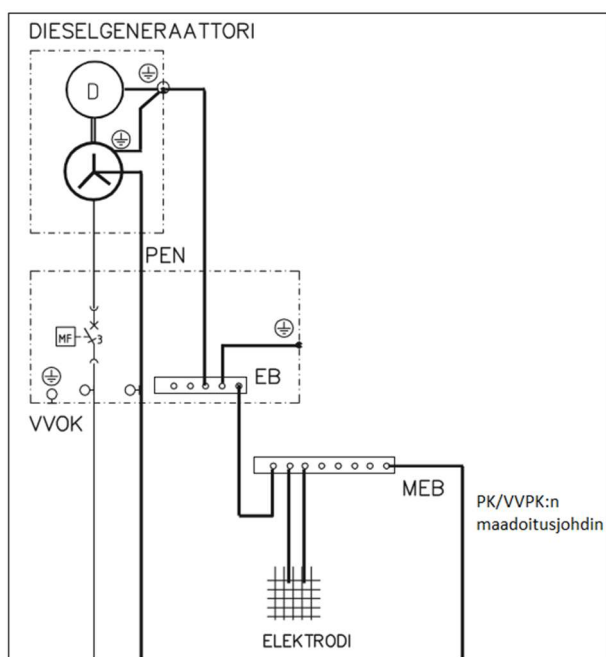
Kuvassa 6 on esitetty esimerkkitalanteen varavoimajärjestelmän ylivirtasuojauksen toimintakäyriä sekä varavoimakoneen oikosulkuvirran pysyvyyskäyrä, jonka käyrämuoto ja paikka saattavat vaihdella käytettävän varavoimakoneen generaattorin ominaisuuksista riippuen.

Kuvan tilanteessa varavoimapääkeskuksen pääkatkaisijan Q2 toimintaa vikatilanteessa on pyritty hidastamaan, jotta 400 A:n gG-sulake saataisiin palamaan ennen pääkatkaisijan avautumista. Toimintakäyriä tarkasteltaessa voidaan kuitenkin huomata, että sulake on liian iso, eikä todennäköisesti ehdi palaa ennen pääkatkaisijan avautumista. Kyseiseen tilanteeseen sopisikin käyrien perusteella hieman pienempi 250 A:n gG-sulake. Tällöin järjestelmään saadaan enemmän selektiivisyyttä ja lähdeillä tapahtuvat vikatilanteet erotettua omien suojien toiminnan taakse. Usein varavoimapääkeskusten sulakekoot on mitoitettu normaalitalanteessa syntyvän oikosulkuvirran perusteella, ja näin ollen sulakkeet ovat liian suurikokoiset varmennetussa verkossa tapahtuvan oikosulun selektiiviseen suojaukseen.

Tilanteessa, jossa varavoimakoneen tuottamaa oikosulkuvirtaa ei ole riittävästi ja sulakkeen koon vaihtaminen pienempään ei tule kysymykseen, voidaan hyvänä vaihtoehtona pitää varavoimakoneen koon kasvattamista. Varavoimakone ei selektiivisyyden kannalta voi olla liian suuritehoinen, mikä tekee oikosulkuvirran kasvattamisesta ja selektiivisyyden parantamisesta verrattain helppoa. Vastaan tulee kuitenkin luonnollisesti kysymys siitä, onko varavoimakoneen koon kasvattaminen kustannusten ja varavoimakonehuoneen tilan kannalta mahdollista. [11;12;13.]

6.4 Maadoitukset

Varmennetun sähköverkon maadoitukset toteutetaan vastaavalla tavalla, kuin normaalinkin verkon maadoitukset. Verkon maadoitusten yleisiä vaatimuksia käsitellään standardikirjassa SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset.



Kuva 7. Dieselgeneraattorin maadoitus [8.]

Kuvassa 7 on esitetty esimerkitapauksen kautta, kuinka varavoimakoneen maadoitus voidaan toteuttaa.

