

Lauri Ikola

Lääkintähuoltokiinteistön varmennetun sähkön- jakeluverkon määräystenmukaisuus oikosulkuti- lanteessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

08.05.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Lauri Ikola Lääkintähuoltokiinteistön varmennetun sähkönjakeluverkon määräystenmukaisuus oikosulkutilanteessa 78 sivua + 6 liitettä 08.05.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	varatoimitusjohtaja Jonne Järvinen lehtori Matti Sundgren
<p>Insinööriyössä selvitettiin voimassaolevien määräysten toteutumista lääkintähuoltokiinteistön varmennetun verkon oikosulkutilanteessa. Tavoitteena insinööriyössä oli kerätä tietoa ja kehittää osaamista koskien varmennettujen verkkojen määräyksiä, toimintaa, suojausta sekä käyttäytymistä oikosulkutilanteessa. Insinööriyön toteutustapa oli käytännössä kirjallinen tutkielma aiheesta. Käytännön tasoa insinööriyössä lähestyttiin esimerkkikohteesta tehtyjen laskelmien kautta.</p> <p>Insinööriyössä selvitettiin varmennetun verkon tarpeellisuutta ja oleellisia määräyksiä lääkintähuoltokiinteistössä. Varavoimanlähteiden rakenteisiin ja toimintaperiaatteisiin syvennyttiin. Tulkittaessa standardeissa annettuja määräyksiä ja muita ohjeita alkuperäinen esitystapa, järjestys ja terminologia pyrittiin säilyttämään. Työssä perehdyttiin kiinteistön sähköverkon suojausmenetelmiin, selektiivisyyteen ja varavoimanlähteiden oikosulkuvirran syöttökykyyn, joiden perusteella laskelmat suoritettiin ja tulkittiin.</p> <p>Vikatilanteessa UPS:n napajännitteen vaikutus oikosulkuvirtaan sekä napajännitteen laskeminen käytiin työssä läpi, johtuen sen vaikutuksesta kaapeleiden mitoitukseen. Aihe koettiin tärkeäksi, sillä UPS:n napajännitteestä vikatilanteessa ei ollut vielä saatavilla riittävästi tietoa julkisista lähteistä.</p> <p>Tuloksien ja kerätyn tiedon perusteella pääteltiin varavoimajakelun suojauksen sisältävän ongelmakohtia, jotka liittyvät varavoimanlähteiden heikompaan oikosulkuvirran syöttökykyyn verrattuna yleiseen jakeluverkkoon. Tätä työtä ja sen tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi suunniteltaessa varmennettuja verkkoja, sillä työ sisältää paljon tietoa suunnittelijalle mitoituksen ja laitevalintojen tueksi.</p>	
Avainsanat	dieselgeneraattori, febdok, oikosulku, sairaala, UPS, varavoima

Author Title Number of Pages Date	Lauri Ikola Regulations for Standby Power Network in Medical Service Building in Short Circuit Situation 78 pages + 6 appendices 08 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	Electrical Engineering for Building Services
Instructors	Jonne Järvinen, Deputy CEO Matti Sundgren, Senior Lecturer
<p>The purpose of the final year project was to verify that the standby power network in a medical service building operated in accordance with regulations in a short circuit situation. The project aimed to gather information and improve knowledge about the regulations for, operations and performance of a standby power network.</p> <p>To achieve the purpose of the project standards, codes of practice, components and operating principles of a standby power network were studied. Especially, the protection and selectivity, standby electric sources and their capability to supply short-circuit current were emphasised. Another method used in the project was calculations, based on a sample building, to find out the possible problematics of an existing standby network.</p> <p>The project identified the problems in a standby power network. In general, they were the result of a weaker capability to supply short-circuit current compared to the distribution network. However, a standby power network can be built in accordance with the regulations, but have severe problems regarding selectivity.</p> <p>The Bachelor's thesis can be used to instruct in the dimensioning and selection of electrical equipment. Moreover, the thesis presents the calculation principles to calculate the terminal voltage of UPS in a short circuit situation.</p>	
Keywords	diesel generator, febdok, short circuit, hospital, UPS, reserve power

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Varavoimajärjestelmät lääkintähuoltokiinteistössä	3
2.1	Lääkintätilojen vaatimuksia	3
2.2	Lääkintätilojen ryhmittely	4
2.3	Varavoimajärjestelmien syöttöjen luokittelu	6
2.4	Käyttövarmuustaso	7
2.5	Varavoimajakelun merkitseminen	9
3	UPS-järjestelmät	10
3.1	Staattinen UPS ja topologiat	10
3.1.1	Stand-by operation	10
3.1.2	Line interactive operation	11
3.1.3	Double conversion	13
3.2	Dynaaminen UPS	14
3.3	Rinnankäynti ja redundanttisuus	15
3.4	UPS-laitetilat	16
4	Polttomootorikäyttöinen varavoima	18
4.1	Dieselgeneraattorin rakenne	18
4.1.1	Alusta- ja runkorakenne	20
4.1.2	Äänen ja värinän eristys	21
4.1.3	Dieselmoottori	21
4.1.4	Generaattori	23
4.1.5	Ohjaus- ja valvontajärjestelmät	25
4.1.6	Polttonestejärjestelmä	27
4.1.7	Jäähdytys- ja ilmanvaihtojärjestelmä	28
4.2	Rinnankäynti	28
4.3	Toiminta	29
5	Kiinteistön sähköverkon suojaus	31
5.1	Ylivirtasuojaus	31

5.1.1	Ylikuormitussuojaus	31
5.1.2	Oikosulkusuojaus	35
5.2	Suojaus sähköiskulta	38
5.2.1	Perussuojaus	38
5.2.2	Syötön automaattinen poiskytkentä	40
5.2.3	Suojaeristys	43
5.2.4	Suojaerotus	44
5.2.5	Pienoisjännitteet SELV ja PELV	44
5.2.6	Lisäsuojauus	45
5.3	Ali- ja ylijännitesuojaus	46
5.3.1	Alijännitesuojaus	46
5.3.2	Ylijännitesuojaus	46
5.4	Dieselgeneraattorin suojaus	48
5.5	UPS-laitteen suojaus	48
5.6	Suojauksen selektiivisyys	48
5.6.1	Selektiivisen suojauksen toteuttaminen	49
5.6.2	Selektiivisyystarkastelu	50
5.6.3	Selektiivisyys generaattorilla varmennetussa verkossa	51
5.6.4	Selektiivisyys UPS-varmennetussa verkossa	52
6	Oikosulkuvirta varmennetussa verkossa	55
6.1	Dieselgeneraattorin tuottama oikosulkuvirta	55
6.2	UPS:n syöttämä oikosulkuvirta	57
6.3	Febdok-ohjelmisto	64
6.3.1	Laskentaperiaatteet	65
6.3.2	Lähtötiedot	65
6.4	Esimerkkikohde ja -laskelmat	68
6.4.1	Rajaus esimerkkilaskelmaa varten	69
6.4.2	Esimerkkilaskelmat	69
6.4.3	Esimerkkilaskelmien tulokset	70
7	Yhteenveto	74
	Lähteet	76

Liitteet

Liite 1. FEBDOK – Tiedot generaattoriin liitettyjen laitteistojen laskentaan

Liite 2. FEBDOK – Tiedot 3-vaiheisen 400 V:n UPSin laskentaan

Liite 3. Jakelukaavio

Liite 4. FEBDOK – Jakokeskukset, oikosulkuvirrat

Liite 5. FEBDOK – Piirien virhelista

Liite 6. FEBDOK – Jakokeskukset, oikosulkuvirrat (generaattori)

Lyhenteet

ATEX	<i>Atmosphères Explosibles</i> . Viittaa ATEX-laitedirektiiviin, joka varmistaa korkean turvallisuustason ja tuotteiden vapaan liikkuvuuden EU-markkinoilla. Direktiivi koskee räjähdysvaarallisissa normaali-ilmanpaineisissa ilma-seoksissa käytettäviä laitteita.
AREP	<i>Auxiliary winding Regulation Principle</i> . Generaattorin magnetoinnin periaate, jolla parannetaan generaattorin suorituskykyä esimerkiksi moottori-kuorman käynnistyessä. AREP mahdollistaa myös jatkuvan oikosulkuvirran.
COP	<i>Continuous Operating Power</i> . Standardin ISO 8528-1 asettama määritelmä teholle, jolla generaattoria voidaan käyttää täydellä kuormalla ilman tuntirajoituksia.
DRUPS	<i>Diesel Rotary Uninterruptible Power Supply</i> . Laite, jossa pyörivä UPS ja dieselmoottori ovat yhdistettynä samalle akselistolle, jolloin sähköenergiaa voidaan tuottaa dieselmoottorilla, kun pyörivään UPS:iin varastoitunut liike-energia on kulutettu.
ESP	<i>Emergency Standby Power</i> . Standardin ISO 8528-1 asettama määritelmä teholle, jolla generaattorin käyttö vaihtelevalla kuormalla voi olla 200 tuntia vuodessa.
FELV	<i>Functional Extra Low Voltage</i> . Toiminnallinen pienoisjännitejärjestelmä, jota ei tule käyttää suojaukseen.
IT	<i>Isolated Terra</i> . Maadoitusjärjestelmä, jossa nollapistettä ei yhdistetä suoraan maahan ja sähkölaitteiston jännitteelle alttiit osat yhdistetään erilliseen maadoituselektrodiin.
LTP	<i>Limited-Time Power</i> . Standardin ISO 8528-1 asettama määritelmä teholle, jolla generaattoria voidaan käyttää täydellä kuormalla 500 tuntia vuodessa.
PELV	<i>Protective Extra Low Voltage</i> . Suojaava pienoisjännitejärjestelmä, jossa jännitteelle alttiit voidaan maadoittaa.

PMG	<i>Permanent Magnet Generator.</i> Kestomagneettigeneraattorissa magne- tointi on toteutettu kestmagneettien avulla, jolloin magnetointiin ei tarvita tasavirtalähdettä tai hiiliharjoja.
PRP	<i>Prime Rated Power.</i> Standardin ISO 8528-1 asettama määritelmä teholle, jolla generaattoria voidaan käyttää ilman tuntirajoitusta vaihtelevalla kuor- malla.
r.m.s.	<i>Root Mean Square.</i> Neliöllinen keskiarvo, jolla lasketaan vaihtojännitteen ja -virran tehollisarvo. Tehollisarvo on arvo, jolla vastaava teho saataisiin kuormaan tasajännitteellä.
SELV	<i>Safety Extra Low Voltage.</i> Suojaava pienoisjännitejärjestelmä, joka on maasta erotettu.
TN	<i>Terra Neutral.</i> Maadoitusjärjestelmä, jossa yksi piste maadoitetaan suo- raan, jännitteelle alttiit osat yhdistetään tähän pisteeseen.
TN-C	<i>Terra Neutral-Combined.</i> Maadoitusjärjestelmä, jossa yksi piste maadoite- taan suoraan, jännitteelle alttiit osat yhdistetään tähän pisteeseen. Järjes- telmässä on yhdistetty nolla- ja suojamaadoitusjohdin.
TN-C-S	<i>Terra Neutral-Combined-Separated.</i> Maadoitusjärjestelmä, jossa yksi piste maadoitetaan suoraan, jännitteelle alttiit osat yhdistetään tähän pistee- seen. Järjestelmien liitoskohdassa on yhdistetty nolla- ja suojamaadoitus- johdin.
TN-S	<i>Terra Neutral-Separated.</i> Maadoitusjärjestelmä, jossa yksi piste maadoite- taan suoraan, jännitteelle alttiit osat yhdistetään tähän pisteeseen. Järjes- telmässä on erillinen nolla- ja suojamaadoitusjohdin.
TT	<i>Terra Terra.</i> Maadoitusjärjestelmä, jossa yksi piste maadoitetaan suoraan, jännitteelle alttiit osat yhdistetään erilliseen maadoituselektrodiin.
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply.</i> Laite, jolla voidaan varmistaa kiinteistön, sen osan tai laitteen keskeytymätön sähkönjakelu.

1 Johdanto

Suomessa on paljon lääkintähuoltokiinteistöjä, jotka ovat tulleet myös sähköverkon osalta peruskorjausikään. Maakunta- ja sote-uudistusten myötä terveydenhuoltojärjestelmään kohdistettavien muutoksien seurauksena myös kiinteistöjen käyttötarkoitukset voivat muuttua. Tästä johtuen lääkintähuoltokiinteistöiltä vaaditaan entistä enemmän muuntojoustavuutta. Maassamme on myös käynnissä parhaillaan useita isoja sairaalahankkeita.

Varmennettu sähköverkko on tärkeässä osassa varmistettaessa potilasturvallisuutta, kun yleisessä sähköjakelussa ilmenee häiriöitä. Tästä johtuen koko varmennetun verkon sähkön syöttö ei saisi katketa mahdollisesti käytön aikana tapahtuvan oikosulun seurauksena.

Tässä insinööriyössä tarkastellaan 1980–2000-luvuilla rakennettujen lääkintähuoltokiinteistöjen ja sairaala-alueiden varmennettuja verkkoja. Tällä aikavälillä rakennetut kiinteistöt tulevat nyt tai viimeistään ensi vuosikymmenillä korjausikään. Näiden kiinteistöjen varmennetuissa verkoissa on yleisesti tiedostettu olevan merkittäviä ongelmia suojauksen asianmukaisessa toiminnassa. [1]

Varmennettujen verkkojen tehonlähteenä toimivat dieselgeneraattorit ja UPS:t. Haasteita suojaukselle aiheuttaa näiden tehonlähteiden heikompi kyky syöttää oikosulkuvirtaa vikatilanteessa verrattuna yleiseen jakeluverkkoon kaupunkialueella.

Insinööriyössä perehdytään varmennetun verkon toimintaan lääkintähuoltokiinteistössä. Tarkoituksena on kerätä tietoa ja kehittää osaamista varmennetun verkon tehonlähteistä, suojauksesta ja niitä koskevista määräyksistä sekä ongelmakohdista tulevia hankkeita varten. Erityisesti varmennetun verkon käyttäytymiseen ja suojauksen toimintaan vikatilanteissa kiinnitetään huomiota.

Aineistona insinööriyössä käytetään vahvistettuja standardeja, ST-julkaisuja, opinnäytetöitä, opiskelumateriaaleja, alan kirjallisuutta sekä muita julkisia lähteitä. Insinööriyötä varten haastatellaan alalla työskenteleviä asiantuntijoita tarpeenmukaisesti.

Insinööriyön aiheen tarkastelussa käytetään apuna esimerkikohteesta tehtäviä laskelmia. Laskelmilla on tarkoitus osaltaan tutkia varmennettujen verkkojen ongelmakohtia, ja niiden avulla voidaan pohtia työssä esitettyjen tietojen paikkansapitävyyttä. Laskelmien pohjalta voidaan myös pohtia, mitä korjausikään tuleville verkoille tulee ja on perusteltua tehdä.

Tavoitteena insinööriyössä on selkeän kokonaiskuvan muodostaminen varmennettujen verkkojen toiminnasta sekä niiden käyttäytymisestä oikosulkutilanteessa. Insinööriyöllä pyritään kasvattamaan insinööriyön tekijän ja koko toimiston osaamista aihealueesta. Esimerkkikohteen laskelmia on tarkoitus käyttää aiheen käsittelyssä työkaluna, jolla pysytään muodostamaan käytännön osaamista aiheesta sekä osoittamaan varmennettujen verkkojen mahdollisia ongelmakohtia.

Insinööriyössä pyritään selkeyttämään aiheita, joista tietoa ei ole hyvin saatavilla tai sitä on haastavaa tulkita yhdessä määräysten ja ohjeiden kanssa. Insinööriyössä pyritään esittämään vikasuojauksen perusteet selkeästi standardisarjan SFS 6000:2017 mukaisesti ja huomioimaan niiden vaikutus varmennetun verkon toteutuksessa. Insinööriyössä esitetään myös UPS:n napajännitteen vaikutus oikosulkutilanteessa. Napajännitteen vaikutuksesta oikosulkuvirtaan tai sen laskemisesta oikosulkutilanteessa ei ollut insinööriyön hetkellä saatavana tietoa julkisista lähteistä.

Insinööriyön aihe koettiin tärkeäksi ja osittain myös haastavaksi aikaisempien havaintojen sekä kokemusten perusteella. Insinööriyön tekijän oma kiinnostus lisäksi myötävaikutti aiheen valikoitumiseen.

Insinööriyö on toteutettu Insinööritoimisto Stacon Oy:n toimeksiantona. Insinööritoimisto Stacon Oy on tehnyt peruskorjaukseen ja uudistuotantoon liittyvää rakennuksien sähkö-, tele- ja turvateknistä suunnittelua sekä konsultointia vuodesta 1993 [2].

2 Varavoimajärjestelmät lääkintähuoltokiinteistössä

Nyky-yhteiskunnan tapaan myös terveydenhuolto on kehittynyt entistä riippuvaisemmaksi sähköstä. Terveystieteiden huollossa tarvitaan lukuisia sähkölaitteita sairaaloissa ja terveyskeskuksissa potilaiden tutkimiseen, hoitamiseen ja kriittisimmässä tilanteessa hengissä pitämiseen.

Tehohoito ja leikkaukset ovat hoitopyramidin huipulla, jossa laitteiden sähkö on elintärkeää. Hoidon onnistumiseksi sairaalassa tarvitaan kuitenkin sähköä myös muissa toiminnoissa, esimerkiksi kun potilas tarvitsee siirtoverta tai paineistettua happea. Kuvantamis- ja laboratoriotutkimukset ovat nykyään myös tärkeässä osassa hoitoa. Nykypäivänä tietojärjestelmä on olennainen osa koko terveydenhuoltojärjestelmää, sillä tiedot liikkuvat sähköisesti ja potilaan tiedot löytyvät sähköisestä arkistosta. Keskusteluyhteys hoitohenkilökunnan välillä on myös tarpeellinen. Sähkön lisäksi terveydenhuolto ei pysty toimimaan ilman juoksevaa vettä. Vesipumppujen pysähtyessä veden tulo lakkaa nopeasti ja lääkintähuoltokiinteistöissä ei ole varavesisäiliöitä.

Potilasturvallisuus on ohjannut sähkökatkoihin varautumista, joten standardeissa on annettu vaatimuksia liittyen lääkintätilojen varavoima- ja turvasyöttöjärjestelmiin. Päätösvalta ja vastuu ovat kuitenkin sairaalan tai terveyskeskuksen johdolla, kun määritellään kohteessa suoritettavia toimenpiteitä sekä varavoiman tarvetta. Määräyksiä laajempaa varavoiman tarvetta terveydenhuollossa kannattaa tarkastella huolellisesti.

Varavoiman hankinta joutuu kilpailemaan monesti muiden hankintojen kanssa. Keskussairaloissa onkin varauduttu varavoimalla usein paremmin kuin määräykset vaatisivat. Toisaalta psykiatrisissa sairaaloissa tilanne voi olla toinen ja koneellinen varavoima puuttua kokonaan. Perusterveydenhuollossa varavoimalla varautuminen on vaihtelevaa ja kokonaiskuvaa on vaikeaa muodostaa. [3, s. 61–62.]

2.1 Lääkintätilojen vaatimuksia

Lääkintähuoltokiinteistössä sähköasennuksia koskevat pääosin samat lait ja määräykset, kuin sähköasennuksia muissakin kiinteistöissä. Lääkintähuoltokiinteistössä normaalityyppisistä poikkeavia vaatimuksia on annettu lääkintätiloille standardissa SFS 6000-7-710.

Poikkeavat vaatimukset koskevat lääkintätiloja, joissa sähkönsyötön keskeytys voi aiheuttaa välittömän vaaran potilaalle tai joissa potilaaseen on tarkoitus käyttää sähköisten lääkintälaitteiden liityntäosia ihon sisäisesti tai ulkopuolisesti. Varavoimaa tarvitaan siis tiloissa, joissa normaalitilanteen sähkönsyötön keskeytyksestä aiheutuu vaaratilanne potilaalle. [4, s. 7.]

Varavoimajärjestelmältä vaadittavat ominaisuudet ja sähköasennusten erityisvaatimukset määräytyvät lääkintätilan ryhmän sekä varavoimajärjestelmän syötön luokittelun mukaisesti. Lääkintätilojen ryhmittely ja varavoimajärjestelmien syöttöjen luokittelu tehdään yhteistyössä lääkintähenkilökunnan ja lääkinnällisestä turvallisuudesta vastaavan henkilöstön kanssa. [4, s. 9.]

Varavoiman lisäksi lääkintähuoltokiinteistössä ja lääkintätiloissa on oltava normaalit turvasyöttöjärjestelmät. Turvasyöttöjärjestelmillä varmistetaan olennaisten turvajärjestelmien toiminta, jotka on tarkoitettu suojaamaan tai varoittamaan henkilöitä vaaratilanteissa. Näitä järjestelmiä ovat esimerkiksi turvavalaistus-, palopumppu-, hälytys-, evakuointi- ja savunpoistojärjestelmät sekä pelastuskäyttöön tarkoitetut hissit. Lääkintähuoltokiinteistön turvasyöttöjärjestelmät tulee toteuttaa standardissa SFS 6000-5-56 annettujen vaatimusten mukaisesti. [5, s. 6; 6, s. 12.]

2.2 Lääkintätilojen ryhmittely

Lääkintätilalla tarkoitetaan standardissa SFS 6000-7-710 tilaa, jossa potilaan tutkimiseen, hoitamiseen ja valvontaan voidaan käyttää sähkökäyttöisiä laitteita. Standardissa lääkintätilat eritellään kolmeen ryhmään tiloissa suoritettavien toimenpiteiden mukaisesti:

- Ryhmään 0 kuuluvat lääkintätilat, jotka eivät kuulu ryhmään 1 tai 2, eli tilat, joissa ei ole tarkoitus käyttää sähköisten lääkintälaitteiden liityntäosia.
- Ryhmään 1 kuuluvat lääkintätilat, joissa potilaaseen on tarkoitus käyttää sähköisten lääkintälaitteiden liityntäosia ihon sisäisesti tai ulkopuolisesti, pois lukien kuitenkin ryhmän 2 tilat.
- Ryhmään 2 kuuluvat lääkintätilat, joissa sähköisten lääkintälaitteiden liityntäosia on tarkoitus käyttää sydämenläheisiin toimintoihin, leikkaussalikäyttöön tai tehohoitoon, jossa sähkökatko voi aiheuttaa välittömän vaaratilanteen potilaalle.

Taulukossa 1 on annettu opastavia esimerkkejä lääkintätilojen ryhmistä. Lääkintätiloja ei ole määritelty kuuluvaksi täsmällisesti tiettyyn ryhmään. Tämä johtuu siitä, että tilojen käyttötarkoituksessa voi olla eroja terveydenhuoltoalalla, joten lääkintätilojen ryhmittely tulee tehdä aina tapauskohtaisesti. Päätös lääkintätilan ryhmästä ja varavoiman tarpeesta kuuluu viime kädessä lääkintätilan vastuulliselle johdolle.

Taulukko 1. Standardin SFS 6000-7-710 liitteen 710B esimerkkejä lääkintätilojen ryhmistä [4, s. 23].

Lääkintätila	Ryhmä			Luokka	
	0	1	2	≤0,5 s	>0,5 s ≤15 s ^c
1 Hierontahuone	X	X			X
2 Potilashuone		X			X
3 Synnytyssali		X		X ^a	X
4 EKG-, EEG-, EMG-huoneet		X			X
5 Tähystyshuone		X ^b		X	X ^b
6 Tutkimus- ja toimenpidehuone		X		X ^d	X
7 Urologiahuone		X ^b		X	X ^b
8 Röntgentutkimus- ja sädehoituhuone		X			X
9 Vesihoituhuone		X			X
10 Kuntoutushuone		X			X
11 Anestesiatiila			X	X ^a	X
12 Leikkaussali			X	X ^a	X
13 Valmisteluhuone		X	X	X ^a	X
14 Kipsaussali		X	X	X ^a	X
15 Heräämö		X	X	X ^a	X
16 Sydänkatetrointihuone			X	X ^a	X
17 Tehostetun hoidon huone			X	X ^a	X
18 Angiografiahuone			X	X ^a	X
19 Dialyysihuone		X			X
20 Magneettikuvaushuone (MRI)		X		X	X
21 Isotooppikuvaushuone		X			X
22 Keskola			X	X ^a	X
23 Tarkkailuhuone			X	X	X

^a Valaisimet ja elintoimintoja ylläpitävät sähkökäyttöiset lääkintälaitteet, jotka tarvitsevat syötön 0,5 sekunnissa tai lyhyemmässä ajassa.

^b Jos ei ole leikkaussali.

^c Sairaaloiden ja vastaavien laitosten ulkopuolisissa ryhmän 1 lääkintätiloissa ei ole välttämätöntä asentaa ollenkaan varavoimajärjestelmiä, jos sähkönsyötön katkeaminen ei vaaranna toimintojen lopettamista ja tilojen evakuoimista. Katso [kohta 710.560.9](#) ja viite d.

^d Yksittäisissä lääkärin, hammaslääkärin tai silmälääkärin vastaanottohuoneissa, fysioterapiahuoneissa ja vastaavissa riittää akkukäyttöinen valaisin, jonka avulla toimenpiteet voidaan lopettaa turvallisesti.

Kaikki ryhmään 2 kuuluvat lääkintätilat tulee varustaa varavoimajärjestelmällä, jolloin mahdollisen sähkökatkoksen aikana toimenpiteet voidaan suorittaa turvallisesti loppuun ja lääkintätilojen toimintaa voidaan jatkaa potilaan turvallisuuden varmistamiseksi. Varavoimajärjestelmää ei vaadita ryhmän 1 lääkintätiloille, mutta varavoiman tarpeesta tilassa päätöksen tekee lääkintätilan vastuullinen johto. Vastuullinen johto tekee myös päätöksen vielä, miltä osin lääkintähuoltokiinteistön ylläpitoon tarvittavat järjestelmät liitetään varavoimaverkkoon. [7, s. 4, 6.]

Lääkintätilojen ryhmät tavallisesti lyhennetään käyttämällä G-kirjainta ryhmän numeron edessä. Esimerkiksi ryhmään 1 kuuluva lääkintätila voidaan lyhentää muotoon G1. Tällöin säästetään tilaa ja selkeytetään piirustuksia. Lyhenteen G-kirjain tulee englannin kielen sanasta *group*. [4, s. 6–7.]

2.3 Varavoimajärjestelmien syöttöjen luokittelu

Varavoimajärjestelmien syötöt on luokiteltu taulukossa 2, standardin SFS 6000-7-710 liitteen 710A mukaisesti, viiteen luokkaan varavoiman kytkeytymisestä aiheutuvan katkon perusteella. Sairaalassa tarvitaan yleensä luokkien 0,5 ja 15 varavoimaa. [6, s. 12.]

Taulukko 2. Varavoimajärjestelmän syöttöjen luokittelu syötön kytkeytymisestä aiheutuvan katkon mukaan [6, s. 12].

Varavoimajärjestelmän syötön luokka	Katko ennen automaattista syöttöä
Luokka 0 (ei katkoa)	ei katkoa
Luokka 0,15 (hyvin lyhyt katko)	alle 0,15 s
Luokka 0,5 (lyhyt katko)	alle 0,5 s
Luokka 15 (keskipitkä katko)	alle 15 s
Luokka >15 (pitkä katko)	yli 15 s (automaattinen tai käsin ohjattu syöttö)

Standardissa SFS 6000-7-710 lääkintätilojen eri järjestelmille on määrätty varavoimajärjestelmän syötön luokka ja varmennusaika, jonka ajan asennusta tulee vähintään pystyä syöttämään jakeluhäiriön aikana. Luokkaan 0,5 (lyhyt katko) kuuluvia asennuksia tulee

pystyä syöttämään vähintään kolmen tunnin ajan. Luokkaan 0,5 kuuluvia laitteita ovat esimerkiksi

- leikkausvalaisimet
- lääkintäsähkölaitteet, jotka sisältävät välttämättömiä valaisimia käytön kannalta sekä niihin liittyvät välttämättömät laitteet, kuten monitorit
- kriittiset elämää ylläpitävät lääkintälaitteet.

Laitteet, joiden syöttö kuuluisi luokkaan 0,5, voidaan syöttää luokan 15 (keskipitkä katko) syötöllä, kun laitteessa on oma akkuvarmennus. Luokan 15 syöttöön kuuluvia asennuksia tulee pystyä syöttämään jakeluhäiriötilanteessa vähintään 24 tuntia. Luokan 15 syöttöön kuuluvia laitteita ovat esimerkiksi

- poistumisvalaistus
- varavalaistus.

Varavalaistukseen tulee kytkeä ryhmän 2 lääkintätilassa vähintään 50 % valaistuksesta. Luokan >15 (pitkä katko) syöttöön tulee kytkeä loput lääkintähuoltokiinteistön ylläpitoon tarvittavat järjestelmät. Luokan >15 syöttöön yhdistettyjä järjestelmiä tulee pystyä syöttämään jakeluhäiriötilanteessa myös vähintään 24 tuntia. [7, s. 5–6.]

Luokan 0,5 syöttö toteutetaan lähes poikkeuksetta UPS-järjestelmällä, jonka käyntiaikaa voidaan pidentää dieselgeneraattorilla. Luokkien 15 syöttöä voidaan syöttää kohdekohtaisesti, joko UPS-järjestelmällä tai dieselgeneraattorilla. Luokan >15 syötössä käytetään lähes poikkeuksetta dieselgeneraattoria. [7, s. 6.]

Tehonlähteeksi varavoimajärjestelmään ei yleensä hyväksytä paristoja tai yleisen jakeluverkon renkaan toisesta suunnasta tulevaa syöttöä [7, s. 6]. Lääkintähuoltokiinteistö suositellaan kuitenkin varustettavaksi mahdollisuudella vaihtaa syöttösuuntaa tarvittaessa.

2.4 Käyttövarmuustaso

Varmennetun verkon käyttövarmuus liittyy jatkuvasti saatavilla olevaan sähköenergiaan ja sen laatuun. Käyttövarmuutta voidaan parantaa varmistamalla sähkön saatavuutta

ja laatua. Tarkastelussa on otettava huomioon kaikki osa-alueet ja asiaan vaikuttavat tekijät:

- verkkosyöttö
- varavoimalaitos ja sen apujärjestelmät
- varmennetun verkon rakenne
- kuormien ominaisuudet
- turvasyöttöjärjestelmien vaatimukset
- sähkön laadun vaatimukset ja sallitut poikkeukset
- ylläpito ja huolto
- vaadittu käytettävyytluku. [8, s. 29.]

Käyttövarmuudelle asetettavat vaatimukset vaihtelevat riippuen kohteesta ja harjoitettavasta toiminnasta. Investoidessa varmennettuun verkkoon tulee investointia harkitessa tarkastella mahdollisesta sähkönjakeluhäiriöstä aiheutuvia vahinkoja. [8, s. 29.] Taulukossa 3 on sähkönjakeluhäiriöstä aiheutuvat vahingot jaoteltu kolmeen luokkaan.

Taulukko 3. Varavoimajärjestelmän syöttöjen luokittelu syötön kytkeytymisestä aiheutuvan katkon mukaan [8, s. 29].

Luokka	Jakeluhäiriöstä aiheutuva vahinko
Luokka 1	Aiheuttaa erittäin suuren vahingon, verrattuna investointiin
Luokka 2	Aiheuttaa suuren vahingon, verrattuna investointiin
Luokka 3	Aiheuttaa kohtuullisen vahingon, verrattuna investointiin

Vahingot saattavat olla taloudellisia, esimerkiksi tuotannon seisahtumisesta johtuvia menetyksiä. Vahingot voivat liittyä myös henkilöturvallisuuteen ja yhteiskunnalliseen turvallisuuteen. Lääkintätiloissa tapahtuva sähkönjakeluhäiriö voi aiheuttaa vakavan henkilöturvallisuusriskin, jolloin lääkitätilat sijoittuvat luokkaan 1. [8, s. 29.]

Lääkintähuoltokiinteistön varmennetun verkon käyttöä määriteltäessä tulisi huomioida ainakin

- käytön edellyttämät vaatimukset sähkön laadulle
- lääkitätiloja koskeva standardi SFS 6000-7-710

- Suomen lainsäädäntö
- yhteiskunnan turvallisuusstrategia
- kulutushuipun mahdollinen leikkaaminen varavoimailaitoksella. [8, s. 30.]

2.5 Varavoimajakelun merkitseminen

Eri varavoimajärjestelmien ja -luokkien pistorasiat suositellaan merkitsemään tekstin lisäksi värijärjestelmällä. Taulukossa 4 värijärjestelmän tunnusvärit on esitetty ST 51.78:n mukaisesti.

Värijärjestelmän on tarkoitus parantaa järjestelmän ja syötön tunnistettavuutta. Jakokeskusten kannet suositellaan myös merkitsemään samoilla tunnusväreillä. Värijärjestelmää tulisi jatkaa johdonmukaisesti myös rakennuksen laajennuksissa. [6, s. 11.]

Taulukko 4. ST-kortissa ST 51.78 järjestelmille suositeltavat tunnusvärit [6, s. 11].

Järjestelmä	Väri	RAL-väri
Normaali verkko	valkoinen tai normaali	-
Varavoimajärjestelmä, luokka > 15	vaaleansininen	RAL 5024
Varavoimajärjestelmä, luokka 15	sininen	RAL 5007
Varavoimajärjestelmä, luokka 0,5	punainen	RAL 3011
UPS-järjestelmä (myös IT-järjestelmää syöttävä)	oranssi	RAL 2000
Lääkintä IT-järjestelmä	vihreä	RAL 6025

3 UPS-järjestelmät

UPS (*uninterruptible power supply*) on keskeytymättömän tehonsyötön järjestelmä, jossa UPS-laitteella voidaan syöttää häiriötöntä ja katkeamatonta sähköä kriittisille kuormille. UPS-laitteistot voidaan jakaa staattisiin ja dynaamisiin laitteistoihin, joista staattiset laitteistot ovat huomattavasti yleisempiä Suomessa [9, s. 57]. Käytännössä sähkönsyötön käytetään sähkönverkon energiaan, kun sitä on saatavilla ja energiaa akuista häiriötilanteen aikana. [9, s. 59.]

UPS-laitteen perustoimintoon kuuluu vaihtosähkön muuttaminen tasasähköksi ja edelleen tasasähkön muuttaminen takaisin vaihtosähköksi puolijohdesiltojen avulla. UPS-järjestelmät on jaettu eri topologioihin toimintaperiaatteen mukaisesti. Yleensä perustoimintoihin kuuluu myös UPS-laitteen ohitus ylikuorman ja vikatilanteiden varalta staattisella kytkimellä. [9, s. 59.]

3.1 Staattinen UPS ja topologiat

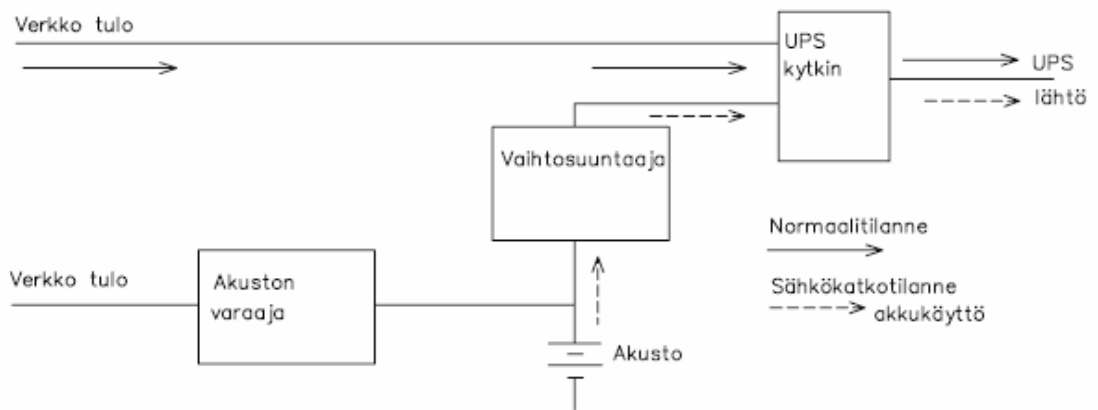
Staattisessa UPS-järjestelmässä varmennettavan ja normaaliverkon välille asennetaan UPS-laitteisto. UPS-laitteistoon tavallisesti kuuluu staattinen ohituspiiri ja akusto, jolla verkkokatkon aikana voidaan taata kuormalle katkoton sähkönsyöttö. Suomessa UPS-järjestelmät on pääosin toteutettu niin kutsutulla *on-line*-tekniikalla. [9, s. 57.]

Staattista UPS-järjestelmää käytetään yleisesti sairaaloissa katkottoman sähkönsyötön toteuttamiseen, kun taas pidempi varakäyntiaika saavutetaan varavoimageneraattorilla [5, s. 89]. Sairaalalaitteiden katkoton sähkönsyöttö voi perustua myös laitteiden omiin akkuihin, jolloin kaikkia varmennettavia laitteita ei tarvitse kytkeä UPS-jakeluun.

3.1.1 Stand-by operation

Stand-by UPS -laitteet tunnetaan yleisemmin epävirallisella nimellä ”*Off-Line UPS*” -laitteet. *Off-line UPS* -laitteet ovat tyypillisesti pieniä 150–1 500 VA:n laitteita. Laitteet voidaan varustaa säästömuuntajalla, jolloin laitetehoa voidaan kasvattaa 400–3 000 VA:iin. *Off-line UPS* -laitteet soveltuvat suojaamaan esimerkiksi tietokoneita kotona tai pienessä toimistossa, sähkökatkoilta ja lyhytaikaisilta ali- ja ylijännitteiltä. [9, s. 61; 10, s. 10.]

Kuvassa 1 on esitetty off-line UPS-laitteen toimintaperiaate. Normaalitilanteessa off-line UPS syöttää kuormaa suoraan sähköverkosta, jolloin UPS:n syöttämä sähkönlaatu on riippuvainen sähköverkon jännitteestä ja taajuudesta. Häiriötilanteessa syötönvaihto tapahtuu UPS-kytkimen avulla, jolloin kuormaa syötetään UPS-laitteiston akuista vaihtosuuntaajan kautta. Siirtyminen akkukäytön ja verkkokäytön välillä vie tyypilliseltä UPS-laitteelta 2–4 millisekuntia. [9, s. 59–60.]



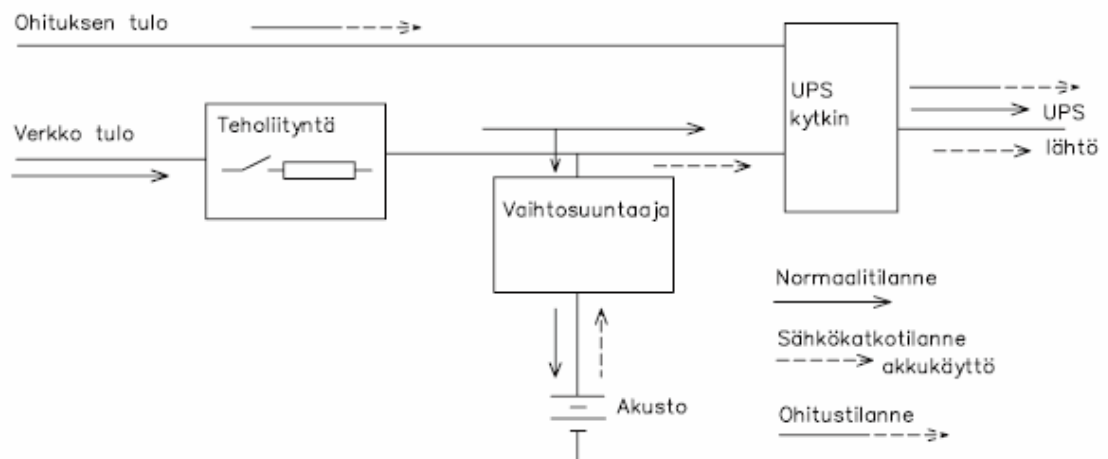
Kuva 1. Off-line UPS -laitteen toimintaperiaate [9, s. 60].

Off-line UPS siirtyy akkukäytölle sähkökatkoksesta, ali- ja ylijännitteestä tai ali- ja ylitajuudesta. UPS-laite voidaan varustaa suodattimella, joka tasaa verkon lyhytaikaisia jännitevaihteluita. Laite on kuitenkin altis taajuushäiriöille, joten laite ei sovellu kohteisiin, joissa sähkönlaatu on heikko. Jännitesäätäjällä varustetulla UPS-laitteella pystytään tasaamaan suurempia jännitevaihteluita, jolloin akkukäyttöön siirrytään yleensä vasta sähkökatkon sattuessa. [9, s. 61; 10, s. 10.]

3.1.2 Line interactive operation

Line interactive UPS -laitteista käytetään myös nimitystä ”yhden muunnoksen UPS-laite”. Line interactive UPS -laitteita käytetään yleensä yritysten tietoverkon ja IT-sovellusten varmistamisessa. Laite suojaa kuormaa sähkökatkoksilta sekä lyhyt- ja pitkäaikaisilta ali- ja ylijännitteiltä. [9, s. 61; 10, s. 10.]

Line interactive UPS -laitteen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2. Toiminta perustuu yhteen muuntajasiltaan. Muuntajasilta toimii rinnakkaissäätimenä normaalitilanteessa, kun kuormaa syötetään sähköverkosta. Virransyötön laatua valvovan mikroprosessorin avulla pystytään reagoimaan jännitevaihteluihin, jolloin jännitettä voidaan nostaa tai laskea. Jännitteen säätö tapahtuu muuttamalla vaihekulmaa, joka tarkoittaa myös UPS:n tulon tehokertoimen $\cos \varphi$ vaihtelua. Vaihekulman muuttuminen UPS:n ja verkon välillä vaikeuttaa ohitukselle siirtymistä. [9, s. 61–62; 10, s. 10.]



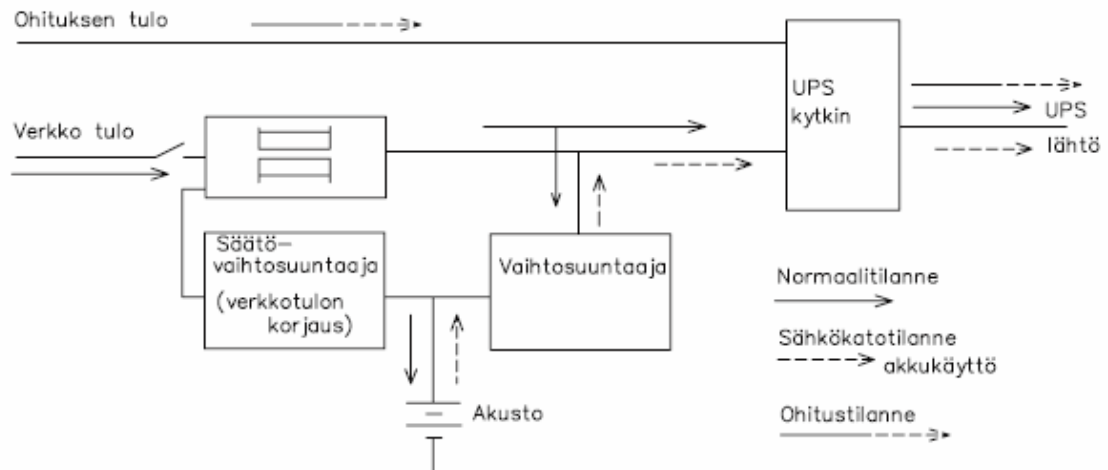
Kuva 2. Yhden muunnoksen, eli line interactive UPS -laitteen toimintaperiaate [9, s. 62].

Akkukäytölle line interactive -laite siirtyy off-line UPS -laitteen tapaan havaitessaan sähkökaton, ali- tai ylijännitteen sekä ali- tai ylitaajuuden. Akkukäytöllä syöttö tapahtuu vaihtosuuntaajan ja UPS-kytkimen kautta. Kuten kuvasta 2 nähdään, line interactive -laitteissa UPS-kytkintä käytetään siirryttäessä UPS-laitteen ohitukseen. Ohitukselle voidaan siirtyä esimerkiksi huollon ajaksi sekä UPS-laitteen ylikuormituessa tai vioittuessa. [9, s. 61–62.]

Delta conversion

Line interactive UPS voidaan varustaa erillisellä säätövaihtosuuntaajalla ja sen yhteyteen kytketyllä muuntajalla, kuten kuvassa 3 on esitetty. Tällöin kyseessä on ”delta conversion UPS”. Tyypillisesti delta conversion UPS:n säätövaihtosuuntaaja pystyy korjaamaan 15 %:n jännitevaihtelun. Kytkennällä saavutetaan tilanne, jossa sähköverkon ja

UPS:n syöttämän kuorman välillä ei ole vaihesiirtoa. Tällöin siirtyminen ohitukselle ei aiheudu ongelmia. [9, s. 63; 11, s. 35–37.]

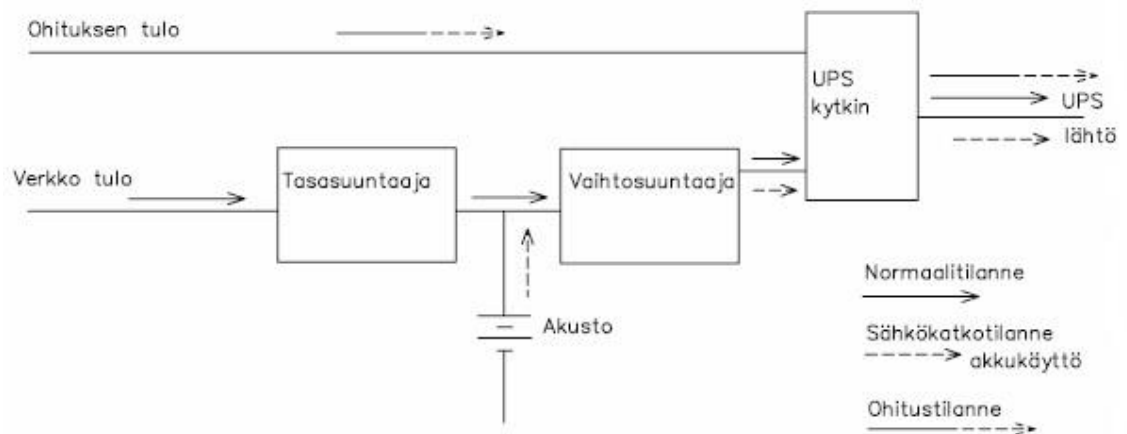


Kuva 3. Säätövaihtosuuntaajalla varustetun line interactive UPS:n, eli niin kutsutun delta conversion UPS:n toimintaperiaate [9, s. 63].

3.1.3 Double conversion

Double conversion, eli kahden muunnoksen UPS-laitteita voidaan käyttää kaikentyyppisten laitteistojen kanssa. Kuormaa syötetään aina vaihtosuuntaajan kautta, jolloin kuorman jännite ja taajuus ovat riippumattomia sähköverkon tilasta. Tästä myös tulee laitteen epävirallinen nimitys "On-Line UPS". [9, s. 64; 10, s.10.]

Kuvassa 4 on esitetty double conversion UPS -laitteen toimintaperiaate. Kuten line interactive UPS-laitteissa UPS-kytkimellä siirrytään tarvittaessa ohitukselle. Normaalitilanteessa sähköverkon jännite tasasuunnataan, minkä jälkeen tasasuunnattu jännite vaihtosuunnataan uudelleen ja syötetään UPS-kytkimen kautta kuormalle. Näin saavutetaan riippumattomuus sähköverkon laadunvaihteluista, ja kuorman jännite sekä taajuus säilyvät tasaisena. Akkukäyttöön voidaan siirtyä ilman kytkentätoimintoja, joten siirtyminen akkukäyttöön ei aiheuta vaihteluita jännitteessä tai taajuudessa. [9, s. 64–65.]



Kuva 4. Double conversion UPS -laitteen toimintaperiaate [9, s. 64].

3.2 Dynaaminen UPS

Dynaamisilla UPS-laitteilla tarkoitetaan samalle akselille kytkettyä moottori-generaattori yhdistelmää. Ratkaisuja dynaamisille UPS-laitteille on useita. Perustana kaikissa ratkaisuissa on liike-energian varastointi pyöriviin osiin, jolloin sähkökatkon sattuessa saadaan hyvin nopea, muutamien millisekuntien tehonsyöttö kuormalle generaattorin käämeistä. [9, s. 67.]