7 Varavoimalaitoksen sähkön laatu

Standardissa ISO 8528-5 käsitellään varavoimalaitoksen tuottaman sähkön laatua ja sille asetettuja vaatimuksia. Standardi jakaa laitokset suorituskykyluokkiin G1-4, joista suositellaan käytettäväksi luokkaa G2, sekä osittain luokkaa G3.

Taulukko 2. Standardissa ISO 8528-5 määritellyt varavoimalaitoksen suorituskykyluokkien G2 ja G3 olennaisimmat vaatimukset. [8.]

	G2	G3
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

Luokasta G3 laitokselle vaaditaan taulukossa ilmoitettu jännitteen ja taajuuden sallittu vaihteluväli vakiintuneessa syöttötilanteessa sekä asettumisaika.

Edellisessä luvussa käsitelty varavoimakoneikkojen tuottama pienempi oikosulkuvirta voi aiheuttaa hankaluuksia tiettyjen laiteryhmiä, etenkin oikosulkumoottorien kanssa. Myös jännitteen aaltomuotoa vääristävät puolijohdetekniikkaa sisältävät kuormat, sekä kompensointiparistojen ja muuntajien kytkentävirtasysäykset ovat ongelmallisia laitokselle.

Oikosulkumoottorit

Oikosulkumoottorien suuren käynnistysvirran aiheuttama hetkellinen jännitteen ja taajuuden alenema on verrattain ongelmallista varavoimalaitokselle. Varavoimageneraattori ei pysty käynnistämään oikosulkumoottoria, jonka pätöteho ylittää tapauksesta riippuen 25-35 % varavoimalaitoksen pätötehosta. Mahdollisia ratkaisuja tilanteeseen voi tarjota taajuusmuuttajan käyttö oikosulkumoottorissa sekä tähti-kolmiokäynnistyksen käyttö. Tähti-kolmiokäynnistys ei kuitenkaan ole riittävä ratkaisu, jos varavoimageneraattorin syöttämä moottori ei kykene saavuttamaan nimellistä pyörimisnopeuttaan. Moottorin lähdön eteen voidaan kytkeä pehmokäynnistin vähentämään oikosulkumoottorin käynnistymisestä aiheutuvaa kuormitusta. Vaihtoehtoisesti voidaan myös kasvattaa varavoimakonetta suuremmaksi, jolloin myös sen tuottama oikosulkuvirta kasvaa. [14.]

Epälineaarinen kuormitus

Epälineaariset kuormat, kuten purkauslamppuvalaisimet, taajuusmuuttajat, induktiouunit, UPS-laitteistot, hakkuriteholähteet ja tasasuuntaajat voivat merkittävästi vääristää varavoimakoneen tuottaman jännitteen aaltomuotoa, ja aiheuttaa häiriöitä syötettävälle kuormalle. Häiriöiden todennäköisyys kasvaa, kun epälineaarista kuormitusta on noin puolet varavoimalaitoksen kuormasta. Ratkaisuna voidaan yksinkertaisesti pyrkiä vähentämään epälineaarista kuormaa vähemmän häiritseväksi. Purkauslamppuvalaisimet voidaan nykyään usein helposti korvata vastaavilla LED-valaisimilla. Muita epälineaarisia kuormia voidaan varustaa aktiivisilla suodattimilla, joiden avulla laitteiston aiheuttamat yliaallot voidaan vaimentaa, ja kuormitusvirta muuttaa vastaamaan sinimuotoista aaltoa. [8;10.]

Kapasitiivinen kuormitus

Kuormituksen muuttuessa kapasitiiviseksi jännitteensäätäjä pienentää varavoimageneraattorin magnetointia, jotta jännitetaso pysyisi oikeana. Kapasitiivisen kuormituksen kasvaessa liian suureksi pienenee magnetointi alle stabiilisuusrajan ja varavoimakoneikko pysähtyy. Verkossa oleva ylikompensointi voi aiheutua loistehosäätimien häiriöstä tai viivästetyllä portaiden vähennysohjauksella varustetun kompensointipariston loistehosäätimen toiminnasta. Kuorman kytkeytyessä pois

loistehosäädin ei tällöin vähennä kompensointia välittömästi, vaan verkkoon jää hetkeksi ylikompensointia.