Liike-energiaa voidaan varastoida sähkökoneiden pyörivien osien lisäksi pyörivään huimamassaan, jolloin huimamassan ominaisuuksista ja nopeudesta riippuen varakäyntiaika on noin 15–30 sekuntia. Varakäyntiaikaa voidaan pidentää käyttämällä akustoa sähkökoneen pyörittämisessä. [9, s. 67; 12, s. 6–7.]

Huimamassa on usein suuren inertian omaava sähkömoottorin roottori, joka on magneettilaakeroitu ja pyörii tyhjiössä häviöiden minimoimiseksi. Dynaaminen UPS ei ole kuitenkaan huoltovapaa, sillä laitteiston mahdolliset akut tarvitsevat tavalliseen tapaan huoltoa. Lisäksi laitteen laakerointi ja tyhjiöpumput tarvitsevat huoltoa akuston ohella. [13, s. 14.]

Huimamassa voidaan sijoittaa samalle akselille generaattorin kanssa tai yhdistää akselille vaihteiston kautta. Huimamassan liittämisen vaihteiston kautta pystytään minimoimaan taajuusvaihteluiden vaikutusta dynaamisen UPS-laitteen syöttämään vaihtojännitteeseen. Dynaamisen UPS:illa saavutettavana etuna voidaan pitää galvaanista erotusta. [11, s. 40.]

Tavoiteltaessa pidempiä varakäyntiaikoja voidaan myös hyödyntää DRUPS-järjestelmää (*diesel rotary uninterruptible power supply*), jossa dynaamisen UPS:n akselille on yhdistetty dieselmoottori, jolla saavutetaan pitkät varakäyntiajat. Huimamassa antaa dieselmoottorille riittävästi aikaa käynnistyä. DRUPS-laitteet ovat noin 200–2 000 kVA:n teholuokkaa. DRUPS-järjestelmän etuna voidaan pitää, ettei erillistä dieselgeneraattoria tarvita. Varavoimalaitos voidaan kytkeä myös epäsuorasti dynaamisen UPS-laitteistoon. [11, s. 40; 13, s. 18.]

Dynaamiset UPS- ja DRUPS-järjestelmät eivät ole yleisiä Suomessa, sillä vuonna 2005 ei ollut vielä tiedossa olevia asennuksia [9, s. 57]. Syynä oletetaan olevan laitteistojen kuuluminen suureen teholuokkaan ja DRUPS-järjestelmien suhteellinen tuoreus markkinoilla. Dynaaminen UPS-järjestelmä on yleensä käyttökelpoinen ratkaisu vasta yli 500 kVA:n tehontarpeeseen. [13, s. 18; 9, s. 89.]

3.3 Rinnankäynti ja redundanttisuus

UPS-laitteita tai -yksiköitä voidaan kytkeä rinnan ja kasvattaa näin järjestelmän kokoa, kasvattamatta yksittäisten yksiköiden kokoa suureksi. UPS-järjestelmään voidaan esimerkiksi kytkeä kolme 100 kVA:n yksikköä, joka tarkoittaa 300 kVA:n nimellistehoa laitteistolle. Kytkettäessä modulaarisia UPS-yksiköitä rinnan tulee kuitenkin huomioida kasvava vikaantumisen mahdollisuus. [14, s. 4.]

Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että useasta yksiköstä kootut laitteistot eivät ole yhtä luotettavia kuin yksittäiset UPS-laitteet. Usean UPS:n sisältävän laitteiston luotettavuutta voidaan parantaa ylimääräisillä, eli redundantisilla yksiköillä, joilla parannetaan laitteiston luotettavuutta. [14, s. 4.] Redundanttisten laitteistojen luotettavuutta on vertailtu taulukossa 5.

Rinnan käyvä järjestelmä on redundanttinen silloin, kun rinnakkaisia yksiköitä on enemmän, kuin kuorman syöttämiseen tarvitaan normaalitilanteessa. Redundantisessa järjestelmässä yhden yksikön vika tai huolto ei aiheuta häiriötä. [9, s. 91.]

Järjestelmä, jossa n-määrä yksiköitä riittää syöttämään kuormaa on redundanttinen, kun yksiköitä on n+1. Redundanttisuus tulee määritellä tarvemäärittelyn yhteydessä ja toteutustapa valitaan riskianalyysin mukaisesti. Käytännössä 4+1 ja 5+1 -redundanttisia laitteistoja ei voida enää suositella. Redundanttisuudella on yleensä merkittävä vaikutus investointi-, tila- ja käyttökustannuksiin. Redundanttisuus voidaan toteuttaa myös jakeluverkon osalta. [9, s. 91.]

UPS-järjestelmää suunniteltaessa tulee huomioida, toteutetaanko rinnankytketty järjestelmä ”Stand-alone”-tyyppisillä UPS-laitteilla vai aidosti *modulaarisilla* laitteilla. Suurin ero järjestelmien käytettävyydessä syntyy vikaantuneen laitteen vaihtoon kuluva ajasta. Stand-alone-tyyppisen UPS-laitteen vaihto voi kestää useita tunteja, kun taas modulaarisen UPS:n vaihtoyksikön korvaaminen uudella kestää vain 15–30 minuuttia. [15]

Taulukko 5. Rinnankytkettyjen UPS-laitteistojen luotettavuus [14, s. 4].

Järjestelmä (redundanttisuus)	Luotettavuus (%)
1+0	83
1+1	100
2+1	93
3+1	85
4+1	77
5+1	68
5+2	89

3.4 UPS-laitetilat

Sijoitettaessa UPS-laitteita, akkuja sekä sähkökeskuksia on huomioitava niiden tarvitsemat tilat ja tiloille asetetut vaatimukset. UPS-laitetilalle asetetaan käytännössä samat

vaatimukset kuin sähköpääkeskustilalle. Lisävaatimuksia tiloille asettaa lisääntynyt jäähdytyksen tarve ja akustotiloja koskevat vaatimukset. [14, s. 12.]

Isomman, käytännössä yli muutaman kymmenen kVA:n UPS-laitteiston akusto suositellaan sijoitettavaksi erilliseen tilaan. UPS-laitteet ja -jakelun pääkeskus kannattaa sijoittaa yhteiseen tilaan. UPS-laitetilaan ei tulisi sijoittaa pääjakelun muita keskuksia tai ylimääräisiä sähkölaitteita. Jäähdytyslaitteet kannattaa myös sijoittaa omaan tilaansa. [14, s. 12.]

UPS-laitteiden synnyttämä lämpökuorma on myös huomioitava tilan suunnittelussa. Tyypillinen lämpökuorma on 4–8 %:n luokkaa UPS-laitteiston läpi menevästä tehosta. Ylimääräinen lämpö on poistettava tilasta ilmanvaihdon tai jäähdytyksen avulla. Akustotilan ilmanvaihto on mitoittettava akkujen tyypin ja määrän perusteella. Akustotilan jäähdytyksen tarve tulee tarkastella tapauskohtaisesti. Sopiva lämpötila akustolle on suunnilleen +20 °C ja UPS-laitteille +22–25 °C. Suosituksena on liittää tilojen jäähdytys varmennettuun sähköjakeluverkkoon. [14, s. 12.]

UPS-laitteisto tulisi sijoittaa lähelle varmennettavaa kohdetta, jolloin verkon taloudellinen mitoitus on mahdollista. Etäisyydet vaikuttavat myös suojalaitteiden määräysten mukaiseen toimintaan. Lyhyillä matkoilla suojalaitteet saadaan toimimaan varmemmin, kun vikavirtaa on enemmän käytettävissä. Akustotilan sijaintiin rakennuksessa kuitenkin vaikuttavat akuston paino ja tilantarve, tästä johtuen akusto päädytään yleensä sijoittamaan kellarikerrokseen. Nykyään ei ole yleensä tarvetta erilliselle akustotilalle, vaan suljetut akut voidaan sijoittaa UPS-tilaan. [14, s. 12; 9, s. 194.]

4 Polttomoottorikäyttöinen varavoima

Polttomoottorikäyttöinen generaattori sopii varmistamaan kuormia, jotka sallivat useiden sekuntien sähkökatkoksen. Moottorin käynnistyminen ja kuormanottokyvyn saavuttaminen kestävät tavallisesti kymmenestä sekunnista minuutteihin. Toteutustapana automaattinen käynnistys on yleisin. [16, s. 15–16.]

Yleisin toteutustapa automaattisen varavoimalaitoksen tehonlähteeksi on dieselgeneraattori [9, s. 73]. Tässä työssä tarkastellaan seuraavaksi dieselgeneraattorin rakennetta ja toimintaa.

Dieselin yleisyys varavoimalaitoksissa

Dieselgeneraattoreiden yleisyys kiinteistöjen varavoimanlähteenä johtuu polttoaineiden ominaisuuksista. Muita varavoimalaitoksissa käytettäviä polttoaineita ovat esimerkiksi bensiini ja raskas polttoöljy. Herkästi syttyvän bensiinin varastoiminen, etenkin sisätiloissa muodostuu ongelmalliseksi.

Bensiini voi kuitenkin olla dieselille vaihtoehtoinen polttoaine siirrettävissä ja pienissä generaattoreissa. Bensiinikäyttöinen generaattori voi olla vaihtoehtona pienissä kohteissa, kuten omakotitaloissa tai työmaalla, kun polttoainetta ei tarvitse säilöä suuria määriä. Näissä tapauksissa puhutaan yleensä aggregaatista, joka tarkoittaa moottorigeneraattori-yhdistelmän soveltuvuutta jatkuvaan käyttöön. [7, s. 7.]

4.1 Dieselgeneraattorin rakenne

Dieselgeneraattoriksi kutsutaan generaattoria, joka saa voimansa dieselmoottorista. Kuvassa 5 on esimerkkinä 700 kVA:n dieselgeneraattori. Generaattori voidaan liittää kiinteästi dieselmoottorin vauhtipyörään tai joustavan kytkimen kautta. Tarvittaessa moottorin pyörimisnopeus voidaan sovittaa generaattorille vaihteiston avulla. [9, s. 73; 8, s. 90.]

Dieselgeneraattorin rakenne vaihtelee generaattorin tehon ja koon mukaan. Esimerkiksi pienessä aggregaatissa rakenne koostuu vain tukirakenteesta, moottorista, generaattorista ja niiden välisestä voimansiirrosta. Isommat dieselgeneraattorit tarvitsevat enemmän osia luotettavaan ja automaattiseen toimintaan.



Kuva 5. 700 kVA:n 3-vaiheinen dieselgeneraattori. SDMO V700C2, Machinery Oy. [17]

Dieselgeneraattori voidaan jakaa seuraaviin selvästi erotettaviin pääosiin

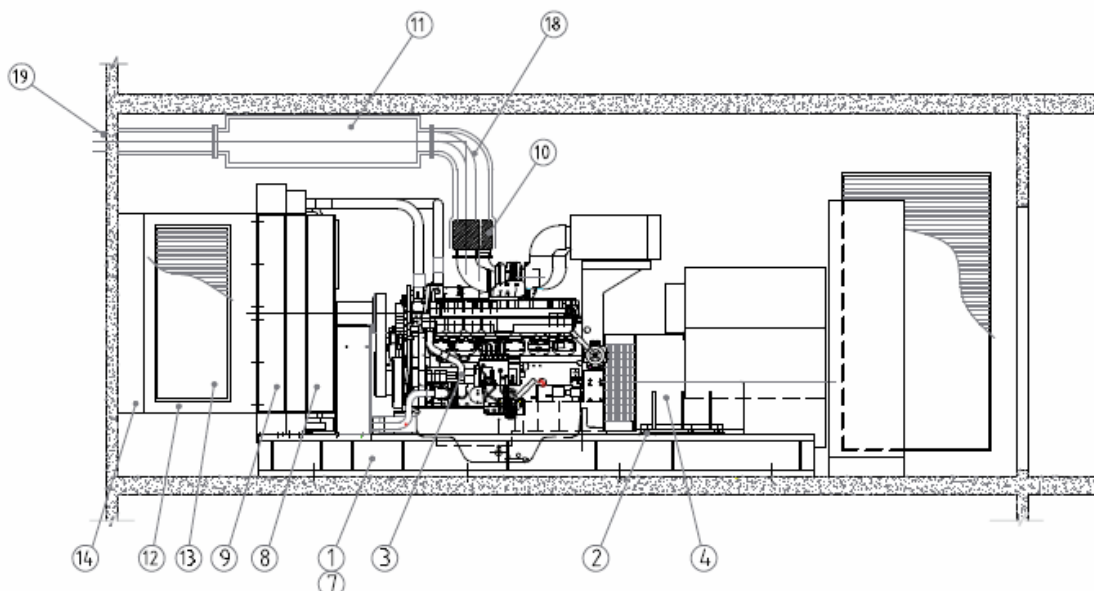
- dieselmoottori
- generaattori
- voimansiirto
- tärinäeristimet
- runko- ja alustarakenne.

Lisäksi miehittämätön varavoimalaitos tarvitsee toimiakseen ohjaus- ja valvontajärjestelmän. [8, s. 90; 7, s. 8.]

Varavoimalaitoksen automaattiseen ja turvalliseen käyttöön tarvitaan välttämättömiä apujärjestelmiä, joihin tavallisesti sisältyvät seuraavat laitekokonaisuudet ja asennukset

- automaattinen käynnistysjärjestelmä
- moottorin poltonestejärjestelmä
- pakoputkisto
- jäähdytysjärjestelmä
- laitehuoneen ilmanvaihtojärjestelmä
- laitehuoneen palonsammutusjärjestelmä [7, s. 13].

Kuvassa 6 on esitetty konehuoneeseen sijoitetun kokoluokaltaan noin 30–1 000 kVA:n dieselgeneraattorin rakenne. Kuvassa 6 on myös eroteltu varavoimalaitoksen merkittävimmät osat ja järjestelmät. [7, s. 8.]



Kuva 6. Pakettimallisen varavoimalaitoksen rakenne. 1. Teräsalusta, 2. Tärinäeristimet, 3. Dieselmoottori, 4. Generaattori, 5. Ohjaus- ja valvontakojeisto, 6. Akusto, 7. Dieselin käyttösäiliö, 8. Dieselin käyttämä työntävä puhallin, 9. Kennojäähdytin, 10. Joustava paljeputki, 11. Äänenvaimennin, 12. Poistoilmakanava, 13. Kiertoilman säätöpelit, 14. Poistoilman säätöpelti, 15. Tuloilman säätöpelti, 16. Tuloilman säleikkö, 17. Poistoilman ulkosäleikkö, 18. Pakoputki, 19. Lämpöeristetty läpivienti. [8, s. 51.]

4.1.1 Alusta- ja runkorakenne

Tavallisesti dieselmoottori ja generaattori ovat yhteisellä teräsalustalla. Teräsalusta tukee moottoria ja generaattoria. Alusta yhdessä moottorin ja generaattorin kiinnikkeiden kanssa muodostaa kokonaisuudessa rungon. Rakenne on yleensä hitsattua teräsprofiilia.

Alustan rakenne on suunniteltava kestäämään dieselgeneraattorin staattiset ja dynaamiset kuormitukset. Esimerkiksi moottorin käydessä pyörivät osat kohdistavat runkoon vääntömomentin. Runkorakenteeseen kiinnitetyistä nostopisteistä dieselgeneraattoria on mahdollista nostaa kuljetuksen ja asennuksen aikana. [8, s. 90; 18, s. 10.]

4.1.2 Äänen ja värinän eristys

Äänen ja värinän siirtyminen rakenteisiin on estettävä. Tämä tapahtuu värinäneristimillä, jotka asennetaan dieselgeneraattorin ja alustan väliin tai vaihtoehtoisesti alustan ja lattian väliin. Lisäksi dieselgeneraattorin valmistajan tulee varmistaa, että laitteen ominaisvärähtelytaajuus, eli resonanssitaajuus ei ole koneen käyttöalueella. [8, s. 90.]

Äänen kantautumista ilman välityksellä voidaan ehkäistä sijoittamalla dieselgeneraattori erilliseen konehuoneeseen tai suljettuun konttiin kuten kuvassa 7. Konttiin sijoitettavat generaattorit ovat yleensä kiinteistön ulkopuolella ja mahdollisesti siirrettävissä. [8, s. 72, 90.]

Moottorin pakokanavistossa on äänenvaimennin pienentämässä moottorin käynnistä syntyviä pakoääniä. Pakoputkiston lisäksi erityisesti tilan ilmanvaihdon poistoilma-aukkoon tulee kiinnittää huomiota, sillä sen kautta koneen ääni pyrkii leviämään ympäristöön. [8, s. 56, 90.]



Kuva 7. Varavoimalaitos sijoitettuna konttiin [8, s. 73].

4.1.3 Dieselmoottori

Kiinteästi asennettavien tai konttimallisten varavoimalaitoksien dieselmoottorit muistuttavat kuorma-autoissa käytettäviä moottoreita. Isoissa varavoimakoneissa dieselmoottorit muistuttavat enemmän isoja, esimerkiksi maansiirtokoneissa käytettäviä dieselmoottoreita.

Varavoimalaitoksessa dieselmoottori voidaan kuitenkin optimoida toimimaan tietyllä kierroslukualueella tehokkaasti generaattorin kanssa. Varavoimalaitoksen konehuoneessa ei ole moottorille samanlaisia tilarajoitteita, kuin esimerkiksi kuorma-autoissa.

Dieselgeneraattorille suositeltava pyörimisnopeus on 500–1 500 1/min (kierrosta minuutissa). 6- ja 8-sylinterisille dieselmoottoreille alle 1 500 rpm (kierrosta minuutissa) on kuitenkin niiden optimaalisen tehoalueen ulkopuolella. Sopiva kierroslukualue on moottorista riippuen noin 2 300–3 000 rpm. Moottorin pyörimisnopeus voidaan pudottaa vaihteistolla generaattorille sopivaksi. Tietyissä tapauksissa on mahdollista myös käyttää generaattorissa yhtä napaparia, jolloin sopiva kierrosnopeus generaattorille on 3 000 1/min. [8, s. 91.]

Dieselmoottori suositellaan varustettavaksi painevoitelujärjestelmällä ja suljetulla jäähdytysjärjestelmällä. Polttonesteen riittävä jäähtyminen, suosituksena alle +50 °C, täytyy myös tarvittaessa varmistaa erillisellä polttoainejäähdyttimellä. Dieselmoottorissa tulee lisäksi olla puhdistettavat tai vaihdettavat suodattimet öljylle, polttonesteelle ja palamisilmalle. Polttonesteen siirtopumpulla on oltava riittävä imukorkeus, vähimmäisvaatimuksena voidaan käytännössä pitää imukorkeutta konehuoneen lattian tasosta. [8, s. 92.]

Dieselmoottorissa tulee olla käytätietoilmaisin ohjausautomaattikkaa varten. Varavoimakone tarvitsee myös termostaattiohjatun esilämmityksen, jotta se voi käynnistyä tarvittaessa. Koneeseen tulee asentaa mittarit ja mittarien anturit vähintään öljynpaineelle ja määrälle sekä jäähdytysnesteen lämpötilalle ja määrälle. Öljyn tarkka määrä voidaan myös lukea mittatikulla. [8, s. 92.]

Moottori tulee varustaa myös riittäväillä suojuuksilla, joita ovat ainakin pysäytys alhaisesta öljynpaineesta ja korkeasta lämpötilasta sekä ryntäyksestä. Polttonesteen syöttö tulee myös olla rajoitettavissa, ettei moottoria voida ajaa kuin yli 10 %:lla yli sen nimellistehon. [8, s. 92.]

Dieselmoottori tarvitsee myös liitännäisvarusteita, jotka kannattaisi hankkia tai hyväksyttää varavoimakoneen valmistajalla. Liitännäisvarusteita ovat esimerkiksi joustava liitäntäputki pakoputken liittämiseksi, pakoputken äänenvaimennin, joustavat liitäntäputket polttonesteputkistolle sekä kennojäähdytin ja puhallin ulkopuoliselle jäähdytysjärjestelmälle. [8, s. 93–94.]

Varavoimakoneen mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä

Varavoimakoneen mitoituksessa runsaasti epäselvyyttä voivat aiheuttaa koneikon ilmoitetun tehon yhteydessä esiintyvät termit

- ESP (*Emergency Standby Power*)
- PRP (*Prime Rated Power*)
- LTP (*Limited-Time Power*)
- COP (*Continuous Operating Power*) [19].

Termit tulevat standardista ISO 8528-1, ja niillä määritetään akselilta saatava nettoteho, ottaen huomioon erilaiset käyttöjaksot ja kuormat. Varavoimakone voidaan mitoittaa käyttäen ESP-arvoa, joka soveltuu esimerkiksi lääkintähuoltokiinteistön verkon varmistamiseksi sähkökatkon sattuessa. Käytettäessä varavoimakonetta muissa tilanteissa, tulee tarkastella sähköntuotannon tarvetta ja koneikon kuormitettavuutta tapauskohtaisesti, jolloin välttyttäisiin ali- ja ylimitoituksilta. [19; 20.]

Dieselmakoneen mitoituksessa tulee huomioida koneen kuormanottokyky, joka on esimerkiksi turboahdetuilla moottoreilla 50–60 % koneikon PRP-tehosta. Kuormanottokyvylle ei kannata asettaa liian isoja vaatimuksia, sillä tämä johtaa helposti koneen ylimitoitamiseen. Arvioitaessa koneikolle kuormanottokykyä, voidaan kuorman kytkeytymistä porrastaa. Kannattaa myös huomioida, että osa kuormasta kytkeytyy luonnostaan portaittain, esimerkiksi UPS-kuormat tai prosessilaitteet. [19]

Varavoimakoneen ylimitoitukseen voi johtaa myös generaattorilta tarvittava oikosulkuvirta. Generaattorilta tulee syöttää riittävän suurta oikosulkuvirtaa, jotta sähköverkon suojaukset ja selektiivisyys saadaan toteutumaan. Joissain tapauksissa on mahdollista ylimitoittaa pelkästään varavoimakoneen generaattori, jolloin dieselmootori voidaan mitoittaa pätötehon mukaan. Generaattorin ylimitoitus voi tulla myös kysymykseen, jos virran yliaaltopitoisuus kasvaa riittävästi. Esimerkiksi virran yliaaltopitoisuus voi kasvaa, kun suurin osa kuormasta on taajuusmuuttajakäyttöistä. [19]

4.1.4 Generaattori

Varavoimakoneen generaattori on yleensä kolmivaiheinen harjaton sisänapatahti-generaattori. Generaattorin tarvitsee olla itseherätteen ja -säätoinen, koska verkossa

ei todennäköisesti ole enää jännitettä generaattorin herätysmagnetointiin. Generaattorin jännitteen tulisi nousta nimellistasolle viimeistään kahden sekunnin kuluttua käyntinopeuden saavuttamisesta. Kohteen jakeluverkosta riippuen pääjännite on 400 tai 690 volttia. [8, s. 94.]

Varavoimakäytössä generaattorin pyörimisnopeudet vaihtelevat 500–1 500 1/min välillä [21, s. 242]. Taulukossa 6 on esitetty pyörimisnopeuden ja napapariluvun välinen yhteys, kun halutaan säilyttää 50 Hz:n verkkotaajuus.

Taulukko 6. Napapariluvun vaikutus pyörimisnopeuteen 50 Hz:n verkkotaajuudella.

Napapariluku (p)	Kierrosnopeus (rpm)
1	3000
2	1500
3	1000
4	750
5	600
6	500

Varavoimakäytössä generaattorilta tavallisesti vaaditaan napaoikosulussa kyky antaa 10 sekunnin ajan vähintään 2,5-kertaista oikosulkuvirtaa verrattuna nimellisvirtaansa [8, s. 95]. Generaattorin kyky syöttää jatkuvaa oikosulkuvirtaa toteutetaan yleensä oikosulkumagnetoinnilla. Kestomagnetoidulla generaattorilla saadaan myös aikaiseksi jatkuva oikosulkuvirta.

Generaattorin syöttämän oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttaa generaattorin magnetointijärjestelmä. Nykyaikaisilla magnetointijärjestelmillä useimpien valmistajien generaattoreiden syöttämä jatkuvan tilan oikosulkuvirta on 3–3,5-kertainen verrattuna nimellisvirtaan. Näin suurta oikosulkuvirtaa generaattori pystyy syöttämään kuitenkin vain rajoitetun ajan. Eri valmistajien välillä ei ole suurta eroa saman tyyppisten varavoimakoneiden oikosulkuvirran syötössä. [9, s. 168.]