Varmennetussa verkossa olevat mahdolliset kompensointikondensaattorit muodostavat varavoimageneraattorin kanssa rinnakkaisresonanssipiirejä, jolloin resonanssissa olevat yliaaltovirrat vahvistuvat. Tällöin kasvavat myös verkon sekä generaattorin yliaaltovirrat, ja sähkön laatu heikkenee. Haitallinen resonointi voidaan usein eliminoida erottamalla keskitetty kompensointi varmennetusta verkosta, jolloin yleisen jakeluverkon virran katketessa kytkeytyy myös laitteistojen kompensointi pois päältä. Tällöin tulee kuitenkin varmistua, että kompensoinnin kytkentä pois päältä on mahdollista kuormitettavuuden ja jännitetasojen kannalta. [8;10.]

8 Laitetilat

Varavoiman laitetiloina toimii yleensä joko kiinteistön sisätiloihin rakennettu varavoimakonehuone tai kuvassa 8 havainnoillistettu erillinen varavoimakontti rakennuksen ulkopuolella. Pienikiinteistöjen varavoimageneraattorit harvoin edes tarvitsevat erillistä laitetilaa, jolloin varustukseen on ainoastaan lisättävä säänkestävä kotelo.

Erillinen varavoimakontti on käytännössä kiinteistön ulkopuolelle rakennettu erillinen tila, johon varavoimajärjestelmän tarvittava laitteisto on sijoitettu. Konttien ulkonäöt voivat vaihdella laajasti riippuen lähinnä kontin sijoituspaikasta ja sen ympäristöstä. Kiinteistöjä palvelevat varavoimakontit pyritään lähtökohtaisesti maisemoimaan päärakennukseen sopivaksi. Varavoimalaitoksen konttimallinen ratkaisu on jatkuvasti yleistymään päin johtuen sen eduista kiinteistön sisäiseen konehuoneeseen verrattuna:

- Varavoimakoneen käymisestä aiheutuva häiritsevä värinä ja meteli saadaan eristettyä itse kiinteistöstä.
- Kontin sijoittaminen usein helpompaa verrattuna varavoimakonehuoneeseen. Konehuone vaatii erityiset kuljetusreitit, jotta koneisto saadaan tuotua kokonaisuena paikoilleen.
- Laitoksen jäähdytys sekä pakokaasujen ulos johtaminen vaatii vähemmän suunnittelua.
- Mahdollinen laitetilan laajentaminen usein helpompaa.

Kontin haittapuolina voidaan kuitenkin pitää mahdollisesti piteneviä kaapelointireittejä, mikä taas vaikuttaa varavoimageneraattorin tuottamaan jo ennestään pieneen oikosulkuvirtaan.



Kuva 8. Erilliseen konttiin sijoitettu varavoimalaitos. Suonenjoen Vesi Oy.

Konttimallisen laitoksen sisätilat suositellaan tekemään normaaleja huoneolosuhteita vastaavaksi. Kontin sisätila tulisi siis varustaa sähkölämmityksellä sekä kattoon asennettavilla kiinteillä valaisimilla. Valvomo-osa suositellaan sijoittamaan erilleen dieselgeneraattorikoneikosta, jotta laitoksen koekäyttöä suorittavien henkilöiden ei tarvitse turhaan alistua suurille jäähdytysilmavirroille. Kontti voidaan halutessa varustaa automaattisella sammutusjärjestelmällä.

Aina erillisen kontin käyttö ei kuitenkaan ole mahdollista vaihtelevista syistä. Joskus taas käyttäjät voivat haluta konehuoneen sijaitsevan kiinteistössä, esim. helpottaakseen varavoimakoneen koekäyttöä tai manuaalista käynnistystä sähkökatkon ilmetessä. Kuvassa 9 on esitetty tyypillinen varavoiman laitetilä.