Tahtigeneraattori varustetaan usein myös vaimennuskäämityksellä, jonka tarkoituksena on vaimentaa dynaamisten muutosilmiöiden vaikutuksia. Näitä ilmiöitä ovat esimerkiksi kuormitusten muutokset ja vikatilanteet. Vaimennuskäämitys sijaitsee roottorissa ja on

oikosuljettu. Vaimennuskäämityksen aikavakio on erittäin lyhyt ja sillä voidaan tuottaa dynaaminen oikosulkuteho hetkellisille kuormitusmuutoksille. [22, s. 20.]

Magnetointi

Harjattoman (*brushless*) tahtigeneraattorin toimintaperiaate perustuu erillisen magnetointikoneen sijoittamiseen generaattorin pyörivälle akselille roottorin yhteyteen. Magnetointikoneessa napa- eli magnetoimiskäämit ovat staattorissa ja kolmivaihekäämitys on roottorissa. Käytännössä siis päinvastoin kuin pääkoneessa. Magnetointikoneen synnyttämä vaihtojännite tasasuunnataan roottorin mukana pyörivällä dioditasasuuntaajalla, jolloin pystytään magnetoimaan generaattorin magnetointikäämi roottorissa. [21, s. 275.]

Magnetointi voidaan toteuttaa myös roottorissa sijaitsevilla kestopagneetein, mutta isoissa tahtikoneissa tämä on kuitenkin epäkäytännöllistä. Kestomagneettia käytetään kuitenkin generaattorin herätyksessä, jolloin yksi navoista on varustettu kestopagneetilla. Tällä tavalla varmistetaan generaattorin herääminen, kun verkossa tai staattorissa ei ole jännitettä magnetointia varten. [21, s. 276.]

4.1.5 Ohjaus- ja valvontajärjestelmät

Varavoimalaitoksen ohjaus- ja valvontajärjestelmät koostuvat ohjaus-, suojaus- ja hälytys, mittaus- ja valvonta sekä pääpiirin kojeista. Lisäksi varavoimalaitoksen omakäyttöosa voidaan sijoittaa ohjaus- ja valvontakojeistoon tai siitä erilleen. [8, s. 95.]

Varavoimalaitoksen sähkökojeet pyritään keskittämään yhteen tai useampaan kojekaappiin, kojeiston yksinkertaistamiseksi ja käytettävyyden lisäämiseksi. Kojeisto voidaan sijoittaa dieselgeneraattorin yhteyteen, samaan tilaan dieselgeneraattorin kanssa tai erilliseen tilaan. Yleensä kojeisto pyritään sijoittamaan dieselgeneraattorin konehuoneen seinälle oven läheisyyteen. Ohjauskeskuksen eteen on kuitenkin jäätävä standardin SFS 6000:n mukainen hoitokäytävä ja poistumistie. [8, s. 95–96.]

Varavoimalaitoksen ohjaus- ja valvontakojeiston kojekaapit ovat tavallisesti teräslevyrakenteisia. Kojeet asennetaan asennuslevylle tai saranoituun oveen, siten että kojeiston valvonta ja käyttö ovat mahdollisia avaamatta ovia. Ohjaus- ja valvontaosa on sijoitettava erilleen tai erotettava kiinteillä väliseinillä varavoimalaitoksen tehonsyötöstä. [8, s. 95–96.]

Sijoitettaessa kojeisto konehuoneeseen, tulee sen kotelointiluokan tavallisesti olla IP 44. Erilliseen tilaan sijoitettavan kojeiston tulee olla tilaan sopiva, ottaen huomioon kyseisen tilan olosuhteet. Kojeston koteloinnissa ja rakenteessa tulee myös ottaa huomioon mahdollisten oikosulkujen vaikutukset. [8, s. 95–96.]

Ohjauskojeisto

Varavoimalaitoksen ohjauskojeet muodostuvat sen automaattista toimintaa ohjaavasta automatiikasta ja ohjauspaneelista sekä käsikäyttöisistä, toimintaa ohjaavista kojeista. Ohjauspaneelista voidaan määritellä haluttu toimintapa, kuitata hälytykset, säätää jännitettä ja taajuutta sekä mahdollisesti vaikuttaa polttoainejärjestelmän toimintaan ja generaattorin automaattiseen tahdistumiseen. [7, s. 11.]

Suojaus- ja hälytyskojeisto

Suojaus- ja hälytyskojeiston tarkoituksena on suojata varavoimalaitosta ja verkkoa sekä hälyttää mahdollisista häiriöistä. Suojauskojeet tarvittaessa pysäyttävät varavoimalaitoksen. Hälytykset tavallisesti siirretään kiinteistöautomaatiojärjestelmään. [7, s. 11.]

Mittaus- ja valvontakojeisto

Mittaus- ja valvontakojeisto antaa tietoja varavoimalaitoksen toiminnasta. Generaattorin ja verkon pääkojeiden sekä erotus- ja ohituskytkimien asennonosoittimien lisäksi mittaus- ja valvontakojeisto seuraa dieselgeneraattorin toiminnan kannalta kriittisiä arvoja, kuten jäähdytysnesteen lämpötilaa, generaattorin taajuutta, öljynpainetta, kaikkien vaiheiden virtoja, verkko- ja generaattorijännitteitä sekä latausjännitettä. Generaattorin tahdistuksessa käytettävä automaattinen tahdistin voidaan myös sisällyttää mittaus- ja valvontakojeistoon, jolloin varavoimakone soveltuu käytettäväksi jakeluverkon tai toisen varavoimayksikön rinnalla. [7, s. 12; 8, s. 102.]

Pääpiirin kojeisto

Pääpiirin kojeisiin kuuluvat dieselgeneraattorin ja verkon pääkytkimet, mahdolliset ohituskytkimet sekä erotus- ja työmaadoituskytkimet. Pääpiirin kojeisiin kuuluvat myös ge-

neraattorin ylivirta- ja oikosulkusuojat. Pääpiiriin kuuluu edellä mainittujen lisäksi automatiikan ohjaama generaattori- ja verkkokatkaisija, joilla varavoimalaitos erottuu saarekkeeksi ja liittyy verkkoon takaisin. [7, s. 12; 8, s. 104.]

4.1.6 Polttonestejärjestelmä

Polttonestejärjestelmä käsittää polttonesteen varastoinnin ja siirron dieselmoottorille. Tavallisesti järjestelmä koostuu varastosäiliöstä, josta polttoneste pumpataan dieselmoottorin käyttösäiliölle ja sieltä dieselmoottorin. Automaattisessa laitteistossa polttoaineen pumppaus säiliöiden välillä tapahtuu sähköpumpulla, joka toimii automatiikan sekä alaja ylärajakytkimien perustella. [8, s. 107–108.]

Polttoaineen varastointiin vaikuttavat lait ja viranomaismääräykset, jotka ottavat kantaa varastoitavan polttonesteen enimmäismäärään ja säiliön rakenteeseen. Paikalliset viranomaiset voivat myös asettaa erityismääräyksiä, esimerkiksi vuotoaltaan koosta. Erityistä huomioita tulee kiinnittää varastoitaessa polttonestettä pohjavesialueilla. Määräykset vaikuttavat tiloihin, joissa polttonestettä käsitellään. Nämä tilat ovat räjähdysvaarallisia, joten tiloissa on huomioitava elektroniikka- ja sähkölaitteita koskevat räjähdysvaarallisuudelle tiloilta annetut erityismääräykset (esim. ATEX-laitedirektiivi). [8, s. 108.]

Käyttö- eli niin kutsuttu päiväsäiliö mitoitetaan yleensä riittämään kahdeksan tunnin käyttöön nimellisteholla. Miehitämättömän käyttöajan ylittäessä käyttösäiliön mitoitusaajan, tarvitaan automaattinen pumppausjärjestelmä varastosäiliöstä. Varastosäiliö mitoitetaan sen mukaan, kuinka pitkään varavoimalaitoksen tulee pahimmassa tapauksessa toimia ilman polttonestetäydennystä. Sairaalan varavoimalaitoksen säiliöt tulee mitoittaa tapauskohtaisesti. Ajanjaksona mitoituksessa on tavallisesti käytetty 72 tuntia, eli pidennettyä viikonloppua [1]. Mitoitettaessa 72 tunnin mukaan varaudutaan jo pidempään erikoistilanteeseen. Määräysten mukaan varakäynti aika tulee olla vähintään 24 tuntia. Varastosäiliön mitoituksessa tulee lisäksi huomioida polttonesteen rajallinen varastointiaika. [8, s. 109.]

4.1.7 Jäähdytys- ja ilmanvaihtojärjestelmä

Varavoimalaitoksen dieselmoottorit ovat yleensä nestejäähdytteisiä. Yleisin ja suositeltavin jäähdytystapa on siirtää lämpö jäähdytysnesteestä ulkoilmaan puhaltimien ja kennojäähdyttimen välityksellä. Tätä kutsutaan jäähdytykseksi ulkoilmalla. Jäähdytyksestä ulkoilmalla suosituimman tekee sen yksinkertaisuus ja käyttövarmuus. Käytettäessä ulkoilmaa dieselmoottorin jäähdytykseen, pystytään samalla jäähdyttämään myös konehuonetta riittävästi. [8, s. 50, 54–56.]

Jäähdytys voidaan toteuttaa myös lämmönsiirtimellä, jolloin lämpö siirretään jäähdytysnesteestä ulkopuoliseen väliaineeseen lämmönsiirtimessä. Tämä jäähdytystapa on yleinen kohteissa, joissa jäähdytystä ulkoilmalla ei voida toteuttaa, esimerkiksi häiriösuojaja luolatiloiissa. Tällöin täytyy konehuoneen asianmukaisesta jäähdytyksestä huolehtia erikseen. [8, s. 58.]

Verrattuna varavoimalaitoksen sähkötehoon, lämpötehoa siirtyy neljäsosa konehuoneen ilmaan dieselmoottorista, generaattorista ja apujärjestelmistä. Tämä voi olla huomattava lämpökuorma, joten lämpö on poistettava ilmanvaihdolla tai jäähdytyspatterilla. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, ettei ilman lämpötila varavoimakoneen ympärillä saa ylittää +40 °C:ta. Huomioitavaa on, että varavoimalaitoksen on toimittava kesä- ja talviolosuhteissa. [7, s. 14; 8, s. 53–54, 58.]

4.2 Rinnankäynti

Rinnankäynti tarkoittaa varavoimalaitoksen toimintaa jakeluverkon tai toisen varavoimakoneen kanssa samanaikaisesti. Rinnankäynti täytyy huomioida järjestelmän toteutuksessa. Järjestelmän toteutukseen vaikuttaa käytetäänkö varavoimalaitosta toisen koneikon, varavoimalaitoksen tai jakeluverkon kanssa rinnan. [7, s. 18.]

Rinnankäynnillä saavutetaan tilanne, jossa varavoimalaitos tarvittaessa pystyy toimimaan yleisen jakeluverkon kanssa samanaikaisesti. Tällöin saavutetaan katkoton paluu normaaliin sähkönjakeluverkkoon ja mahdollistetaan myös koekäyttö verkon rinnalla. [7, s. 18.]

Käytettäessä varavoimalaitosta yleisen jakeluverkon kanssa rinnan, tulee huomioida tilanne, jossa tahdistusautomaatiikan vian seurauksena generaattori tahdistuu jakeluverkkoon nähden väärin, jolloin suuri oikosulkuvirta kohdistuu varavoimalaitoksen ja verkon kytkentäkohtaan. Tämä aiheuttaa riskejä varavoimalaitoksen toiminnalle, jolloin verkon ja generaattorin pääkatkaisijoilla tulee olla riittävä oikosulkuvirran katkaisukyky. Koko kojeiston tulee myös olla virrankestoltaan riittävä.

Oikosulkulaskelmia tehdessä tulee myös tarkastella tilanne, jossa generaattori ja verkko syöttävät oikosulkuvirtaa. Tämä vaikuttaa laitteiston kuormitettavuuteen ja suojalaitteiden vaadittuun katkaisukykyyn. [7, s. 18; 9, s. 78.]

4.3 Toiminta

Syötön siirtäminen sähköverkosta generaattorille ja päinvastoin voi tapahtua eri tavoilla. Varavoimalaitokset jaetaan kolmeen päätyyppiin, riippuen miten syötönsiirto on toteutettu [9, s. 73]. Varavoimalaitosten kolme päätyyppiä ovat

- saarekkeessa toimivat
- katkotta verkkosyöttöön palautuvat
- yleisen jakeluverkon rinnalla toimivat.

Saarekkeessa toimivat

Varavoimalaitoksen toiminnan perustana on saarekkeessa toimiva varavoimalaitos. Saarekkeessa toimiva varavoimalaitos ja varmennettu jakeluverkko erottuvat omaksi saarekkeekseen häiriötilanteessa, kun varmennettua verkkoa syöttää varavoimalaitos. Tässä tapauksessa syötön vaihdossa esiintyy väistämättä lyhyt katkos, joka on tyypillisesti noin 1–2 sekuntia. Toimintatyypeistä vähiten automaattisia lisätoimintoja tarvitaan saarekkeessa toimivaan varavoimalaitokseen. [9, s. 77.]

Katkotta verkkosyöttöön palautuvat

Katkotta verkkosyöttöön palautuva varavoimalaitos pystyy nimensä mukaisesti palautumaan katkotta verkkosyöttöön. Katkotta verkkosyöttöön palautuvaa varavoimalaitosta voidaan käyttää silloin, kun halutaan välttää syötönsiirrosta aiheutuva katkos palatessa verkkosyöttöön häiriötilanteen jälkeen. [9, s. 78.]

Häiriötilanteen jälkeen syötönsiirto verkkokäyttöön tapahtuu lyhyen rinnankäynnin kautta, jota kutsutaan myös saattaen tahdistukseksi. Varavoimalaitos tulee koekäyttää kuukausittain, joten kannattaa valita varavoimalaitos, jossa automatiikka hoitaa koekäytön saumattomasti rinnankäynnin kautta. [9, s. 78.]

Katkotta verkkosyöttöön palautuvaan laitokseen tarvitaan ainakin automaattisina lisätoimintoina

- tahdistus
- loistehon riittävä vakavointi verkon rinnalla
- pätötehon riittävä vakavointi verkon rinnalla
- verkon rinnalle jäämisen luotettava estäminen
- generaattorin takateholaukaisu [9, s. 78].

Yleisen jakeluverkon rinnalla toimivat

Yleisen jakeluverkon rinnalla toimiva varavoimalaitos voi olla perusteltu, kun tarvitaan katkoton paluu verkkosyöttöön sekä laitoksen koekäyttö ja huipunajomahdollisuus verkon rinnalla. Yleisen jakeluverkon rinnalla toimivaan varavoimalaitokseen tarvitaan ainakin automaattisina lisätoimintoina

- tahdistus
- loistehon riittävä vakavointi verkon rinnalla
- pätötehon riittävä vakavointi verkon rinnalla
- generaattorin takateholaukaisu
- laukaisu, jolla estetään syöttö sähkölaitoksen verkkoon rinnankäynnin aikana tapahtuvan sähkökatkoksen johdosta. [9, s. 78.]

Energiateollisuus ry (Sener) ja paikalliset sähkölaitokset määrittelevät sähköntuotantolaitoksille tekniset vaatimukset ja sopivat menettelytavat toiminnalle sähköverkon yhteydessä. Vaatimusten päämääränä on häiriöiden ja vaaran estäminen yleiselle jakeluverkolle ja muille jakeluverkon käyttäjille tai sen kanssa työskenteleville henkilöille. [9, s. 79.]

5 Kiinteistön sähköverkon suojaus

5.1 Ylivirtasuojaus

Ylivirtasuojauksessa ihmiset, kotieläimet sekä omaisuus suojataan johtimissa kulkevan ylivirran synnyttämän korkean lämpötilan ja sähkömekaanisen rasituksen aiheuttamilta vahingoilta. Ylivirtasuojaus toteutetaan rajoittamalla ylivirran suuruutta ja kestoaikaa. Ylivirtasuojaukseen käsitellään standardissa SFS 6000-4-43. [23, s. 8–9.]

Ylivirtasuojaus voidaan jakaa kahteen osaan, ylikuormitussuojaukseen ja oikosulkusuojaukseen. Ylikuormitussuojauksen tehtävänä on huolehtia, ettei normaalitilanteessa johtimissa kulkeva virta synnytä liikaa lämpöä, eli johtimia ei ylikuormiteta. [24]

Oikosulkusuojauksen tehtävänä on katkaista vikatapauksissa syntyvät oikosulkuvirrat. Oikosulkusuojauksen täytyy reagoida oikosulkuvirtaan riittävän nopeasti. Oikosulkusuojauksella tulee olla riittävä katkaisukyky, ja sen tulee myös rajoittaa johtimiin pääsevää energiaa ehkäistäkseen vian aikana syntyviä vaurioita. [24]

Ylivirtasuojana voi toimia yksi suojalaite. Ylivirtasuojaus voidaan myös jakaa erikseen ylikuormitus- ja oikosulkusuojiin. Hyvänä esimerkkinä tästä voidaan pitää kiinteistön liittymiskaapelin suojausta. Tavallisesti liittymiskaapelin oikosulkusuojaus on kaapelin alkupäässä sähkönjakeluverkon puolella, kun taas ylikuormitussuojana toimivat sähköliittymän pääsulakkeet ovat kaapelin toisessa päässä, kiinteistön puolella. [24]

5.1.1 Ylikuormitussuojaus

Johtimessa kulkeva virta synnyttää lämpöä. Johtimet tulee siis mitoittaa ottaen huomioon kuorman suuruus, johtimissa kulkeva todennäköinen virta ja johtimien kuormitettavuus. Kuormitettavuuteen vaikuttavat johdin poikkipinta-alan lisäksi käytetty eristemateriaali, ympäristön lämpötila ja asennustapa sekä muiden johtimien läheisyys. [25, s. 16.]

Lievempinä ylikuormituksen aiheuttamina ongelmina voidaan pitää eristemateriaalin enenaikaista vanhenemista. Johtimen lämpenemisestä syntyvä jännitehäviö on myös suoraan verrannollinen tehohäviöön, jolloin välttämällä ylikuormitustilanteita voidaan

saada taloudellista hyötyä. Pahimmillaan ylikuormituksen aiheuttama yllämpeneminen voi kuitenkin johtaa rakenteiden materiaali- ja jopa tulipaloon. [25, s. 16.]

Yllä mainituista syistä virtapiirissä on oltava ylikuormitussuojaus. Ylikuormitussuoja voidaan kuitenkin jättää pois, jos standardin SFS 6000 kohdan 433.3 vaatimukset toteutuvat. Johtimien ylikuormitus voi synnyttää lämpö- ja sähkövaurioita johtimien eristeissä, jatkoksissa ja asennusympäristössä. Ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa samoilla suojalaitteilla yhdessä oikosulkusuojauksen kanssa. Suojalaitteina ylikuormitussuojauksessa voidaan käyttää sulakkeita, johdonsuojakatkaisijoita ja katkaisijoita. [26; 25, s. 14, 17.]

Ylikuormitussuojauksessa suojalaitteen on täytettävä seuraavien kahden epäyhtälön asettamat ehdot:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (1)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (2)$$

joissa I_B on piirin suunniteltu virta
 I_n on suojalaitteen mitoitusvirta
 I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus
 I_2 on laukaisurajavirta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen, sille määritetyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa. [26, s. 8.]

Epäyhtälön 1 mukaan suojalaitteen on oltava mitoitusvirraltaan pienempi kuin virta, jolla johdinta voidaan jatkuvasti kuormittaa. Tällä tavalla pyritään varmistamaan, että mahdollisesta ylikuormitustilanteesta ei synny vaurioita, suojalaitteiden toimiessa oikein. Suojalaitteen mitoitusvirran täytyy myös olla suurempi kuin piirin suunniteltu virta. Jos näin ei olisi, suojalaite olisi käytännössä alimitoitettu ja toimisi turhaan.

Epäyhtälössä 2 johtimen jatkuvan kuormitettavuuden tulee olla 1,45-kertaisesti yhtä suuri tai suurempi kuin laukaisurajavirran. Laukaisurajavirta I_2 saadaan tarvittaessa laitevalmistajalta tai se voidaan katsoa laitestandardista. Virta I_z määritetään standardin SFS 6000-5-52:n mukaan. Piirit tulisi lähtökohtaisesti suunnitella siten, että pitkäaikaisesti virtaa I_2 suurempia virtoja ei esiinny. Tämän kaltaisessa tilanteessa on mahdollista, ettei ylikuormitussuojaus toteudu. [26, s. 8.]

Sulakkeilla toteutettu ylikuormitussuojaus

Sulakkeellisessa suojauksessa on kiinnitettävä huomiota epäyhtälön 2 asettamaan ehtoon. Sulakkeilla virtaa I_z kutsutaan sulamisrajavirraksi. Sulakkeiden sulamisrajavirralla on annettu normaalisti kaksi arvoa, alempi- ja ylempi sulamisrajavirta. Ylikuormitussuojauksessa tarkastellaan sulakkeen ylempää sulamisrajavirtaa. [27, s. 7.]

Sulakkeiden ylempät sulamisrajavirrat ovat yli 1,45-kertaisia verrattuna johtimen kuormitettavuuteen. Tämä tarkoittaa, että sulake vaatii johdolta katkaisijoita enemmän kuormitettavuutta toimiakseen. Sulakkeilla toteutettavan ylikuormitussuojauksen mitoitus lasketaan epäyhtälön 3 mukaisesti. [27, s. 7; 16, s. 30.]

$$k \times I_n \leq 1,45 \times I_z \quad (3)$$

jossa k on ylempään sulamisrajavirran ja nimellisvirran suhde
 I_n on suojalaitteen mitoitusvirta
 I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus [16, s. 30].

Taulukossa 7 on annettu kertoimen k -arvoja gG-typin sulakkeille. Sähköinfo Oy:n julkaisemassa käsikirjassa D1-2017 on taulukoitu valmiiksi johtimien vähimmäiskuormitettavuuksia käytettäessä gG-typin sulakkeita ylikuormitussuojauksessa. [16, s. 30.]

Taulukko 7. Kertoimen k -arvoja gG-typin sulakkeille [16, s. 31].

k	I_n	I_n
2,1	$\leq 4 \text{ A}$	$\leq 0,69 I_z$
1,9	$4 \text{ A} < I_n \leq 10 \text{ A}$	$\leq 0,76 I_z$
1,75	$10 \text{ A} < I_n < 25 \text{ A}$	$\leq 0,82 I_z$
1,6	$I_n \geq 25 \text{ A}$	$\leq 0,90 I_z$

Johdonsuojakatkaisijoilla toteutettu ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojauksessa johdonsuojakatkaisijoiden valinnat voidaan tehdä suoraan kuormitettavuuden I_z ja johdonsuojakatkasijan nimellisvirran I_n perusteella, epäyhtälön 1 mukaisesti. Esimerkiksi johtimen kuormitettavuuden ollessa 11 ampeeria, voidaan valita

10 ampeerin johdonsuojakatkaisija ylikuormitussuojaksi. Johdonsuojakatkaisijan valinnassa tulee kiinnittää huomioita myös kuorman ominaisuuksiin haettaessa oikeaa laukaisukäyrää.

B-, C- ja D-käyrän johdonsuojakatkaisijoiden laukaisurajavirta on 1,45-kertainen verrattuna niiden nimellisvirtaan. K- ja Z-käyrän johdonsuojakatkaisijoiden laukaisurajavirta on 1,2-kertainen verrattuna niiden nimellisvirtaan. Tämä tarkoittaa, että johdonsuojakatkaisijat, kuten muutkin katkaisijat, täyttävät aina epäyhtälön 2 asettaman ehdon. [28, s. 7.]

Katkaisijoilla toteutettu ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa katkaisijoilla. Katkaisijoiksi kutsutaan erilaisia suojalaitteita, joita ovat esimerkiksi

- johdonsuojakatkaisijat
- moottorinsuojakytkimet
- kompaktikatkaisijat
- ilmakatkaisijat.

Katkaisijat täyttävät aina epäyhtälön 2 ehdon, jolloin valinta voidaan tehdä epäyhtälön 1 perusteella. Katkaisijat voidaan varustaa säädettävällä releellä, jolloin releen asetteluun tulee kiinnittää huomiota. Suojalaitteen mitoitusvirta I_n on se arvo, johon releen säätö tulee asettaa. Säätöä ei aseteta suuremmaksi, kuin johtimen jatkuva kuormitettavuus I_z mahdollistaa, vaikka se olisi releestä riippuen mahdollista. [28, s. 7.]