Kuva 9. Esimerkki varavoiman laitetilasta. AGCO Power Oy

Laitetilojen vaatimukset

Varavoimalaitoksen laitetilat tulee olla yksinomaan varavoimakonehuoneeksi tarkoitettu ja sen tulee olla käyttötarkoitukseensa sopiva. Konehuone ei saa toimia läpikulkutilana ja sen tulee olla lukittava, estäen ulkopuolisten pääsyn tilaan. Laitetilan suunnittelussa tulee ottaa huomioon laitteiston käymisestä ja mahdollisista vikatilanteista aiheutuvat vaatimukset. Generaattorilaitteisto tuottaa käymisen aikana pakokaasua ja lämpöä, jolloin riittävän tehokkaan ilmanvaihdon tulee olla järjestettävissä laitetilaan. Dieselgeneraattorin käynnistyksessä ja ohjauksessa tarvittavien akkujen alle taas tulee järjestää akkuhappoa kestävä allas, joka tilavuudeltaan vastaa vähintään yhden kennon elektrolyyttimäärää.

Varavoimalaitoksen konehuone luokitellaan usein ATEX-direktiivin mukaisesti räjähdysvaaralliseksi tilaksi paloviranomaisen sitä yleisesti edellyttäessä, johtuen pääosin tilassa varastoitavasta palavasta aineesta. Ex-tilojen vaatimukset tulisikin ottaa huomioon laitetilojen sähkösuunnittelussa mm. valaisintyyppien valinnassa. [10;15.]

Laitetilojen mitoitus voidaan tehdä varavoimalaitoksen tehon mukaan. Alla suuntaa antava taulukko 3 laitetytilan minimimitoista.

Taulukko 3. Varavoimalaitoksen laitetytilan minimimitat. [8.]

Teho kVA/kW	Pituus m	Leveys m	Korkeus m
100/80	4,5	2,3	2,2
250/200	5,8	2,7	2,5
500/400	6,8	3,0	2,7
1000/800	9,0	3,3	3,0
2000/1600	12	5,5	4,8

Varavoimahuonetta mitoittaessa tulee ottaa huomioon varavoimalaitteiston viemän tilan lisäksi myös jäähdytysilmakanavien, pakoputkiston, turvaetäisyyksien ja mahdollisen äänieristyksen tarvitsema tila. Lisäksi tilaa tulee myös jättää huolto- ja korjaustoimenpiteitä varten. Konehuoneen sijoituksessa kannattaa ottaa huomioon tilaan johtavan kuljetusreitit rakenteet. Kuljetusreitit lattioiden kantavuuden tulisi kestää koneikon paino, sekä kääntymistilojen ja oviaukkojen tilan oltava riittävä, jotta koneikko saadaan kuljetettua kokonaisuena konehuoneeseen.

Taulukko 4. Suuntaa antavat suuruusluokkatiedot pakettimallisista koneikoista. [8.]

Teho kVA/kW	Pituus m	Leveys m	Korkeus m	Paino t
100/80	2,5	1,0	1,8	1,6
250/200	3,7	1,1	2,1	3,1
500/400	4,2	1,5	2,1	5,0
1000/800	6,0	1,9	2,4	8,5
2000/1600	7,0	2,8	3,4	17

Vaihtoehtoisesti koneikko voidaan tuoda tilaan ennen seinien valmistumista, ja rakentaa tila koneikon ympärille. Koneikko on myös usein mahdollista tuoda paikalle osina ja koota tehdaskokoonpanoa vastaavaksi. Tämä ei kuitenkaan yleensä ole suositeltavaa, sillä valmistajasta riippuen kustannukset nousevat yleensä reilusti suuremmiksi verrattuna koneikon toimittamista kokonaisuutena paikalle.

Tila tulee olla rakenteellisesti soveltuva varavoimalaitoskäyttöön. Koneikot voivat olla jopa tuhansien kilojen painoisia kokonaisuuksia, jolloin tilan lattialta vaaditaan kestävyyttä. Yleisenä kantavuusvaatimuksena voidaan pitää 1500 kg/m^2 , mikä on kuitenkin tarkastettava tapauskohtaisesti, riippuen käyttöön tulevan koneikon vaatimuksista. Tilan suunnittelussa tulee myös ottaa huomioon generaattorin käymisestä aiheutuva ääni ja värinä. Varavoimakoneiston käymisen ääni on laitteiston koosta riippuen noin 90-120 dB. Suunnittelussa voi olla tarpeen kiinnittää huomiota tilan äänieristykseen laitetta ympäröivien pintojen lisäksi myös ilmanvaihtoaukkojen suunnittelussa. Koko laitteisto voidaan tarvittaessa ympäröidä melua vaimentavalla kotelolla, joka voi osoittautua kustannusten kannalta helpommaksi ratkaisuksi. Käymisestä aiheutuva värinä voidaan yleensä eliminoida generaattorin ja alustarakenteen väliin asennettavilla värinäneristimillä. [8.]

9 Varavoimajärjestelmän suunnittelu

Kiinteistön varavoimajärjestelmän suunnittelu kannattaa aloittaa määrittämällä yksittäiset laitteet ja laitekokonaisuudet, joiden toiminta halutaan turvata sähkökatkoksen sattuessa. Koko kiinteistön sähköverkon turvaaminen varavoimalla ei ole suositeltavaa kustannusten noustessa moninkertaisiksi osittaiseen varavoimaverkkoon verrattuna. Varavoimajärjestelmään investoinnin kustannusten määrää arvioitaessa voidaan laitekokonaisuudet sijoittaa ST-kortissa 31 [8.] esitetyle asteikolle niiden toiminnan keskeytyksestä aiheutuvan vahingon mukaan:

- Luokka 1: Aiheuttaa erittäin suuren vahingon verrattuna investointiin
- Luokka 2: Aiheuttaa suuren vahingon verrattuna investointiin
- Luokka 3: Aiheuttaa kohtuullisen vahingon verrattuna investointiin

Sähkökatkoksesta aiheutuvat vahingot eivät aina ole pelkästään taloudellisia menetyksiä. Joissain tapauksissa vahingot voivat koskea henkilöturvallisuutta tai yhteiskunnallista turvallisuutta. Etenkin sairaalaympäristössä sattuva yllättävä sähkökatko voi aiheuttaa vakavia henkilöturvallisuusriskejä, jolloin automaattisesti sijoitaudutaan erittäin suuren vahingon luokkaan 1. [8.]

Tyypillisesti varmennettuun sähköverkkoon liitettäviä laitekokonaisuuksia ovat:

- valaistus
- ilmastointi
- lämmitys
- turvavalaistus
- paloilmoitinjärjestelmät
- rikosilmoitinjärjestelmät
- savunpoistopuhaltimet.

Mahdollisuutena on varmennetun kuorman jakaminen kahteen tai useampaan alaryhmään, jolloin voidaan mahdollisesti säästyä varavoimalaitoksen turhalta ylimitoittamiselta. Jako alaryhmiin voidaan tehdä esimerkiksi kuormalle sallitun katkosajan tai kuorman ominaisuuksien perusteella. Järjestelmän hajauttaminen tosin monimutkaistaa laitosta ja voi tällöin heikentää käyttövarmuutta. Yleensäkin varavoimalaitoksen ylimitoittamista ei välttämättä pidetä huonona asiana, sillä näin voidaan usein varmistua oikosulkuvirran riittävydestä ja järjestelmän suojauksen selektiivisyyden toimivuudesta.