Nollajohtimen ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojauksessa tulee huomioida mahdollinen nollajohtimen kuormitus. Kolmi-vaihejärjestelmässä nollajohtimessa ei normaalitilanteessa kulje virtaa tai sitä kulkee vähän verraten äärijohtimiin, sillä kuormitus jakautuu tasaisesti vaiheiden kesken. Tällöin nollajohdin voidaan mitoittaa äärijohtimia pienemmäksi. Yliaaltojen osuuden ollessa yli 10 % tulee nollajohtimen vastata äärijohtimien poikkipintaa. [11, s. 16; 16, s. 31.]

Kuormitettaessa vaiheita epätasaisesti, kun verkko on huonosti tasapainotettu tai kun järjestelmässä esiintyy harmonisia yliaaltoja, voi nollajohtimessa kulkea virtaa. Tilanteessa, jossa nollajohtimessa voi esiintyä suuria virtoja, esimerkiksi kun särötehon osuus on merkittävä, tulee myös nollajohdin suojata ylikuormitukselta. [16, s. 31–32.]

Nollajodin on ylikuormitussuojattava, jos käytetään poikkipinnaltaan äärijohdinta pienempää nollajohdinta. Tämä on yleisempää vanhemmissa asennuksissa. Suoja ei saa kytkeä nollajohdinta irti, vaan sen tulee kytkeä äärijohtimet irti. Suojalaitteen toiminta ei saa estää muiden piirien toimintaa, eli virtapiirien selektiivisyys on varmistettava. Nollajohdin voidaan jättää suojaamatta, kun äärijohtimen suojalaite suojaaa myös nollajohdinta ja nollajohtimessa kulkeva virta on todennäköisesti pienempi kuin johtimen kuormitettavuus. [11, s. 17; 16, s. 31.]

Rinnankytkettyjen johtimien ylikuormitussuojaus

Johtimia kytketään rinnan, kun suuremman poikkipinnan omaavan johtimen käyttö ei ole mahdollista. Tämä voi johtua siitä, että suurempia johtimia ei ole saatavilla, niiden käyttö on epätaloudellista tai asennusteknisesti haastavaa.

Ylikuormitussuojaus täytyy tarkastella johdin kohtaisesti, jos rinnankytkettyjen johtimien virrat poikkeavat toisistaan 10 % tai enemmän. Rinnankytketyt johtimet voidaan suojata yhteisellä ylikuormitussuojalla, jos johtimien virranjako on tasainen. Tasainen virranjako edellyttää, että rinnan kytketyt johtimet ovat pituudeltaan ja poikkipinnaltaan samanlaisia. Yhteneväinen pituus saavutetaan käytännössä käyttämällä samaa asennusreittiä. Rinnankytkettyjä johtimia ei saa varustaa erillisillä erotus- ja kytkinlaitteilla. [16, s. 31.]

5.1.2 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojuksella toteutetaan virtapiirin suojaus oikosulkutilanteessa esiintyvältä oikosulkuvirralla ja sen vaikutuksilta, ennen kuin oikosulkuvirrasta aiheutuu vaaraa. Oikosulkuvirta aiheuttaa vaaraa johtimien ja liitosten lämpötilan kasvaessa virran vaikutuksesta. Suuret alkuoikosulkuvirrat voivat aiheuttaa myös vaaraa, jos rakenteiden mekaaninen kestävyys on koetuksella. [9, s. 158.]

Oikosulkusuojaus on osa ylivirtasuojauksista ja voidaan myös toteuttaa samoilla tai eri suojalaitteilla ylikuormitussuojauksen kanssa [9, s. 159]. Oikosulkusuojuksessa, kuten ylivirtasuojauksessa, suojalaitteina käytetään sulakkeita, johdonsuojakatkaisijoita ja katkaisijoita.

Oikosulkusuojuksen toimintaan sekä suojalaitteiden valintaan vaikuttaa oikosulkuvirran suuruus. Oikosulkuvirta tulee määritellä asennuksen eri pisteissä. Tämä toteutetaan

yleensä laskemalla. Laskemalla määritetään pienin ja suurin oikosulkuvirta. Pienintä oikosulkuvirtaa tarvitaan laskelmissa, kun tarkistetaan suojalaitteiden toimintaa. Suurinta oikosulkuvirtaa taas tarvitaan, kun tarkastellaan johtimien, suojalaitteiden ja kojeiden virrankestoja oikosulkutilanteessa. [9, s. 159.]

Suojalaitteiden katkaisukyvyyn on oltava riittävä katkaisemaan oikosulkuvirta. Suojalaitteen katkaisukyky voi kuitenkin olla pienempi, jos sen syöttöpuolella on riittävän katkaisukyvyyn omaava suojalaite. Tätä poikkeusta käytetään yleisesti, kun johdonsuojakatkaisijoilla tai tulppasulakkeilla suojattujen ryhmien edessä on kahvasulake. Kahvasulakkeilla on oikosulkuvirtaa rajoittavat ominaisuudet. [9, s. 159.]

Käytettäessä oikosulku- ja ylikuormitussuojaukseen yhteistä suojalaitetta ei oikosulkusuojauksen toteutumista tarvitse erikseen osoittaa, sillä ylikuormitussuojan katsotaan suojaavan myös oikosulkuvirran lämpövaikutuksilta. Suojalaitteen tulee täyttää ylikuormitussuojauksen vaatimukset ja suojalaitteen katkaisukyvyyn tulee olla riittävä prospektiiviselle oikosulkuvirralla. Suojalaitteen tulee myös kestää oikosulkutilanteessa läpi kulkeva energia I^2t . [26, s. 14.]

Oikosulkuvirta tulee kytkeä riittävän nopeassa ajassa pois, ennen kuin johtimet saavuttavat niille sallitun suurimman lämpötilan. Johtimen suurin sallittu lämpötila riippuu eristemateriaalista. Oikosulkuvirran kestäessä alle 0,1 sekuntia virran epäsymmetrialla on vaikutusta. Tällöin epäyhtälön 4 mukainen ehto on täytyttävä virtaa rajoittavilla laitteilla

$$I^2t < k^2A^2 \quad (4)$$

jossa t on kesto aika [s]
 k on kerroin, joka riippuu johtimen materiaalista, eristeestä, alku- ja loppulämpötiloista
 A on johtimen poikkipinta [mm^2]
 I on oikosulkuvirran tehollisarvo (r.m.s.) [A]. [26, s. 12.]

Virtaa rajoittavilla laitteilla, epäyhtälön 4 mukaan, arvon k^2A^2 on siis oltava suurempi, kuin läpi kulkevan energian I^2t . Laitevalmistaja ilmoittaa suojalaitteille I^2t -arvon, jonka avulla tarkastelu voidaan toteuttaa. [26, s. 12.]

Oikosulun kestäessä enintään viisi sekuntia voidaan yhtälöllä 5 laskea aika, jonka kuluessa johdin on saavuttanut suurimman sallitun lämpötilansa. Yhtälöä 5 käytettäessä, yli viisi sekuntia kestävien oikosulkujen laskemiseen, ovat tulokset turvallisella puolella, sillä johdin luovuttaa lämpöä ympäristöönsä. Laskelmissa voidaan olettaa johtimen olevan suurimassa sallitussa jatkuvassa lämpötilassa ennen oikosulkua.

$$t = \left(\frac{k \times A}{I} \right)^2 \quad (5)$$

jossa t on kesto aika [s]

k on kerroin, joka riippuu johtimen materiaalista, eristeestä, alku- ja loppulämpötiloista

A on johtimen poikkipinta [mm²]

I on oikosulkuvirran tehollisarvo (r.m.s) [A]. [26, s. 12.]

Yhtälössä 5 käytetyn kertoimen k arvoja on taulukoitu äärijohtimille standardissa SFS 6000-4-43. Taulukossa 8 on esitetty kertoimen k arvoja.

Taulukko 8. Standardissa SFS 6000-4-43 esitettyjä arvoja kertoimelle k [26, s. 13].

Johtimen ominaisuudet ja olosuhteet	Johtimen eristys		
	PVC		PEX tai EPR
Johtimen poikkipinta (mm ²)	≤ 300	> 300	
Alkulämpötila (°C)	70	70	90
Loppulämpötila (°C)	160	140	250
Kerroin k , kuparille	115	103	143
Kerroin k , alumiinille	76	68	94

Maasulkusuojaus

Käytettäessä sähköverkossa TN-järjestelmää (*Terra Neutral*) maasulkusuojausta ei tarvitse erikseen huomioida. Maasulku vastaa TN-järjestelmässä yksi vaiheista oikosulkua, joten piirin oikosulkusuojaus toimii myös maasulkusuojana. [19, s. 34.]

Käytettäessä IT-järjestelmää (*Isolated Terra*) ensimmäinen maasulku ei laukaise heti suojausta, vaan vasta toinen samanaikainen vika laukaisee suojauksen. Tähtipisteessä suuriohmisesti maadoitetussa IT-järjestelmässä maasulkusuojaus toteutetaan tähtipisteastuksen rinnalle kytketyllä ylijännitereleellä. IT-järjestelmä takaa parhaimman jatkuvuuden sähkönsyötölle, joten sitä käytetään esimerkiksi juuri lääkintätiloissa. [16, s. 34; 29, s. 7.]

5.2 Suojaus sähköiskulta

Suojausta sähköiskulta käsitellään standardissa SFS 6000-4-41. Sähköasennuksen jokaisessa osassa on noudatettava vähintään yhtä tai useampaa suojausmenetelmää. Suojausmenetelmät muodostuvat perussuojauksesta ja vikasuojauksesta. Suomessa vikasuojaukseen yleisesti käytetään

- syötön automaattista poiskytkentää
- kaksoiseristystä tai vahvistettua eristystä
- sähköistä erotusta
- pienoisjännitteitä SELV ja PELV. [30, s. 6.]

Vikasuojaukseen ei suositella käytettäväksi Suomessa niiden hankaluuden takia

- eristävää ympäristöä
- paikallista maasta erotettua potentiaalintasausta [31, s. 111].

Kaikkien sähkölaitteiden on täytettävä perussuojauksen vaatimukset. Tarvittaessa sähkölaitteisiin voidaan myös soveltaa kosketusetäisyyden ulkopuolelle sijoittamista ja esteiden asettamista. Sähkölaitteisiin tulee lisäksi soveltaa jotain edellä mainituista suojausmenetelmistä. [30, s. 6–7.]

5.2.1 Perussuojaus

Perussuojauksen menetelmät ovat esitetty standardin SFS 6000-4-41 liitteessä 41A, joka on standardin velvoittava liite. Perussuojauksessa saadaan aikaan suojaus normaalisti käyttötilanteessa. Perussuojausta sovelletaan tietyissä määrin osana valittua suojausmenetelmää. [30, s. 23.]

Perussuojauksessa on tarkoituksena estää jännitteisten osien koskettaminen. Perussuojaus jakaantuu suojaukseen kaikelta koskettamiselta ja suojaukseen tahattomalta koskettamiselta. [31, s. 79.]

Suojaus tahattomalta koskettamiselta

Suojaus tahattomalta kosketukselta on tarkoitettu käytettäväksi ainoastaan erikoistapauksissa, kuten kiinteistöjen asennuksissa, jotka ovat ammatti- tai opastettujen henkilöiden valvonnassa. Tahattomalta kosketukselta suojaaminen tapahtuu käytännössä esteiden avulla tai sijoittamalla jännitteiset osat kosketusetäisyyden ulkopuolelle. Esteiden ja sijoittamista kosketusetäisyyden ulkopuolelle käyttämisestä suojausmenetelminä käsitellään standardin liitteessä 41B, joka on myös velvoittava. [30, s. 24; 31, s. 79.]

Suojaus kaikelta koskettamiselta

Suojaus kaikelta koskettamiselta voidaan toteuttaa jännitteisten osien peruseristyksellä sekä suojuksilla ja koteloinnilla. Suojaus on tässä tapauksessa paljon täydellisempi ja soveltuu myös maallikoiden käytettäväksi, joten sitä voidaan käyttää kaikissa olosuhteissa. [30, s. 23; 31, s. 79.]

Peruseristyksessä suojattavat jännitteiset osat peitetään kokonaan suojaavalla eristyksellä, joka voidaan poistaa vain rikkomalla. Kaapelin eristys on hyvä esimerkki peruseristyksestä, sillä se suojaa jännitteistä johdinta koskettamiselta ja voidaan poistaa vain rikkomalla kaapelin eristys. [30, s. 23.]

Suojuksilla ja koteloinnilla pyritään estämään jännitteisten osien koskettaminen. Standardissa käytetään IP-luokitusjärjestelmää määrittämään riittävä suojaus- ja koteloitintaso. Kaikkien jännitteisten osien on oltava suojattu vähintään IP2X- tai IPXXB-tasoisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jännitteisiä osia ei tulisi pystyä sormin koskettamaan. Hyvinä esimerkkeinä suojauksesta koteloinnilla ja suojuksilla ovat sähkökeskukset. [30, s. 23.]

Perussuojauksen lisäksi tarvitaan vikasuojausta, kun perussuojaukseen tulee vika, joka tekee kosketeltavat osat, esimerkiksi sähkölaitteiden kuoret jännitteisiksi. Kyseistä jän-

nitettä kutsutaan myös kosketusjännitteeksi [32, s. 6]. Vikasuojaus voidaan toteuttaa es-tämällä ja rajoittamalla vikavirta ihmisille ja kotieläimille vaarattomaan arvoon tai rajoitta-malla vikavirran kestoaika vaarattoman lyhyeksi. [23, s. 8.]

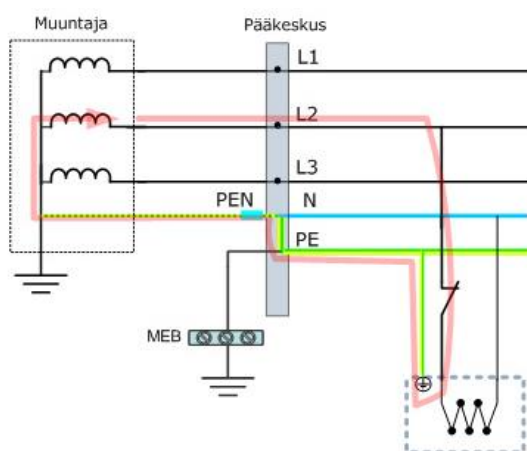
5.2.2 Syötön automaattinen poiskytkentä

Yleisimmin käytettynä suojausmenetelmänä pidetään syötön automaattista poiskytken-tää. Sitä käytetään lähes jokaisessa asennuksessa yhtenä suojausmenetelmänä [33]. Syötön automaattisessa poiskytkentä tulee vikatapauksessa tapahtua nopeasti tai kos-ketusjännitettä rajoittavasti. [9, s. 170.]

Syötön automaattisessa poiskytkennässä tarkoituksena on saada eristysvian aiheut-tama vikavirta ja kosketusjännite katkaistua riittävän nopeasti, ettei siitä aiheudu ihmi-selle vaaraa. Suojaus voidaan toteuttaa käyttämällä ylivirtasuojauksen suojalaitteita ja nopeaan poiskytkentään suunniteltua vikavirtapiiriä. [32, s. 15; 31, s. 84.]

Vikavirtapiiri

Toimiakseen syötön automaattinen poiskytkentä tarvitsee johtavan yhteyden, eli vikavir-tapiirin, joka mahdollistaa vikavirran kulkemisen. Vikavirtapiirin rakenne tulee olla käytet-tävän maadoitusjärjestelmän mukainen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kaikki sähkö-laitteiden jännitteelle alttiit osat on liitettävä maadoitusjärjestelmään niin että vikavirtapiiri syntyy. [31, s. 84-85.] TN-järjestelmässä vikavirtapiirin muodostumista on havainnollis-tettu kuvassa 8.



Kuva 8. Vikavirtapiiri TN-järjestelmässä [33].

Kuvassa 8 vikavirtapiirin muodostavat vikaantunut vaihejohdin ja suojajohdin, joka yhdistetään suoraan jännitelähteen tähtipisteeseen. Suojajohdin on PE- tai PEN-johdin järjestelmän mukaisesti. [31, s. 86.]

Poiskytkentäaika

Vikavirta ja kosketusjännite tulee kytkeä pois sopivalla suojalaitteella. Sallittu kosketusjännite ja kestoaika perustuvat sähkövirran vaikutuksiin ihmisessä. Poiskytkentäaikaan vaikuttavat kosketusjännitteen suuruuden lisäksi vian todennäköisyys ja todennäköisyys, jolla henkilö koskettaa vikaantunutta laitetta vian aikana. [31, s. 85.]

Kosketusjännitteen sallitut vaikutusajat ja suurimman kosketusjännitteen laskeminen on esitetty esimerkiksi käsikirjassa D1-2017. Käytännössä on kuitenkin liian työlästä laskea vaadittu laukaisuaika piirissä esiintyvän suurimman kosketusjännitteen perusteella ja samalla huomioida vikatilanteen todennäköisyys. Tästä johtuen automaattiselle poiskytkennälle on määritetty sellaiset ajat, jotka kattavat kaikki mahdolliset vikatilanteet. [32, s. 16; 31, s. 85.]

Standardissa SFS 6000-4-41 on taulukoitu suurimmat sallitut poiskytkentäajat TN- ja TT-järjestelmille eri jännitteillä. Poiskytkentäaika TN-järjestelmässä 230 V:n vaihejännitteelle on 0,4 sekuntia.

Poikkeuksena pääjohdoille sallittu poiskytkentäaika on 5 s. Poiskytkentäaikana 5 s on sallittu myös piireille, joissa mitoitusvirta ylittää 63 A, kun syötetään yhtä tai useampaa pistorasiaa ja kun syötetään kiinteästi asennettua yli 32 A:n sähkölaitetta. Viiden sekunnin poiskytkentäaika perustuu sopimukseen. Tässä ajassa poiskytkentä pystytään useimmissa tapauksissa toteuttamaan. [30, s. 8–9; 32, s. 17.]

Erikoistiloissa ja -asennuksissa voidaan syötön automaattiselle poiskytkennälle asettaa eriäviä vaatimuksia. Esimerkiksi standardissa SFS 6000-710 määritellään vaatimukset lääkintätiloille. [32, s. 17.]

IT-järjestelmässä ensimmäinen eristysvika ei vielä aiheuta poiskytkentää, sillä vaarallista kosketusjännitettä ei esiinny. Käyttöä voidaan siis jatkaa yhdestä viasta huolimatta, joten IT-järjestelmä soveltuu käytettäväksi, kun käyttökatkoksia halutaan välttää, esimerkiksi teollisuudessa tai lääkintähuollossa. Syöttö tulee katkaista toisen vian esiintyessä, jos

ensimmäistä vikaa ei ole ehditty selvittämään. IT-järjestelmän vikavirtapiiriin vaikuttaa, millä tavalla IT-järjestelmä on yhdistetty maahan. [31, s. 105–106.]

Pienimmät toimintavirrat

D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista sisältää taulukot vaadituista pienimmistä toimintavirroista johdonsuojakatkaisijoille ja sulakkeille. Taulukoissa mitattujen arvojen tulee olla 25 % laskettuja arvoja suurempia, johtuen johdinten alhaisemmasta lämpötilasta mittaushetkellä. [31, s. 93.]

Taulukoissa esitettyjen arvojen perusteella pää- ja ryhmäjohdoille voidaan määrittää suurimmat sallitut pituudet. Suurinta sallittua johdonpituutta voidaan tarkastella yhtälön 6 mukaisesti

$$l = \left(\left(\frac{c \times U}{\sqrt{3} \times I_k} \right) - \left(\frac{c \times U}{\sqrt{3} \times I_{kmin}} \right) \right) / (2 \times z) \quad (6)$$

jossa l on johtopituus [km]

c on kerroin 0,95

U on pääjännite [V]

I_k on oikosulkuvirta, joka aiheuttaa automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa [A]

I_{kmin} on pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta [A]

z on suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km). [31, s. 95–96.]

Vikavirran rajoitus

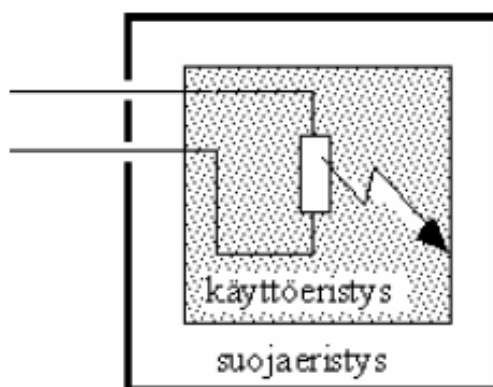
Vikavirran rajoittaminen tapahtuu vikavirtasuojakytkimellä. Menetelmä kuuluu periaatteessa syötön automaattiseen poiskytkentään, vaikka se poikkeaa sulakkeista ja johdonsuojakatkaisijoista toiminnaltaan. Vikavirtasuojakytkintä voidaan käyttää myös lisäsuojauksessa. [32, s. 17.]

Käytettäessä vikavirtasuojakytkintä laukaisuaikavaatimusten sijaan merkitystä on vikavirtasuojakytkimen toimintavirralla. Vikavirtasuojakytkimen toimintavirran tulee olla so-

piva ja määräystenmukainen käyttökohteeseen. Vikavirtasuojakytkimen toimintavirta tulee mitata ennen käyttöönottoa ja vikavirtasuojakytkimen toiminta koestaa säännöllisesti. [32, s. 17.]

5.2.3 Suojaeristys

Suojaeristyksellä estetään kosketusjännitteen syntyminen, käyttämällä peruseristuksen lisäksi sähkölaitteessa lisä- tai vahvistettua eristystä. Suojaeristyksen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 9. Lisä- tai vahvennettu eristys voidaan tehdä myös asennuksen yhteydessä, jos lopputulos vastaa standardinmukaista tehdasvalmistettua II-luokan laitetta. [31, s. 110.]



Kuva 9. Suojaeristyksen toimintaperiaate [32, s. 18].

Suojaeristystä voidaan käyttää tilanteissa, joissa syötön nopeaa poiskytkentää ei voida käyttää. Esimerkiksi I-luokan laite voidaan korvata kiinteällä II-luokan laitteella tilanteissa, jossa kyseisen laitteen syöttöä ei voida vikatilanteessa kytkeä pois 0,4 sekunnissa. Syöttävässä piirissä täytyy kuitenkin olla suojajohdin, joka kulkee piirin mukana ja liitetään jokaisessa laitteessa omaan liittimeensä. Suojajohdinta ei kuitenkaan tule yhdistää laitteen kuoreen. [31, s. 110.]

Johtojärjestelmän täyttää suojaeristystä koskevat määräykset, kun sen mitoitusjännite ei ole järjestelmän nimellisjännitettä pienempi. Mitoitusjännitteen on kuitenkin oltava vähintään 300/500 voltia. Peruseristetyt johtimet tulee suojata mekaanisesti, joko kaapelin vaipalla, ei-metallisella suojaputkella tai ei-metallisella johtokanavalla. [31, s. 111.]

5.2.4 Suojaerotus

Suojaerotuksessa suojaerotusmuuntajalla galvaanisesti erotetaan jakeluverkosta suojaettava piiri. Määräyksiä suojaerotuksesta on annettu standardissa SFS 6000-4-41. Suojaerotusmuuntajan toisiopiirissä estetään vikatilanteessa kosketusjännitteen esiintyminen jättämällä toisiopiiri maadoittamatta. Syötettäessä useita laitteita suojaerotusmuuntajalla, kaikkien laitteiden jännitteelle alttiit osat tulee yhdistää maadoittamattomilla potentiaalintasausjohtimilla. [32, s. 19.]

Suojaerotusmuuntajalla erotettu piiri on galvaanisesti erotettu jakeluverkosta, joten suojaerotetun piirin vaihejohtimen ja maan välille ei muodostu virtapiiriä. Tästä johtuen suojaerotetun piirin vaiheesta ei voi saada sähköiskua, joten suojaerotetussa piirissä esiintyvistä eristysviasta ei aiheudu sähköiskun vaaraa. [32, s. 19.]

Suojaerotuksella siis saavutetaan hyvä suojaustaso sähköiskulta, joten sitä voidaan käyttää haastavissa olosuhteissa. Suojaerotuksessa tulee käyttää tarkoitukseen valmistettua laitetta. Suojaerotusmuuntaja soveltuu käytettäväksi kaikissa tiloissa, mutta erikoistiloissa ja -asennuksissa sillä syötetään vain yhtä laitetta. Tilat, joissa henkilö on kosketuksissa rakenteiden metalliosien kanssa, esimerkiksi säiliöt, kuuluvat edellä mainittuihin erikoistiloihin. [32, s. 19.]

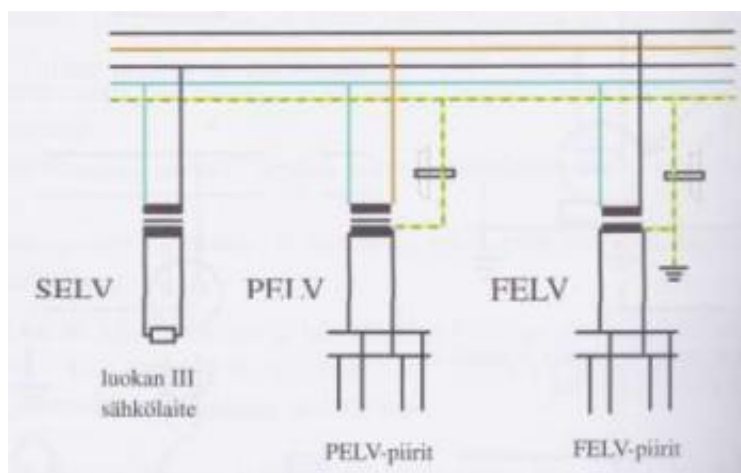
5.2.5 Pienoisjännitteet SELV ja PELV

Pienoisjännitteet SELV (*safety extra low voltage*) ja PELV (*protective extra low voltage*) kuuluvat standardin SFS-IEC 60449 jännitealueeseen I, johon kuuluu myös toiminnallinen pienoisjännite FELV (*functional extra low voltage*), jota ei kuitenkaan saa käyttää suojaavana pienoisjännitteenä. [31, s. 116.]

Käytettäessä SELV- ja PELV-pienoisjännitteitä ei tarvita vika- tai perussuojausta, kun jännite on riittävän pieni. Pienoisjännitejärjestelmissä vaihtojännitteen tehollisarvo saa olla enintään 50 V, kun taas sykkeettömällä tasajännitteellä se saa olla enintään 120 V. Perussuojausta tarvitaan jännitteen noustessa yli 25 voltin vaihtojännitteellä ja 60 voltin tasajännitteellä. [31, s. 116.]

Pienen nimellisjännitteen lisäksi tulee varmistua riittävästä erotuksesta suurempijännitteisistä piireistä, käyttämällä esimerkiksi turvallista jännitelähdettä. Turvallisesta jännitelähteestä voidaan varmistua käyttämällä suojajännitemuuntajaa, jonka tulee täyttää standardin SFS-EN 61 558-2-6 asettamat vaatimukset. [31, s. 117.]

SELV-, PELV- ja FELV-järjestelmät eroavat toisistaan toisiopiirin maadoitustavan perusteella. Pienoisjännitejärjestelmät ja maadoitustavat on esitetty kuvassa 10. SELV-järjestelmä on maasta erotettu, kun taas PELV-järjestelmässä toisiopuolen toinen napa tarvittaessa maadoitetaan. [31, s. 116.]



Kuva 10. Pienoisjännitejärjestelmät SELV, PELV ja FELV [31, s. 116].

5.2.6 Lisäsuojaus

Tavanomaiset suojausmenetelmät voivat pettää esimerkiksi puutteellisen huollon, eristeiden heikentymisen tai käyttäjien piittaamattomuuden seurauksena. Käytännön kokemus on osoittanut, että sähköiskun vaaraa voidaan pienentää käyttämällä lisäsuojauksia tavanomaisien suojausmenetelmien ohella. Lisäsuojauksen käytöstä on määrätty standardissa SFS 6000-4-41. [32, s. 113.]

Vikavirtasuojaus

Vikavirtasuojaus toteutetaan vikavirtasuojakytkimellä. Vikavirtasuojakytkimen toiminta perustuu summavirtamuuntajaan, jolla verrataan vaihejohtimen virtaa nollajohtimen palaavaan virtaan. Vaihe- ja nollajohtimen virtojen eron kasvaessa vikavirtasuojakytkimen toimintavirtaa suuremmaksi pikalaukaisu katkaisee virtapiirin. [32, s. 17.]

Lisäpotentiaalintasaus

Suojaavan lisäpotentiaalintasauksen tehtävä on rajoittaa kosketusjännitettä niin, ettei siitä aiheutuisi vaaraa. Tämä tarkoittaa kaikkien johtavien ja jännitteelle alttiiden osien liittämistä toisiinsa. Suojaavaa lisäpotentiaalintasauasta voidaan käyttää, jos automaattista poiskytkentää ei pystytä saavuttamaan määrättyssä ajassa. Lisäpotentiaalintasauksen toteutuksessa ongelmalliseksi voi muodostua kustannusten nousu, sillä suojausmenetelmä on työläs toteuttaa. [32, s. 18.]

5.3 Ali- ja ylijännitesuojaus

5.3.1 Alijännitesuojaus

Alijännitesuojaus tulee toteuttaa standardin SFS 6000-4-44 mukaan, kun jännitteenalennemasta ja -katkoksesta ja jännitteen jälleen kytkeytymisestä aiheutuu vaaraa omaisuudelle, ihmisille tai kotieläimille. Ali- ja ylijännitereleillä pystytään havaitsemaan verkkonali- ja ylijännitteet. Ali- ja ylijännitereleet tulee asettaa siten, että laitteiden kestoisuudelle tai toiminnalle haitallisia jännitteitä ei esiinny verkossa liian pitkiä aikoja. [11, s. 29.]

Alijänniterele antaa myös signaalin automaattisesti käynnistyvälle varavoimalaitokselle. Varavoimalaitoksen alijännitereleen asettelun tulee olla pienempi kuin käytönaikainen alijännite käynnistyksissä. Alijännitereleen aika-asettelun on kuitenkin oltava oikosulkusuojien laukaisuaikaa pidempi. [9, s. 180–181.]

5.3.2 Ylijännitesuojaus

Ylijännitteet voidaan jakaa ilmastollisiin ja kytkentäylijännitteisiin. Ylijännitesuojaus voidaan toteuttaa laitteiden oikealla mitoituksella, joka perustuu laitteiden impulssiylijännitteen kestävyteen. Tarvittaessa voidaan laitteistossa käyttää ylijännitesuojia. Esiintyvät ylijännitteet voivat myös olla verkkotaajuisia, seurauksena vikaantuneista käämikytkimistä ja jänniteensäätäjistä. [11, s. 17–28.]

Salamaniskut aiheuttavat ilmastolliset ylijännitteet. Ilmastollinen ylijännite voi siirtyä jakeluverkkoon ja sitä kautta myös varmennettuun verkkoon, mutta suorat salamaniskut kiinteissä sähköasennuksissa varmennettuun verkkoon ovat käytännössä poissuljettuja.

KytKentäylijännitteet syntyvät kytKentätapauksien yhteydessä. Ne ovat yleensä ilmastollisia ylijännitteitä pienempiä, ja eikä niiltä suojautumiseen ole yleensä tarvetta. Ilmastolliset- ja kytKentä ylijännitteet ovat lyhytkestoisia. [11, s. 27–28; 31, s. 158.]

ST-kortissa ST 53.16 on käsitelty kattavasti rakennusten sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien ylijännitesuojausta. Ylijännitesuojauksen taso riippuu esimerkiksi käytettyjen laitteiden herkkyydestä ja siitä, voidaanko laitevaurioita tietyssä määrin sallia. Suojauksen tasoon vaikuttaa myös alueen ukkostiheys ja se, syötetäänkö liittymää ilmajohtoverkosta vai maakaapeleilla. [31, s. 158.]

Sähkölaitteiden ylijännitekestoisuus on jaettu neljään ylijänniteluokkaan, jotka määritellään standardissa SFS 6000-4-44. Taulukossa 9 on esitelty ylijänniteluokkien mukaiset ylijännitekestoisuudet 230/400 V:n verkostojännitteelle.

Taulukko 9. Ylijännitekestoisuus 230/400 V:n jännitteelle standardin SFS 6000-4-44 mukaisesti [34, s. 16].

Nimellisjännite [V]	Laitteelle vaadittu impulssiylijännitteen kestävyys [kV]			
	Ylijänniteluokka IV	Ylijänniteluokka III	Ylijänniteluokka II	Ylijänniteluokka I
230/400	6	4	2,5	1,5

Varmennetun verkon laitteisiin sovelletaan pääsääntöisesti taulukon 9 ylijänniteluokkia I–III. Luokan I laitteissa on ollut tapana käyttää tarpeen mukaisesti laitteen ulkopuolisia transienttisuoja, muilta osin ylijännitesuojaus on kuitenkin toteutettu laitteiden ylijännitekestoisuudella. Varmennetussa verkossa voidaan laitteet jakaa ylijänniteluokkiin sijaintinsa mukaan seuraavasti

- pääkeskus, luokka IV
- ryhmäkeskus, luokka III
- kulutuskojeet, luokka II tai I. [31, s. 158–159; 11, s. 28.]

5.4 Dieselgeneraattorin suojaus

Varavoimakoneen suojaus on dieselgeneraattorin valmistajan vastuulla. Laitteiston suojaus on toteutettu esimerkiksi suojareleillä, jotka ohjaavat häiriötilanteessa generaattorikatkaisijan auki. Releillä voidaan tarkkailla esimerkiksi virtaa, jännitettä, taajuutta, tehoa ja vaihe-eroa. [35, s. 13.]

Varavoimakoneen dieselmoottorin lämpötilaa, öljynpainetta ja -määrää myös tarkkailaan. Varavoimakoneen automatiikka antaa vaaratilanteessa hälytyksen ja tarvittaessa sammuttaa moottorin, suojellakseen moottoria ja muuta laitteistoa. [35, s. 13–14.]

5.5 UPS-laitteen suojaus

Dieselgeneraattorin tapaan UPS-laitteen suojauksesta huolehtii laitteen valmistaja. Valmistajan rakentamalla sisäisellä suojauksella varmistutaan, ettei UPS-laite vahingoitu vikatilanteessa. UPS-laitteessa, jossa ei ole sisäistä suojausta, laitteen suojalaitteet valitaan valmistajan ohjeiden mukaisesti. Valmistajan ohjeita noudattamalla varmistutaan laitteen ylivirtasuojauksesta sekä termisestä ja dynaamisesta oikosulkukestoisuudesta. [35, s. 14.]

5.6 Suojauksen selektiivisyys

Suojauksen selektiivisyydellä pyritään varmistamaan kiinteistön sähkönjakeluverkon luotettava toiminta vikatilanteessa. Selektiivisessä suojauksessa pyritään erottamaan vian sattuessa mahdollisimman pieni osa verkkoa jännitteettömäksi, jolloin vältetään tarpeettomat sähkön jakelukatkokset kiinteistön muissa osissa. Käytännössä selektiivisyys toteutuu silloin, kun ainoastaan vikapistettä lähinnä oleva syötönpuoleinen suojalaite toimii. [36, s. 2.]

Suojauksen suositellaan toimivan selektiivisesti. Suojauksen selektiivisyydestä ei kuitenkaan ole annettu suoria määräyksiä, mutta esimerkiksi ST-kortissa 53.13 on annettu ohjeita liittyen selektiivisen suojauksen suunnitteluun. Standardisarja SFS 6000 kuitenkin vaikuttaa myös selektiivisyyden suunnitteluun, sillä esimerkiksi poiskytkentäajat ja muut määräykset on toteutettava selektiivisyyttä tärkeämpinä. Selektiivisyyteen on kuitenkin

kiinnitettävä erityistä huomioita syötettäessä kriittisiä kuormia, kun laajempi häiriö voi aiheuttaa toiminnalle kalliin häiriön tai vaaratilanteen. [36, s. 2.]

Epäselektiivisyyttä toisaalta voidaan pitää suojauksen virhetoimintana. Suojauksen ollessa epäselektiivinen saattaa usea peräkkäinen suojalaite toimia kerralla. Tällöin esimerkiksi koko kiinteistön jännitekatkos on mahdollinen. Pahimpana epäselektiivisyytenä voidaan pitää kuitenkin tilannetta, jossa suojalaite ei toimi vikatilanteessa. Suojalaitteen virheellinen toiminta voi johtaa suoriin tai välillisiin omaisuus- ja henkilövahinkoihin. [36, s. 1–2.]

5.6.1 Selektiivisen suojauksen toteuttaminen

Helpointa ja kustannustehokkainta selektiivisyyteen on vaikuttaa suunnitteluvaiheessa. Selektiivisyydestä tarkastelut ja oikosulkulaskelmat ovat tärkeässä osassa suunnittelua. Hyvään lopputulokseen päästään, kun suunnitteluvaiheessa huomioidaan selektiivisyys suojalaitteiden valinnoissa ja asettelussa sekä ennen kaikkea verkon rakenteessa. Toimintatapaansa mukaan voidaan selektiivisyys jakaa

- aikaselektiivisyyteen
- virtaselektiivisyyteen
- suuntaselektiivisyyteen
- lukitussuojaukseen. [36]

Edellä mainituista tavoista on aikaselektiivisyys helpoin ja myös varmin tapa toteuttaa selektiivisyys. Aikaselektiivisyydessä perättäisten suojalaitteiden toiminta-aikoja porrastetaan selektiivisyyden saavuttamiseksi. Usean peräkkäisen suojalaitteen tapauksessa kaikkien suojien aikaporrastus voi aiheuttaa ensimmäiselle suojalaitteelle liian pitkän toiminta-ajan. Tässä tapauksessa suojauksen selektiivisyys voidaan varmistaa porrastamalla suojaus toiminta-virtojen perusteella, eli virtaselektiivisyydellä. [36, s. 3.]

Virtaselektiivisyydessä suojalaitteet voidaan asettaa samalle toiminta-ajalle ja porrastaa suojalaitteiden toimintaa vikavirtatasojen mukaan. Tämä perustuu siihen, että ryhmäjohdossa tapahtuvassa viassa kulkee vähemmän vikavirtaa, kuin esimerkiksi nousujohdossa tapahtuvassa viassa. Vikavirrat kussakin pisteessä tulee kuitenkin olla tarkasti tiedossa. [36, s. 3.]

Suuntaselektiivisyyttä käytetään lähinnä suurjännitepuolella, kun jakeluverkkotasolla on mahdollista käyttää rengassyöttöä tai useita syöttölähteitä. Suojaustapaa voidaan tarvittaessa soveltaa pienjänniteverkkoon. Suuntaselektiivisyys saavutetaan, kun suojalaitteiden releet valvovat myös vikavirran suuntaa. [36, s. 4.]

Vyöhykeselektiivisyys tarkoittaa käytännössä samaa kuin lukitussuojaus. Lukitussuojauksessa parannetaan selektiivisyyttä asettamalla peräkkäisille katkaisijoille lukituksia, jolloin katkaisijoiden toiminta-aikoihin ei tarvita suuria porrastuksia. Lukitusketjussa katkaisijoiden toimintaa voidaan estää tai hidastaa, jolloin vain lähin katkaisija erottaa vikapisteen. [36, s. 4.]

5.6.2 Selektiivisyystarkastelu

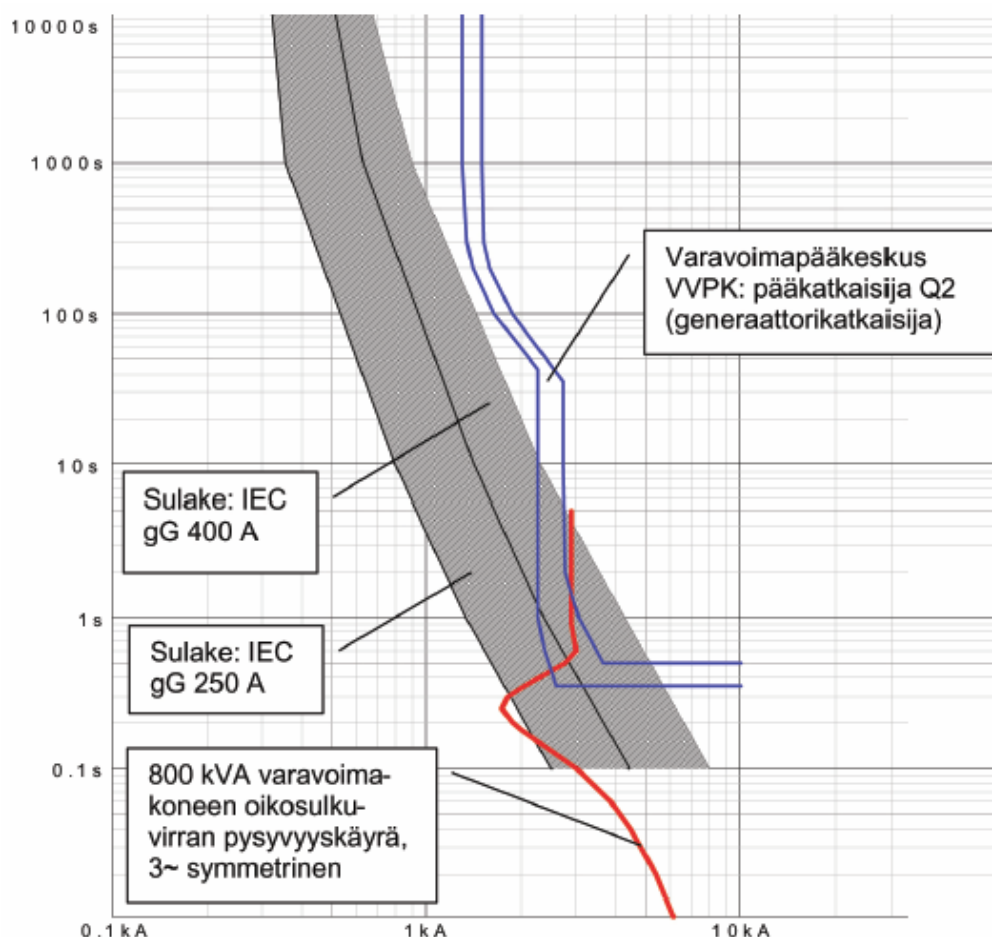
Selektiivisyystarkastelu voidaan suorittaa monella eri tavalla ja tasolla. Selektiivisyystarkastelussa voidaan käyttää apuna verkostonlaskentaohjelmistoja, taulukkolaskentaohjelmaa, graafisia kuvaajia sekä nyrkkisääntöjä. Näistä viimeisin soveltuu käytettäväksi vian yksinkertaisissa kohteissa.

Verkostonlaskentaohjelmia on saatavana ilmaisena ja maksullisena. Monet katkaisijavalmistajat tarjoavat ohjelmiaan maksutta käyttöön. Näillä ohjelmilla voidaan kuitenkin tarkastella selektiivisyyttä vain kyseisten valmistajien suojalaitteilla, jolloin vertailu useiden valmistajien suojalaitteiden välillä voi osoittautua hankalaksi. Tunnettuja katkaisinvalmistajien ohjelmia ovat esimerkiksi ABB:n DOC ja Schneiderin Ecodial Advanced Calculation. Markkinoilla on saatavilla myös maksullisia verkostonlaskentaohjelmistoja. Näillä ohjelmilla pystytään helpommin tarkastelemaan selektiivisyyttä eri valmistajien suojalaitteilla. Tässä työssä laskennassa on käytetty apuna maksullista Febdok-ohjelmaa. [36, s. 6.]

Selektiivisyystarkastelu voidaan myös tehdä taulukkolaskentaohjelmalla. Monilla valmistajilta on saatavilla funktiot ja arvot suojalaitteiden toimintakäyrille, joiden perusteella suunnittelija voi itse muodostaa kuvaajat taulukkolaskentaohjelmalla. Suunnittelija kuitenkin on itse vastuussa teknisten tietojen ja funktioiden tulkitsemisesta. [36, s. 6.]

Tarkasteltaessa selektiivisyyttä on tapana käyttää kuvaajaa, jossa suojalaitteiden toimintakäyrät varmuusmarginaaleineen ovat esitettyinä toiminta-ajan ja -virran suhteen loga-

ritmisellä asteikolla. Esimerkiksi katkaisijavalmistajilta on saatavana ohjelmia, joilla voidaan tuottaa graafisia kuvaajia suojalaitteiden toimintakäyristä. Kuvaajaan voidaan myös tarvittaessa piirtää oikosulkuvirta. Tämä voi olla hyödyllistä tarkasteltaessa selektiivisyyttä, kun oikosulkuvirta ei ole tasaista, esimerkiksi kun oikosulkuvirran syöttää generaattori. Kuvassa 11 on esitetty ylivirtasuojien toimintakäyrät ja varavoimakoneen tuottama oikosulkuvirta varavoimatilanteessa.



Kuva 11. Ylivirtasuojien toimintakäyrät ja generaattorin tuottama oikosulkuvirta [36, s. 13].

5.6.3 Selektiivisyys generaattorilla varmennetussa verkossa

Varavoimatilanteessa, kun verkkoa syötetään dieselgeneraattorilla, oikosulkuvirtaa on vikatilanteessa selvästi vähemmän. Joissain tapauksissa varavoimatilanteessa jatkuvaa oikosulkuvirtaa voi olla saatavilla jopa 10 kertaa vähemmän kuin normaalitilanteessa. Tämä asettaa verkoston ylivirtasuojaukselle tiettyjä rajoituksia ja antaa haastetta suunnittelijalle, sillä suojauksen tulee toimia kaikissa tilanteissa. [36, s. 12.]

Tavallista on, että varavoimajakelun suojalaitteet on valittu normaalitilanteen mukaisesti, jolloin ei ole huomioitu dieselgeneraattorin tuottamaa pienempää oikosulkuvirtaa. Määräykset yleensä täyttyvät, sillä varavoimakone sammuttaa itsensä muutamassa sekunnissa virtarajalla automaattisten suojausien ansiosta, mutta selektiivisyyttä ei saavuteta jännitteen kadotessa koko varavoimaverkosta. [36, s. 12.]

Suojalaitteiden valintoihin ja asetteluihin tulee siis kiinnittää huomiota varavoimaverkossa ja huolehtia suojausten selektiivisyydestä myös pienemmällä oikosulkuvirralla. Suojaus ja selektiivisyys voidaan pyrkiä saavuttamaan esimerkiksi valitsemalla sopivat katkaisijat varavoimakoneen oikosulkuvirralla ja hidastamaan niiden toimintaa riittävästi.

Kaapelointiin kannattaa myös kiinnittää huomioita, jolloin mahdollisuuksien mukaan kaapelointietäisyyksiä tulisi pienentää, esimerkiksi sijoittamalla varavoimakone keskeiselle paikalle. Vaihtoehtoisesti kaapeloinnin poikkipinta-aloja voidaan kasvattaa, jolloin saadaan enemmän oikosulkuvirtaa kuorman päähän.

5.6.4 Selektiivisyys UPS-varmennetussa verkossa

Tarkasteltaessa selektiivisyyttä UPS:n syöttämässä verkossa on tärkeää hahmottaa kolme tilannetta. Ensimmäisessä tilanteessa normaalin verkon oikosulkuvirta on käytettävissä vian selvittämiseen UPS:n siirtyessä staattiselle ohitukselle, jolloin selektiivisyys saavutetaan normaaleilla toimenpiteillä. [36, s. 14.]

Toisessa tilanteessa verkkoa syötetään varavoimalaitoksella, jolloin UPS:n on mahdollista käyttää staattista ohitusta ja varavoimalaitoksen syöttämää oikosulkuvirtaa. Tässä tapauksessa varavoimaverkon selektiivisyys tulee tarkastaa erikseen. UPS-verkossa suojausten toimiessa selektiivisesti vain UPS:n syöttämällä oikosulkuvirralla suojaus toimii todennäköisesti myös varavoimatilanteessa. Tarkasteltavaksi siis käytännössä jää varavoimaverkko ennen UPS-pääkeskusta. [36, s. 14.]

Kolmannessa tilanteessa ei ole käytettävissä normaalia tai varavoimaverkkoa, jolloin oikosulkuvirta on saatavilla vain UPS-laitteesta. UPS-laitteiden oikosulkuvirransyöttökyky vaihtelee eri valmistajien ja laitteiden välillä, joten on syytä tarkastella tilanne laitekohtaisesti. Tavallisesti UPS-laitteet kykenevät syöttämään oikosulkuvirtaa noin 100–300 ms, minkä jälkeen laite katkaisee oikosulkuvirransyötön automaattisesti. [36, s. 15.]