Kun kiinteistön varmennettavat laitekokonaisuudet ovat tiedossa, voidaan siirtyä varavoimalaitoksen mitoittamiseen. Mitoitusta tehdessä tulee olla tiedossa varavoimalaitoksen varmentaman jakeluverkon huippukuorma, sekä käyttöjakso, jonka ajan laitoksen tulisi kyetä ylläpitämään varmennettuja kuormia. Lisäksi tulisi ottaa huomioon mahdollinen varmennetun kuorman kasvuvara, sekä laitoksen tarvitsema oma käyttöteho ja kuormanottokyky. Mitoitukseen vaikuttava tekijä on myös mahdolliset varmennetulla sähkönsyötöllä varustetut oikosulkumoottorit ja niiden tarvitsema oikosulkuvirran suuruus.

Varavoimakoneikosta voidaan käyttötarkoituksesta riippuen tehdä automaattinen tai manuaalinen. Isommissa kiinteistöissä, kuten sairaalaloissa, toimisto- ja teollisuusrakennuksissa turvaudutaan lähes poikkeuksetta automaattisesti toimivaan varavoimalaitokseen, mutta pienille kiinteistöille, kuten omakotitaloille ja kesämökeille, voi riittää aivan mainiosti manuaalisesti toimiva koneikko. Automaattisesti käynnistyvän koneikon etuina voidaan pitää lyhyttä katkoaikaa sekä itsenäistä toimintaa, jolloin varavoimajärjestelmästä tietämättömän henkilön ei tarvitse olla tekemisissä laitoksen kanssa saadakseen virtaa laitteisiin sähkökatkon aikana. Manuaalinen järjestelmä pienikiinteistössä yksinkertaisimmillaan taas ei vaadi koneikon lisäksi muuta kuin kaapeloinnin ja verkonvaihtokytkimen pääkeskukseen. Järjestelmästä tulee tällöin huomattavasti yksinkertaisempi ja näin ollen halvempi ratkaisu. Katkoksen aika yleisen jakeluverkon häiriön ja varavoimakoneikon käynnistymisen välillä tosin pitenee riippuen siitä, kuinka nopeasti koneikko saadaan käynnistettyä.

Varavoimakoneen liittämisenä kiinteistön sähköverkkoon kannattaa varmistaa, ettei varavoimakoneen tuottama sähkövirta missään kohdassa järjestelmää pääse virtaamaan verkkoyhtiöiden sähkömittareiden lävitse. Tällainen voi olla mahdollista, jos jostain syystä esimerkiksi monimittarikeskus on liitetty varmennettuun verkkoon. Tällöin ollaan tilanteessa, jossa varmennetun verkon haltijaa veloitetaan itse tuottamastaan sähköenergiasta.

Hyvien asennustapojen noudattamiseksi tulisi varavoiman keskuksia tehdä helposti erotettavaksi normaalin jakeluverkon keskuksista, esimerkiksi poikkeavaa väristystä käyttäen. Pääkeskukseen tulisi myös liittää teksti varoittamaan kiinteistön sähköverkon olevan varavoimalla varmennettu ja pääkeskuksen pääkytkimen avaamisen johtavan varmennetun verkon kytkeytymiseen. Näin voidaan mahdollisesti välttyä varavoimakoneen turhilta käynnistymisiltä sekä pahimmassa tapauksessa jopa tapaturmilta.

10 Varavoimalaitteiston käyttö ja huolto

Yksi tärkeimmistä varavoimalaitokselta vaadituista ominaisuuksista on sen luotettava toiminta sähkökatkoksen sattuessa. Laitos seisoo suurimman osan ajasta käyttämättömänä ja jotenkin tulisikin varmistua siitä, että varavoimavarmennetun järjestelmän käyttövarmuus pysyy yllä vielä laitoksen käyttöönoton jälkeenkin. Tavoitteena voidaan pitää tarvittavan käyttövarmuuden ylläpitoa mahdollisimman pienin kokonaiskustannuksin, jolloin erityisesti korostuu ennakoiva kunnossapito. Toimiva keino käyttövarmuuden ylläpitoon on varavoimalaitoksen liittäminen osaksi kiinteistön ylläpitosuunnitelmaa.