UPS-laitteen oikosulkuvirran katkaisun toimiessa alle 400 millisekunnissa (0,4 s) standardien vaatimat poiskytkentäajat toteutuvat, mutta selektiivistä tilannetta ei saavuteta. Selektiivisyys on tärkeää huomioida, etenkin varmennettaessa kriittisiä kuormia, jolloin mitoituksessa tulee kiinnittää huomioita UPS:n kykyyn syöttää oikosulkuvirtaa ja UPS-verkon ominaisuuksiin.

Suunniteltaessa UPS-varmennettua verkkoa tulee vikatilanteen vaikutus huomioida koko UPS:n syöttämään verkkoon. Oikosulkutilanteessa UPS-verkon jännite laskee lähelle nollaa, jolloin muut kuormat voivat jäädä jännitteettömäksi, kunnes vika saadaan selvitettyä. Tavoitteeksi suojaukselle voidaan asettaa riittävän nopea toiminta, ettei hetkellisestä jännitteettömyydestä aiheudu haittaa. [36, s. 15.]

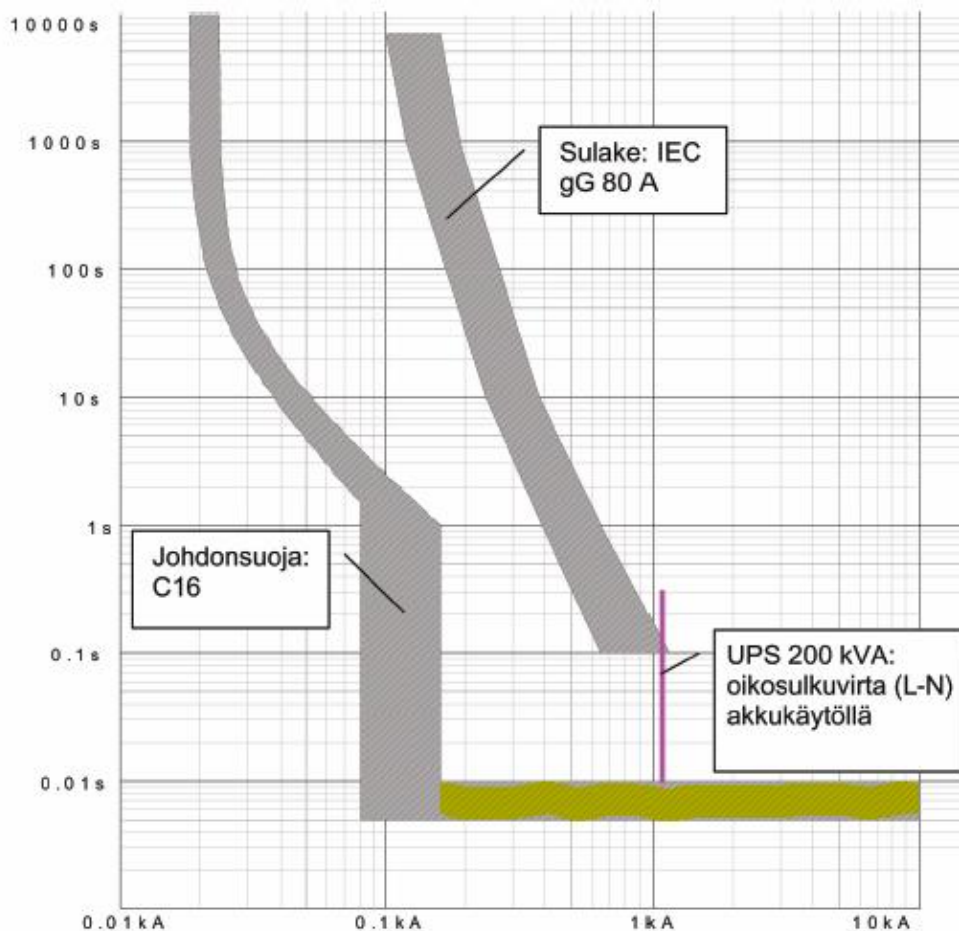
Esimerkiksi atk-kuormat ja muut elektroniikkaa sisältävät kuormat sietävät 20 ms jännitteetöntä aikaa, eli yhden jakson verran. Suositeltavaa kuitenkin olisi, jos suojaus toimisi jo ensimmäisen puolijakson, eli 10 ms:n aikana vikatilanteesta. Liian pitkä jännitteetön aika aiheuttaa kuormien hallitsemattoman alasajon, joka tarkoittaa vääjäämättä käyttökatkosta. Viimeistään 50 ms:n kuluttua jännitteen häviämisestä virtalähteitä sisältävät kuormat ovat kokeneet alasajon. Hallitsematon alasajo voi aiheuttaa ongelmia atk-järjestelmissä. Valaistusjärjestelmissä valaisimet saattavat myös jäädä jännitekatkon seurauksena pois päältä jännitteen palauduttua. [37; 36, s. 15.]

UPS-verkossa oikosulkuvirtaa on saatavilla rajoitetusti, joten suojalaitteiden valinta on tehtävä huolella luotettavan suojauksen varmistamiseksi. Ensisijaisesti UPS:n takana käytetään johdonsuojakatkaisijoita. Sulakkeiden käyttöä tulee harkita vain tapauskohtaisesti. Yleisin virhe on liian suurien suojalaitteiden valinta suhteutettuna UPS:n tehoon. [36, s. 15.]

Selektiivisyyden ja luotettavan suojauksen saavuttamiseen UPS-verkoissa ei ole yhtä ainoaa keinoa. Tärkeää on tehdä UPS-jakelusta mahdollisimman yksinkertainen, eli välttää jakelussa useita portaita ja siten sarjassa olevia suojalaitteita. Pitkät kaapelointietäisyydet voivat olla myös ongelmallisia, koska pitkillä matkoilla UPS:n syöttämä oikosulkuvirta ei välttämättä riitä suojalaitteiden nopeaan toimintaan. Kohdekohtaisesti voidaan tarvittaessa kasvattaa kaapelikokoja tai jakaa syötettävä alue useamman UPS:n välillä. [36, s. 15.]

Yksinkertainen ratkaisu voi olla kuitenkin kasvattaa UPS:n tehoa, eli tietoisesti ylilimitoittaa UPS-järjestelmä. UPS:n kokoa kasvatettaessa myös UPS:n syöttämä oikosulkuvirta kasvaa, jolloin suojalaitteet saadaan toimimaan selektiivisesti. Tämä voi kuitenkin johtaa UPS:n edeltävän verkon ja varavoimakoneen ylilimitoittamiseen. [36, s. 15.]

Toteutettaessa suojaus johdonsuojakatkaisijoilla voidaan nyrkkisääntönä pitää, että johdonsuojan tulee lauaeta magneettisen pikalaukaisun alueella, joka on havainnollistettu kuvassa 12. Tällä tavalla varmistetaan, että johdonsuojakatkaisija toimii, ennen kuin UPS sammuttaa itsensä.



Kuva 12. Johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrästä on keltaisella korostettu magneettisen laukaisun alue [36, s. 16].

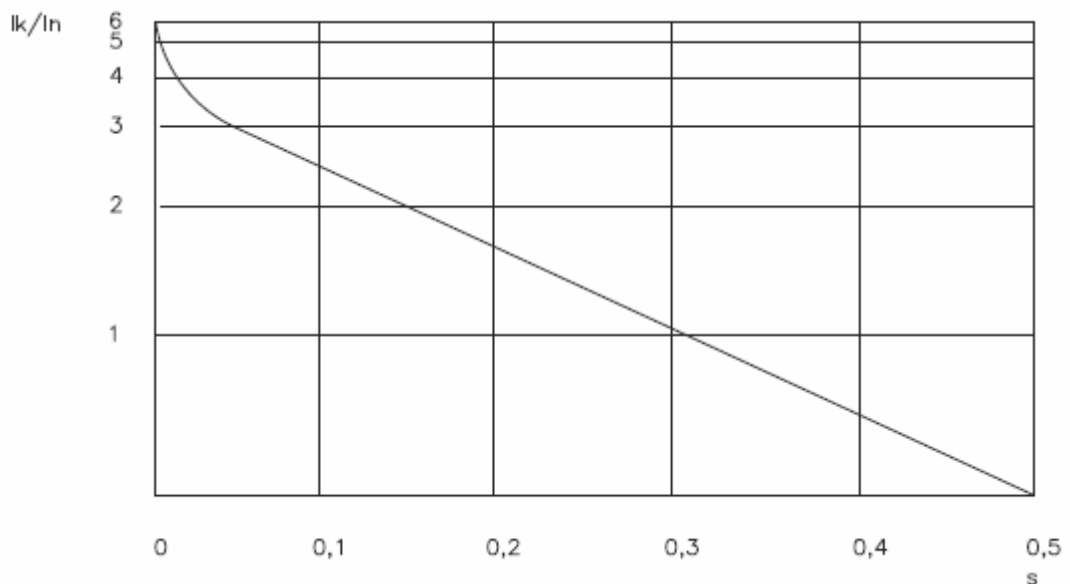
6 Oikosulkuvirta varmennetussa verkossa

6.1 Dieselgeneraattorin tuottama oikosulkuvirta

Generaattorit voidaan jakaa kahteen kategoriaan: generaattoreihin jotka eivät syötä jatkuvaa oikosulkuvirtaa (kuva 13), ja generaattoreihin, jotka pystyvät syöttämään jatkuvaa oikosulkuvirtaa (kuva 14). Kiinteistöjen varavoimakoneissa suositellaan käytettäväksi generaattoreilta, jotka pystyvät syöttämään jatkuvaa oikosulkuvirtaa. [38; 8, s. 94.]

Generaattori ei syötä jatkuvaa oikosulkuvirtaa

Automaattinen jänniteensäätäjä saa normaalitilanteessa generaattorin magnetointiin tarvittavan magnetointitehon vaihejännitteestä. Oikosulun aikana vaihejännite saattaa kuitenkin laskea jopa nollaan volttiin. Ilman erillistä oikosulkumagnetointia generaattorin magnetointivirta laskee, jonka seurauksena myös generaattorin tuottama virta laskee, kunnes generaattorin lakkaa tuottamasta virtaa. Kuvassa 13 on esitetty sellaisen generaattorin oikosulkuvirta, joka ei syötä jatkuvaa oikosulkuvirtaa. [21, s. 276.]



Kuva 13. Kuvaaja generaattorin oikosulkuvirrasta ajan funktiona, kun generaattori ei syötä jatkuvaa oikosulkuvirtaa [38, s. 3].

Esimerkiksi shunt-magnetoitu generaattori ei pysty syöttämään jatkuvaa oikosulkuvirtaa. Tapauksissa, joissa generaattori ei syötä jatkuvaa tai riittävää oikosulkuvirtaa, voidaan

oikosulkusuojuksessa käyttää alijännitelaukaisua ja TN-S-järjestelmässä vikavirtasuojakytkimiä [16, s. 33].

Oikosulkusuojuksessa voidaan käyttää myös aikaylivirtasuojasta, kun generaattori ei syötä jatkuvaa oikosulkuvirtaa. Aikaylivirtasuojassa alijänniteporras pitää suojalaitteen ylivirtahavahtumaa yllä määrätyn ajan, vaikka oikosulkuvirta olisi laskenut asetetun arvon alapuolelle. Syöttö katkaistaan määritetyn ajan kuluttua, jos vika ei ole poistunut ja jännite palautunut asetetun pitoajan sisällä. Vikavirran ylittäessä aikaylivirtasuojan havahtumisrajan toimii suojaus varmasti. [38, s. 2.]

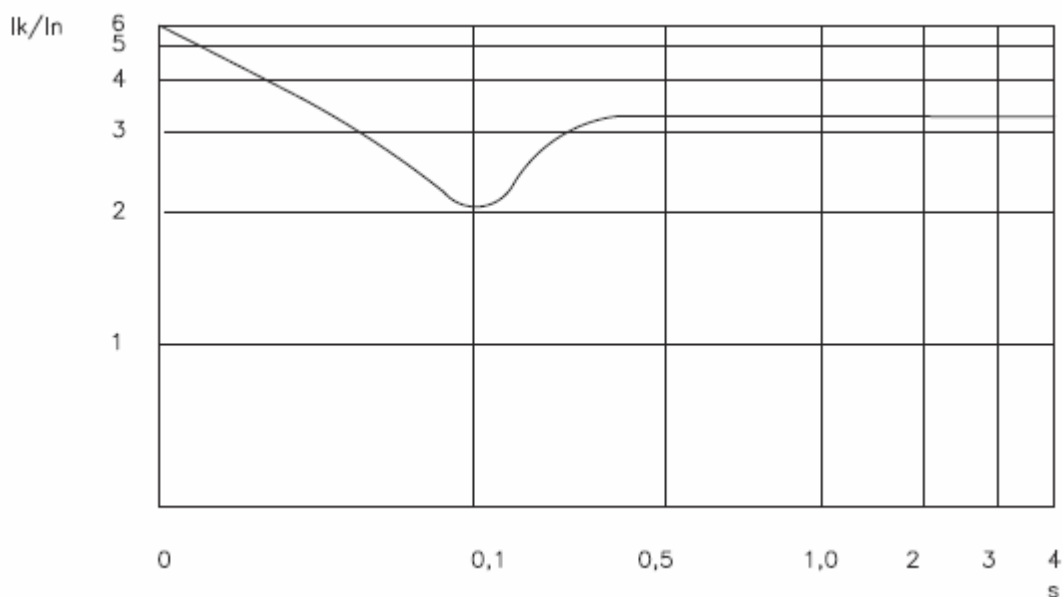
Generaattori syöttää jatkuvaa oikosulkuvirtaa

Generaattorissa jatkuvan oikosulkuvirran syöttö toteutetaan oikosulkumagnetoinnilla, eli erillisellä magnetointilaitteistolla, jolla huolehditaan magnetoinnista oikosulun aikana. Kestomagnetoidut generaattorit syöttävät myös jatkuvaa oikosulkuvirtaa.

Vaihejännitteen laskiessa oikosulkuutilanteessa, magnetointiin tarvittava virta saadaan äärijohtimiin kytketyillä virtamuuntajilla oikosulun alussa esiintyvistä korkeasta oikosulkuvirrasta. Oikosulkumagnetoinnin ansiosta voidaan generaattorilla jatkaa virran syöttöä ja magnetointia, joten generaattori pystyy syöttämään jatkuvaa oikosulkuvirtaa. [21, s. 276.]

Kuvassa 14 on esitetty generaattorin oikosulkuvirta, kun generaattori pystyy syöttämään jatkuvaa oikosulkuvirtaa. Alkuoikosulkuvirta I_k'' on jatkuvaa oikosulkuvirta I_k :ta huomattavan paljon suurempi. Jatkuva oikosulkuvirta I_k on dieselgeneraattoreilla 2–3,5-kertainen nimellisvirtaan verrattuna, kun alkuoikosulkuvirta I_k'' voi olla noin 6-kertainen.

Generaattorin syöttämän jatkuvan oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttaa generaattorin koon lisäksi generaattorin magnetointi. PMG- (kestomagnetoitu generaattori) ja AREP-magnetoinnilla (*auxiliary winding regulation principle*) varustetut generaattorit syöttävät oikosulkuvirtaa noin kolminkertaisena nimellisvirtaansa nähden 10 s:n ajan. [16, s. 33, 35.]



Kuva 14. Kuvaaja generaattorin oikosulkuvirrasta ajan funktiona, kun generaattori pystyy syöttämään jatkuvaa oikosulkuvirtaa [38, s. 3].

Verratessa kuvien 13 ja 14 kuvaajia voidaan niiden huomata etenevän samanlaisena 0,1 s:n kohdalle. Käyttäytyminen selittyy generaattorin sisäisten reaktanssien ja magne-
tointitehon muutoksella, kun generaattori joutuu muutostilaan oikosulun seurauksena [32, s. 14]. Kuvan 14 kuvaajassa voidaan havaita generaattorin sisäisten reaktanssien kasvaminen, kun oikosulkuvirta lähtee tippumaan alkuoikosulkuvirrasta. Oikosulkumagne-
toinnin alkaminen havaitaan 0,1 s:n ja 0,5 s:n välillä, kun jännitteensäätäjä nostaa generaattorin oikosulkuvirran jatkuvan tilan tasolle.

6.2 UPS:n syöttämä oikosulkuvirta

Kiinteistön sähköjakeluverkon suunnittelussa ongelmia voi tuottaa UPS-jakelussa riit-
tävän oikosulkuvirran varmistaminen suojalaitteiden riittävän nopeaan, selektiiviseen ja
luotettavaan toimintaa. Tämä on ollut alalla yleisesti tiedostettu haaste. Oikeilla valin-
noilla voidaan välttää monet ongelmat ja tässä työssä pyritään esittämään UPS-jakelua
suunniteltaessa huomioitavia asioita.

UPS-laitteen toimintaan vikatilanteessa vaikuttaa mahdollisuus syöttää oikosulkuvirtaa
UPS-laitetta edeltävästä verkosta. Jakelu- tai varavoimaverkon ollessa normaalitilassa
voidaan oikosulkuvirran syöttöön käyttää edeltävää verkkoa. Tilanteessa, jossa edeltävä

verkko ei ole käytettävissä, täytyy oikosulkuvirta syöttää UPS:n akustosta vaihtosuuntaajan kautta, jolloin vikatilanteessa on huomattavista vähemmän oikosulkuvirtaa vikatilanteen selvittämiseen.

Oikosulkuvirta syötetään edeltävästä verkosta

UPS-laitteiden rajallisesta oikosulkuvirran syöttökapasiteetista johtuen UPS-laitteet pyrkivät syöttämään oikosulkuvirran sähköverkon kautta. Tämä tarkoittaa, että yleisen jakeluverkon tai varavoimaverkon toimiessa vian selvittämiseen tarvittava oikosulkuvirta saadaan UPS-akuston sijaan yleisestä jakeluverkosta tai varavoimalaitokselta. [32, s. 12.]

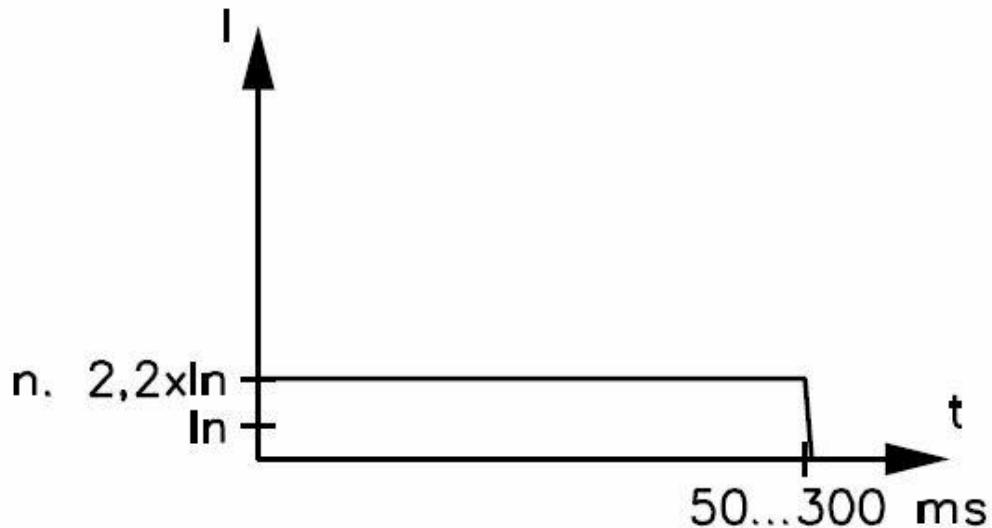
Line interactive ja On-line UPS:t siirtävät vikatilanteessa syötön jakelu- tai varavoimaverkolle staattisen ohituskytkimen avulla, jolloin oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttavat myös edeltävän verkon ominaisuudet. Staattisen kytkimen toiminta-aika on alle 1 ms. Off-line UPS:t syöttävät toimintaperiaatteensa mukaisesti suodatettua verkkojännitettä normaalitilanteessa, jolloin myös oikosulkuvirta tulee UPS-laitetta syöttävästä verkosta. [32, s. 13.]

Yleisen jakeluverkon ja varavoimalaitoksen oikosulkuvirran syöttökapasiteetit ovat yleensä UPS-laitetta suurempia, joten jos verkon suojaus toimii UPS-jakelussa, toimii se todennäköisesti normaali- tai varavoimatilanteessa. Suojauksen toimivuudesta tulisi kuitenkin varmistua kaikissa tilanteissa.

Oikosulkuvirta syötetään akustosta vaihtosuuntaajan kautta

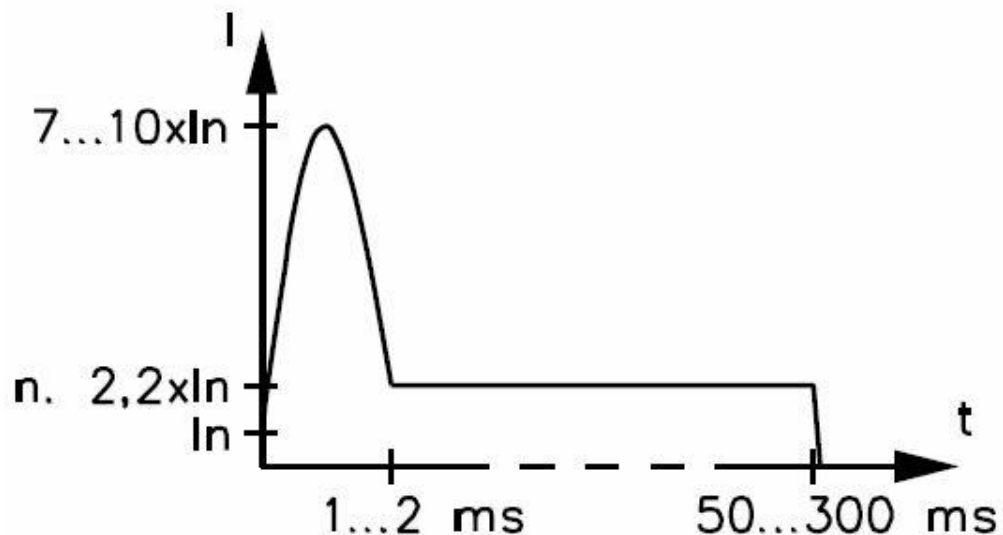
UPS:n akustosta vaihtosuuntaajan kautta syötettävä oikosulkuvirta on tyypillisesti rajoitettu noin 2–3-kertaiseksi verrattuna nimellisvirtaan. Eroavaisuuksia kuitenkin löytyy paljon eri laitteiden välillä. Pelkkien kertoimien käyttöä tulisi välttää, joten laitteen syöttämä oikosulkuvirran suuruus ja kesto tulisi tarkistaa aina laitekohtaisesti. [39, s. 55, 57.]

Kuvissa 15 ja 16 on esitettyä kuvaajat UPS:n syöttämästä oikosulkuvirran muodosta. Kuvassa 15 esitetty oikosulkuvirta on sellainen, jonka UPS:n syöttämän oikosulkuvirran voidaan olettaa käytännössä olevan. Oikosulkuvirta on tasainen, hieman yli kaksinkertainen laitteen nimellisvirtaan verrattuna, ja se jatkuu 50–300 ms:n ajan.



Kuva 15. Kuvaaja UPS:n syöttämästä tyypillisestä oikosulkuvirrasta ajan funktiona.

Kuvassa 16 on esitetty oikosulkuvirran alussa näkyvä huippupiikki saattava esiintyä, kun UPS-laite on varustettu suodattimella ja sen kondensaattorilla [39, s. 55]. UPS-laitteessa oleva muuntaja voi myös aiheuttaa oikosulkuvirran alkuun piikin, joka on kuitenkin suodattimen tuottamaa huippupiikkiä pienempi. Alussa esiintyvä virtapiikki on kuitenkin hyvin lyhyt, yleensä 1,2 ms:n luokkaa ja sisältää vain vähän energiaa, joten sen ei voida olettaa laukaisevan suojalaitetta. Tämä virtapiikki voidaan siis käytännössä jättää huomioitta tarkasteltaessa UPS-jakelun suojausta. [37]



Kuva 16. Kuvaaja UPS:n syöttämästä oikosulkuvirrasta ajan funktiona, kun vikatilanteen alussa esiintyy virtapiikki.