Varavoimahuoneesta tulee löytyä suojaavaan kansioon kootut ohjeet liittyen kyseisen varavoimalaitoksen käyttöön ja huoltoon. Ohjeiston tulee olla suomenkielistä poislukien materiaalit, jotka eivät oleellisesti liity varavoimalaitoksen toimintaan, esim. varaosakuvastot.

Käyttö- ja huolto-ohjeisiin sisällytetyn materiaalin suositellaan sisältävän mm. seuraavat tiedot:

- laitteiston tyyppi, rakenne, pääkomponentit, sarjanumerot
- suoritusarvot mm. käynnistymisaika ja kuormanottokyky, toiminta-aika miehittämättömänä sekä tiedot mahdollisista erikoisvaatimuksista
- valmistajan tai maahantuojan yhteystiedot
- tiivistetty versio laitoksen käyttöohjeesta sekä normaalia käyttötapaa koskevasta toimintaselostuksesta
- tarkempi käyttöohje ja toimintaselostus eri käyttötavoista, suojauksista, laitoksen erottamisesta ja työmaadoittamisesta sekä vaatimukset koneikon tarvitsemista polttoaineesta, öljystä, jäähdytysnesteestä yms.
- huoltotaulukko laitoksen huoltotehtävistä sisältäen huoltokohteet, toimenpiteet ja huoltojaksot
- laitosta ja varmennettua verkkoa koskevat pää- ja yleiskaaviot, piirikaaviot, kaapelointikaaviot ja maadoituskaavio. [8.]

Koekäyttö

Säännöllisellä koekäytöllä voidaan varmistua ja ylläpitää varavoimalaitoksen käyttövarmuutta. Koekäyttö suositellaan tehtävän kerran vuodessa vuosihuollon yhteydessä. Koekäytössä laitokselle tehdään täyden kuorman koeajo, jonka yhteydessä suositellaan tekemään koneikon tuottaman sähkön laatumittaus yleisimpien suureiden osalta. Koekäytöstä täyden hyödyn saamiseksi tulisi käytön vastata mahdollisimman hyvin realistista varavoimatilannetta. Koekäytön yhteydessä voidaan laitoksessa suorittaa mahdolliset ajankohtaiset huoltotoimenpiteet, sekä kirjata ylös koekäytön yhteydessä mahdollisesti ilmenneet myöhempää huomiota vaativat toimenpiteet.

Määräaikaishuollot ja tarkastukset

Kerran vuodessa tai vaihtoehtoisesti valmistajan ilmoittaman huoltovälin mukaisesti suoritettavalla määräaikaishuollolla voidaan lisätä huomattavasti varavoimakoneikon toimintavarmuutta ja käytettävyyttä. Näin voidaan välttää tilanne, jossa varavoimalaitoksen mahdollisen vikaantumisen seurauksena varmennettu verkko ei olekaan käytettävissä yleisen sähkönjakeluverkon häiriöityessä.

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteiden käyttöönotosta ja käytöstä vuodelta 1996 määrittelee varavoimalaitteistolle tehtävän määräaikaistarkastusten aikavälin enintään 10 tai 15 vuoteen, riippuen kiinteistön käyttötarkoituksesta ja koosta. ST-kortissa 31 sopivaksi aikaväliksi määräaikaistarkastukselle arvioidaan kolme vuotta. Tarkastuksen tarkoituksena on varmistua sähkölaitteiston turvallisesta käytöstä ja siitä, että kunnossapito-ohjelman mukaiset toimenpiteet on tehty. Samalla varmistutaan, että käytettävissä on käytössä ja huollossa tarvittavat välineet ja että laitoksen huollon kanssa tekemisissä olevat henkilöt ovat riittävän perehdytettyjä työhönsä. Tarkastus suoritetaan usein pistokokein. [8;10;15.]

11 Yhteenveto

Varavoimakoneella varmennettu sähkönjakelu ei ole kovin yleisesti esiintyvä järjestelmä yleisimmissä suunnittelukohteissa ja voi mahdollisesti aiheuttaa päänvaivaa suunnittelun aloittamisessa. Järjestelmä ei kuitenkaan loppujen lopuksi ole kovin monimutkainen kokonaisuus. Varavoimakonehuonetta voidaan pitää ainutlaatuisena ympäristönä, mutta varavoiman konehuoneen ulkopuolinen järjestelmä vastaa pitkälti normaalia kiinteistön sähkönjakeluverkkoa. Eroja syntyy lähinnä yhdestä tai useammasta ylimääräisestä keskuksesta, keskuksien välisistä liitännöistä sekä suojausten mitoittamisesta.

Varavoimajärjestelmän haasteena on ehdottomasti sen erittäin vaikeasti ennustettavissa oleva tarve ja käytön epäsäännöllisyys. Kaupunkiseuduilla, joissa sähkökatkokset ovat äärimmäisen harvinaisia, päätös varavoiman hankinnasta voi osoittautua vaikeaksi. Mahdollista on, että kiinteistöön vaaditaan asennettavaksi varavoimakone, joka kuitenkin ei todennäköisesti koskaan tule todelliseen käyttöön. Lisäksi vaarana harvinaisessa käytössä on mahdolliset toiminnalliset virheet järjestelmässä tai järjestelmän mitoituksessa, jotka ensimmäisen todellisen yleisen jakeluverkon häiriön sattuessa aiheuttavatkin ei-haluttuja seurauksia. Järjestelmää harvoin päästään koeajamaan täysin realistisessa varavoimatilanteessa, jolloin viat voivat helposti jäädä pimentoon.

Lähteet

- 1 Sähkön keskeytystilasto 2016. Energiateollisuus ry.
- 2 Sähkönjakelun luotettavuus. 2017. Energiateollisuus ry.
<https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/sahkonjakelun_luotettavuus_edellisvuoden_tasolla.html> Luettu 23.10.2017
- 3 SFS-käsikirja 600-1. Vaatimukset pienjännitteisille generaattorilaitteistoille 2012. Suomen standardoimisliitto.
- 4 Jauhiainen, Juhani. 2016. Varavoimaa sairaalassa. <[http://www.pshp.fi/fi-FI/Sairaanhoidopiiri/Organisaatio/Palvelukeskus/Toimitilat/Blogi/Varavoimaa_sairaalassa\(55095\)](http://www.pshp.fi/fi-FI/Sairaanhoidopiiri/Organisaatio/Palvelukeskus/Toimitilat/Blogi/Varavoimaa_sairaalassa(55095))> Luettu 9.10.2017
- 5 Varavoimalaitteiden valmistaja. <<http://www.agcopower.com/fi/tuotteet/voimantuotanto/dieselgeneraattorit/>> Luettu 9.10.2017
- 6 Varavoimalaitteiden valmistaja <<https://www.fingen.fi/>> Luettu 9.10.2017
- 7 Varavoimageneraattorien kuluttajahintavertailua <<https://www.aggregaatit.com/>> Luettu 14.10.2017
- 8 ST-käsikirja 31. Varavoimalaitokset. 2013. Sähkötieto ry
- 9 Varavoimalaitoksen hankintamäärittely 3669-C9381. 2008. FCG Planeko Oy (nyk. FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy)
- 10 ST-käsikirja 20. Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät. 2005. Sähkötieto ry
- 11 ST-käsikirja 53.13 Kiinteistön sähköverkon suojausten selektiivisyys. 2016. Sähkötieto ry
- 12 Suojauksien selektiivisyys. Ensto. 2009.
<<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210594480264/1210594509783/1210594830404.html>> Luettu 30.10.2017
- 13 D1 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2012. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry
- 14 Siemens pehmokäynnistimet
<http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/pienjannitekojeet/kytkenta_suojaus_ja_ohjaus/pehmokaynnistimet_sirius.htm>
- 15 ATEX Räjähdyksivaarallisten tilojen turvallisuus. Tukes. 2015

- 16 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteiston käyttöönotosta ja käytöstä. 1996. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19960517>> Luettu 30.10.2017