Suurimmassa osassa UPS-laitteita on sisäänrakennettu elektroninen oikosulkusuojaus, joka huolehtii UPS:n vaihtosuuntaajan sammuttamisesta, kun oikosulkuvirtaa on syötetty määrätyn ajan. Yleensä UPS-laitteet syöttävät oikosulkuvirtaa 100–300 ms:n ajan, mutta osa laitteista syöttää oikosulkuvirtaa lyhyemmän aikaa, esimerkiksi 50 ms:n ajan. [32, s. 14.]

UPS:n syöttämään oikosulkuvirran suuruuteen ja aikaan vaikuttaa laitteen ylikuormitettavuus. UPS:n sisäänrakennetulla suojauksella on mahdollista saavuttaa standardin SFS 6000 vaatimukset syötön automaattisesta poiskytkennästä. Vikatilanteessa UPS:n sammuttaessa vaihtosuuntaajan alle 0,4 sekunnissa toteutuu standardin automaattisen poiskytkennän vaatimus ryhmäjohtoille, kuten myös alle viiden sekunnin vaatimus nousujohtoille.

Vikatilanteen tapahtuminen, kun normaali- tai varavoimaverkko ei ole käytettävissä, on yleensä harvinainen. Tällöin on yleensä kyseessä kahden vian tapaus, joka on suojauksen nopean ja selektiivisen toiminnan kannalta haastavin tilanne.

Varmistettaessa vähemmän kriittisiä kuormia voidaan hyväksyä tilanne, jossa suojaus toimii nopeasti ja selektiivisesti edeltävän verkon oikosulkuvirran ollessa käytettävissä, mutta kahden vian tapauksessa, kun vain UPS syöttää oikosulkuvirtaa, suojaus ei enää toimi selektiivisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että vikatilanteessa UPS sammuttaa itsensä, jolloin sähkönjakelu katkeaa koko kuormalta, kunnes vika on selvitetty. Kriittisissä kohteissa näin suurta epäselektiivisyyttä ei voida kuitenkaan hyväksyä, vaan vikatilanne on kyettävä selvittämään UPS:n syöttämällä oikosulkuvirralla.

Napajännitteen vaikutus oikosulkuvirtaan

Oikosulkutilanteessa UPS ei toimi jännitelähteenä, vaan se pyrkii toimimaan virtalähteenä. Tämä tarkoittaa, että lähdejännitteen E sijasta UPS pyrkii syöttämään lähdevirtaa J . [37]

Oikosulkutilanteessa UPS syöttää suurimman mahdollisen oikosulkuvirran, kun napajännite laskee lähelle nollaa voltia. Tämä on mahdollista vain hyvin pieni impedanssisilla piireillä. Käytännössä piirin impedanssin noustessa myös UPS:n napajännitteen on noustava.

Suurin UPS:n syöttämä oikosulkuvirta on siis mahdollista syöttää vain pienellä napajännitteellä, eli napajännitteen noustessa UPS:n syöttämä oikosulkuvirta laskee. Tästä voi aiheutua seurauksena vahingollinen tilanne, jossa suojalaitteet eivät pysty toimimaan vaaditussa ajassa ja UPS sammuttaa itsensä ylikuormituksen seurauksena, katkaisten syötön koko kuormalta. Ylikuormitustilanteessa vaatimukset automaattisesta poiskytkennästä eivät välttämättä toteudu. [37]

UPS:n napajännitteelle oikosulkutilanteessa ei ole määritelty suurinta arvoa, sillä siihen vaikuttaa myös syötettävä kuorma. Napajännitteen suurimman arvon määrittämiseksi tulisi tuntea kuormien ominaisuudet hyvin tarkasti. Esimerkiksi resistiiviset kuormat vaikuttavat napajännitteeseen, kun taas virtalähde-tyyppisillä kuormilla ei ole vaikutusta napajännitteeseen vielä ensimmäisen puolijakson aikana, johtuen niiden kondensaattoreihin varastoituneesta energiasta. [37]

Liikenneviraston Tekniikka ja ympäristö -osasto on antanut ohjeistuksessaan LIVI/6683/06.05.01/2016, Turvalaitteiden sähkönsyötöt ja UPS-laitteiden mitoitus, napajännitteelle ohjeelliseksi arvoksi enintään 40 voltia. Ohjeistus koskee kuitenkin vain ra-taosuuksia.

Kiinteistöissä turvallisena napajännitteen rajana voidaan pitää 60 voltia. Napajännite ei kuitenkaan saisi ylittää 80 voltia, sillä joidenkin laitteiden, kuten virtalähteiden nimellis-jännite voi olla 100 V, jolloin 80 V saattaa olla virtalähteen marginaalin sisällä ja ensimmäisen puolijakson jälkeen kondensaattorit saattavat jo ottaa verkosta energiaa. Voi-daan kuitenkin sanoa, että mitä pienemmäksi napajännite saadaan, sen parempi. [37]

Napajännitteen laskeminen

UPS:n napajännite oikosulkutilanteessa voidaan laskea riittävällä tarkkuudella Ohmin lain mukaisesti UPS:n lähdevirrasta, eli oikosulussa UPS:n syöttämästä suurimmasta oikosulkuvirrasta sekä vikaantuneen piirin impedanssista yhtälöllä

$$U = Z \times J \quad (7)$$

jossa U on napajännite
 Z on vikapiirin impedanssi
 J on lähdevirta. [41]

Yksivaiheisessa oikosulussa vikapiirin impedanssi muodostuu vaihe- ja nollajohtimien impedansseista

$$Z = Z_l + Z_n \quad (8)$$

jossa Z on vikapiirin impedanssi
 Z_l on vaihejohtimen impedanssi
 Z_n on nollajohtimen impedanssi.

Laskennan kannalta oikosulussa voidaan olettaa kaapelin vaihe- ja nollajohtimen olevan yhtä pitkiä, jolloin poikkipinta-alaltaan vastaaville nolla- ja vaihejohtimille saadaan vikapiirin impedanssiksi

$$Z = k \times (Z_j) \quad (9)$$

jossa Z on vikapiirin impedanssi
 k on yksivaiheisessa oikosulussa 2 (kolmivaiheisessa oikosulussa $\sqrt{3}$)
 Z_j on yhden johtimen impedanssi.

Impedanssia laskiessa voidaan huomioida resistanssin ja reaktanssin vaikutus yhtälöllä

$$Z_j = \sqrt{R_j^2 + X_j^2} \quad (10)$$

jossa Z_j on yhden johtimen impedanssi
 R_j on johtimen resistanssi
 X_j on johtimen reaktanssi.

Napajännitteen yhtälöksi oikosulussa saadaan

$$U = k \times \sqrt{R_j^2 + X_j^2} \times J \quad (11)$$

jossa U on napajännite
 k on yksivaiheisessa oikosulussa 2 (kolmivaiheisessa oikosulussa $\sqrt{3}$)
 R_j on johtimen resistanssi

X_j on johtimen reaktanssi
 J on lähdevirta.

Kaapeleiden impedanssiarvot voidaan laskea valmistajan ilmoittamien tietojen mukaan Ω/km -arvoista tai vaihtoehtoisesti esimerkiksi kaapelin poikkipinta-alan ja johdinmateriaalin perusteella. Laskennan helpottamiseksi voidaan pienillä poikkipinta-aloilla tarvittaessa kaapelin impedanssin laskentaa yksinkertaistaa ja huomioida vain resistanssin vaikutus.

Yksivaiheisessa oikosulussa UPS:n napajännite voidaan siis esimerkiksi laskea yhtälöllä

$$U = 2 \times l \times z \times J \quad (12)$$

jossa U on napajännite [V]
 l on kaapelin pituus [km]
 z on kaapelin impedanssi (Ω/km)
 J on lähdevirta [A]. [36]

Tarkasteltaessa UPS-jakelun suojausta jollain verkoston mitoitusohjelmalla tulee huomioida, että ohjelma saattaa käsitellä UPS:n jännitelähteenä, jolloin se ei huomioi napajännitteen vaikutusta oikosulkutilanteessa. Käytettäessä mitoitusohjelmaa on erittäin tärkeää ymmärtää ohjelman käyttämät periaatteet laskennassa, jotta voidaan varmistua tulosten paikkansapitävyydestä. Tarvittaessa napajännitteestä täytyy tehdä erillinen tarkastelu, jonka perusteella kaapelivalinnat tulee tehdä.

Napajännitteeseen vaikuttavien tekijöiden huomiointi

Napajännitteeseen vaikuttavat vikapiirin impedanssin lisäksi myös muiden piirien ja kuormien impedanssit sekä impedanssi, jonka kautta vikaantunut piiri on oikosulussa. Käytännössä näiden tekijöiden vaikutusta on työlästä tarkastella erikseen jokaisessa tapauksessa, jolloin mitoituksessa voidaan käyttää oikosulkuvirtaa alentavaa kerrointa.

Käytäntö on osoittanut hyväksi käyttää suojalaitteiden mitoituksessa 80 % oikosulkuvirrasta [16, s. 32]. Tällöin pystytään huomioimaan mahdollinen vikakohtan impedanssi ja oikosulkuvirran jakautuminen muihin piireihin. [37]

Napajännitteen pienentäminen

Oikosulkuilanteessa UPS:n kasvanut napajännite johtuu yleensä liian pitkistä kaapelointietäisyyksistä tai vastaavasti johtimien liian pienistä poikkipinta-aloista. Napajännitteen voidaan vaikuttaa vain pienentämällä piirin linjaimpedanssia, eli UPS:n koon kasvattaminen ei pienennä napajännitettä, vaan ainoaksi vaihtoehdoksi jää käytännössä kaapeloinnin etäisyyksien lyhentäminen tai poikkipinta-alan kasvattaminen. [37]

Esimerkiksi 40 kVA:n UPS pystyy syöttämään 130 A oikosulkuvirtaa, joka tarkoittaa yksivaiheisessa oikosulussa 113 voltin napajännitettä, kun käytetään 30 m:n matkalla 1,5 mm²:n kuparikaapelia. Napajännitteen saattamiseksi turvalliselle tasolle voidaan suositella käytettäväksi 6 mm²:n kuparikaapelia, jolloin napajännite olisi 26 voltia. UPS-keskuksen pääjohdon impedanssin vaikutus tulee myös huomioida napajännitteessä. Kaapelikokojen kasvaessa etäisyyksien pidentyessä tulisi UPS-jakelussa välttää pitkiä kaapelointietäisyyksiä.

6.3 Febdok-ohjelmisto

Febdok soveltuu pienjännitesähköasennusten mitoittamiseen ja dokumentointiin. Ensimmäinen versio ohjelmasta julkaistiin 1991. Ohjelmisto on kehitetty Norjassa. Ohjelmistoa myydään Suomen ja Norjan lisäksi Ruotsissa Tanskassa sekä Iso-Britanniassa. Suomessa ohjelmiston jälleenmyyjänä toimii Sähköinfo Oy. [40]

Febdok soveltuu käytettäväksi esimerkiksi asuin-, toimisto-, liike-, teollisuus ja sairaalarakennusten sähköasennusten laskentaan ja dokumentointiin [40]. Febdokin avulla voidaan tarkastaa asennuksen standardinmukaisuus. Febdokilla voidaan laskea myös generaattori-, muuntaja- sekä UPS-jakelut luotettavasti. [41]

Febdokin ominaisuuksilla voidaan esimerkiksi

- laskea oikosulku- ja vikavirrat
- tarkistaa asennuksen selektiivisyys
- laskea kosketusjännite
- laskea jännitteenalenema
- valita johtimet, virtakiskot ja suojalaitteet

- tarkistaa suojalaitteiden oikosulun katkaisukyky ja -aika
- tarkistaa backup-suojaus
- tuottaa urakoitsijalle, tarkastajalle ja sähkölaitteiston haltijalle tarvittavat dokumentit
- laskea UPS-verkko verkkosyöttö- ja akkusyöttötilanteessa
- laskea muuntajien ensiö- ja toisiopuolen suuret
- laskea generaattorijakelu. [41]

6.3.1 Laskentaperiaatteet

Febdokin laskentaperiaatteet perustuvat pitkälti voimassa oleviin määräyksiin ja standardeihin. Vika-, ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksen ehdot määräytyvät käytettävän mitoitusperustan mukaisesti. Mitoitusperustana käyttöön on saatavana esimerkiksi SFS 6000:2017 -standardi. [42]

Febdokin oikosulkuvirtalaskenta perustuu kansainväliseen standardiin IEC 60909, kun taas generaattorin oikosulkuominaisuuksien laskennan perustana on standardi IEC 61363. UPS-laitteiden ominaisuuksien määrittämiseen ei ole laskentastandardia, joten Febdok muodostaa UPS-laitetta määritettäessä lähtötietoina käytettävien lyhyen ja pitkän ajan oikosulkuarvojen perusteella UPS-laitteelle oikosulkukäyrän, jonka perusteella laskenta voidaan toteuttaa. [42]

Johtimien kuormitettavuuden Febdok määrittelee CLC/TR 50480:2011 -standardiin verrattavan selvityksen perusteella. Virtakiskojen kuormitettavuuden osalta ei ole laskentastandardia, joten virtakiskojen kuormitettavuus määräytyy valmistajan ilmoittaman arvon ja korjauskertoimen perusteella. [42]

6.3.2 Lähtötiedot

Riittävät lähtötiedot tarvitaan, kun tarkastellaan Febdokilla kiinteistön sähköverkon määräysten mukaisuutta. Tarvittavat lähtötiedot riippuvat verkon rakenteesta, sillä verkossa käytettävä maadoitusjärjestelmä ja verkkoa syöttävät laitteistot määrittelevät laskennan lähtötilanteen.

Pienjänniteliittymällä yleiseen jakeluverkkoon liitettävää verkkoa laskettaessa riittävät liittymässä mitatut tai sähkölaitokselta saadut oikosulkuvirta-arvot lähtötiedoiksi, jakeluverkon maadoitustavan ja nimellisarvojen lisäksi. Liityttäessä yleiseen sähköverkkoon suurjänniteliittymällä, tarvitaan lähtötietoina suurjännitepuolen oikosulkuarvot ja muuntajan arvokilven tiedot. Jakeluverkonhaltija on velvoitettu luovuttavamaan oikosulkuarvot suunnittelijalle.

Generaattori-, muuntaja- ja UPS-jakeluiden laskemiseen tarvitaan enemmän lähtötietoja liittyen verkkoa syöttävään laitteistoon. Nimellisarvojen lisäksi tarkempia lähtötietoja tarvitaan kuvaamaan laitteiston kykyä syöttää vikavirtaa vikatilanteessa, jolloin myös pysytään huomioimaan kolmivaiheisessa järjestelmässä mahdollisesti vian aiheuttama epäsymmetria.

Tarvittavat tiedot voidaan etsiä laitteiston dokumentaatiosta tai pyytää laitteiston toimittajalta tai valmistajalta. Lähtötietojen selvittämisessä voidaan käyttää apuna Febdokin kyselylomakkeita (liitteet 1 ja 2), joihin tarvittavat lähtötiedot ja hyödylliset lisätiedot voidaan kirjata ennen niiden siirtämistä Febdokiin.

Lähtötiedot generaattorijakelun laskentaan

Febdokin kyselylomake generaattorin laskentaan tarvittavista tiedoista on liitteenä 1. Generaattorin osalta tarvittavat lähtötiedot liittyvät generaattorin nimellisarvoihin, resistansseihin ja reaktansseihin, aikavakoihin sekä jännitteensäätimen arvoihin. Tarvittavat lähtötiedot liittyen generaattorin nimellisarvoihin ovat

- nimellisjännite U_n [V]
- mitoitus-teho S_n [kVA]
- mitoitus-teho P_n [kW]
- nimellistehokerroin $\cos \varphi$.

Tarvittavat lähtötiedot liittyen generaattorin resistansseihin ja reaktansseihin ovat

- staattoriresistanssi/vaihe R_a [ohm]
- alkureaktanssi X_d'' [%]
- muutosreaktanssi X_d' [%]
- tahtireaktanssi X_d [%]
- negatiivinen järjestelmäreaktanssi X_2 [%]

- nollajärjestelmän reaktanssi $X0$ [%].

Tarvittavat generaattorin aikavakiot ovat

- alkutilan aikavakio T'' [ms]
- muutostilan aikavakio T' [ms].

Tarvittavat lähtötiedot generaattorin jännitteensäätimestä ovat

- jatkuva oikosulkuvirta (xIn)
- käynnistysaika [s]
- aika jatkuvaan tilaan [s].

Kyselylomakkeelle voidaan kerätä tietoja generaattorin valmistajasta, tyyppimerkinnästä ja generaattorisuojan tyypistä. Kyselylomakkeelle voidaan myös täyttää tietojen ilmoittajan nimi ja päivämäärä. Lomakkeessa on myös tilaa hyödyllisille lisätiedoille.

Lähtötiedot UPS-jakelun laskentaan

Febdokin kyselylomake tarvittavista tiedoista 3-vaiheisen 400 voltin UPS-laitteen laskentaan on liitteenä 2. UPS-laitteen tarvittavat lähtötiedot liittyvät UPS:n tehoon, mitoitusjännitteeseen ja -virtaan, staattiseen kytkimeen, oikosulkuarvoihin ja maksimaaliseen termiseen ylikuormaan. UPS-laitteiston mitoitukseen liittyviä tietoja ovat

- UPS:n näennäisteho [kVA]
- nimellinen syöttöjännite [V]
- nimellinen lähtöjännite [V]
- syötön nimellisvirta/vaihe [A]
- ulostulon nimellisvirta/vaihe [A].

UPS-laitteen staattisesta kytkimestä tarvittavat lähtötiedot ovat

- tieto siitä, onko laitteessa staattinen kytkin
- tieto siitä, onko laitteessa sisäinen suojaus staattiselle kytkimelle
- suurin sallittu I^2t -arvo [A^2s]
- vikavirran kestoaika [ms]
- suurin sallittu I_k -huippuarvo [A].

UPS-laitteen oikosulkua koskevat tiedot on jaoteltu kyselylomakkeessa lyhyelle ja pitkälle ajalle annettuihin virran arvoihin, jotka UPS kykenee syöttämään vikatilanteessa. Esimerkiksi lyhyt aika on 0,05 sekuntia ja pitkä aika on 0,2 sekuntia, mutta jos ilmoitettuna on ainoastaan yksi virran arvo, lyhyt- ja pitkäaikainen virransyöttökyky asetetaan yhtä suuriksi. UPS-laitteen lähtötiedot liittyen oikosulkutilanteeseen ovat

- virta (lyhyt aika) [A]
- suurin aika (lyhyt aika) [s]
- virta (pitkä aika) [A]
- suurin aika (pitkä aika) [s].

Lisäksi laskennassa lähtötietona tarvitaan UPS-laitteen suurin terminen ylikuormitusvirta ampeereina. Suurinta termistä ylikuormaa voidaan pitää raja-arvona, jota pienemmällä ylikuormituksella UPS-laite toimii edelleen jännitelähteenä eikä syötä virtaa, kuten vikatilanteessa. Ylikuorman raja-arvoa suuremmilla arvoilla UPS-laitteen toiminta muuttuu jännitelähteestä virtalähteeksi, jolloin sen syöttämää virtaa käsitellään vikavirtana.

Kyselomakkeelle voidaan lisäksi kerätä tiedot UPS:n valmistajasta sekä tyyppimerkinnästä. Kyselylomakkeelle voidaan myös täyttää tietojen ilmoittajan nimi ja päivämäärä. Lomakkeessa on myös tilaa hyödyllisille lisätiedoille.

6.4 Esimerkkikohte ja -laskelmat

Esimerkkikohteeksi valittiin työn aihepiirin sopiva lääkintähuoltokiinteistö, josta yrityksellä oli riittävästi tietoa ja dokumentteja laskelman muodostamiseen. Kohteeseen tehdyt edelliset suunnitelmat ja mahdolliset tulevat toimeksiannot vaikuttivat myös kohteen valikoitumiseen insinööriyön esimerkkikohteeksi. Yksilöiviä nimi tai osoitetietoja ei nähty oleellisiksi esittää insinööriyössä.

Esimerkkikohteessa on laaja pääjakeluverkosto, joka jakautuu useaan rakennukseen. Osaan rakennuksista on tunneliyhteys, jossa myös kiinteistön pääjakelureitit kulkevat rakennusten pääkeskuksiin. Rakennuksissa on tarpeen mukaan yksi tai useampi pääkeskus ja erillinen pääkeskus varavoimaverkolle. Jakokeskukset ovat rakennuksissa myös erikseen normaali- (JKXX) ja varmennetulle verkolle (JKVVXX) sekä UPS-varmennetulle kuormalle (JKUPSXX).

Alueen liityntä yleiseen jakeluverkkoon muodostuu kahdesta muuntamosta ja useista muuntajista. Muuntamoiden välillä on mahdollista vaihtaa syöttösuuntaa ja siten myös syöttävää sähköasemaa, sillä niiden välille on rakennettu suurjännitekaapelointi, joka on normaalitilassa jännitteetön. Muuntamoiden syöttösuunnan vaihto tapahtuu ainoastaan jakeluverkkoyhtiön toimesta, jolloin tilanne, jossa muuntamo saisi syötön kahdelta sähköasemalta ei ole mahdollinen.

Kohteen kahdennettua varavoimaverkkoa voidaan syöttää kahdesta 150 kVA:n dieselgeneraattorista. Kohteen varmennettu verkko käsittää myös UPS-varmennettuja jakokeskuksia.

6.4.1 Rajaus esimerkkilaskelmaa varten

Insinööriyötä varten tehtävät esimerkkilaskelmat rajattiin koskemaan vain yhtä haaraa kiinteistön sähköverkosta. Kiinteistön sähköverkon laajuuden ja varmennetun verkon kahdennuksen aiheuttaman monimutkaisen rakenteen ansiosta koko verkon käsittely ei olisi mahdollista insinööriyössä.

Valittaessa verkosta rajattavaa haaraa huomioitiin haaran soveltuvuus työn aiheen tutkimiseen. Haara ei siis sisällä välttämättä sähköverkon vaikeinta tai helpointa pistettä. Rajatuksi haaraksi valikoitui haara, josta löytyy dieselgeneraattorilla ja UPS-laitteella varmennettu sähkönjakelu. Esimerkkilaskelmia varten rajatun haaran yksinkertaistettu jakelukaavio on esitetty liitteessä 3.

6.4.2 Esimerkkilaskelmat

Esimerkkilaskelmat tehtiin kohteesta rajatusta haarasta (liite 3). Laskelmat ja tarkastelut suoritettiin Febdok-ohjelmistolla. Febdok-laskelmien lisäksi työssä esitettiin esimerkki UPS:n napajännitteen laskemisesta oikosulun aikana.

Liitteessä 4 on esitetty laskennan tulokset kohteen nykyisestä verkosta. Kohteen nykyisistä varavoimakoneista tai UPS-laitteista ei ollut saatavilla laskentaan riittäviä lähtötietoja, joten laskelmissa päädyttiin käyttämään vastaavien laitteiden lähtötietoja. Liitteessä 4 on esitetty myös laskelmien tulokset, joiden perusteella määritettiin, kuinka ison UPS-laitteen verkko sellaisenaan tarvitsee.

6.4.3 Esimerkkilaskelmien tulokset

Esimerkkilaskelmien pohjalta mietityt muutostoimenpiteet on ajateltu suoritettavaksi saaneerausessa, jossa koko rakennuksen sähköjärjestelmää uusitaan. Tämä tarkoittaa, että varavoimakoneet ja myös edeltävä verkko voidaan mitoittaa tarvittaessa suuremmaksi. Laskennan tuloksien koonti on taulukossa 10.

Taulukko 10. Tulosten koonti.

Laskentatilanne	Normaalitilanne M2 (800 kVA)	Varavoimatilanne G1 (150 kVA)	UPS-tilanne UPS (10 kVA)	UPS-tilanne UPS (40 kVA)
JKUPS201, I_{k3pmax} [kA]	3,216	1,272	-	-
JKUPS201, I_{k1pmin} [kA]	1,130	0,484	0,043	0,130
JKUPS201, $I_{jflpmin}$ [kA]	0,975	0,426	0,043	0,130
Automaattinen poiskytkentä	OK	OK	OK	OK
Selektiivisyys	OK*	OK*	EI	OK*
Suurin johdonsuojakatk. (UPS)	-	-	B6	B25
Vastaava poiskytkentäaika [s]	-	-	0,019	0,021
*Nykyisellään suojaus ei ole täysin selektiivinen (kts. 6.4.3 Esimerkkilaskelman tulokset: "Normaalitilanne")				

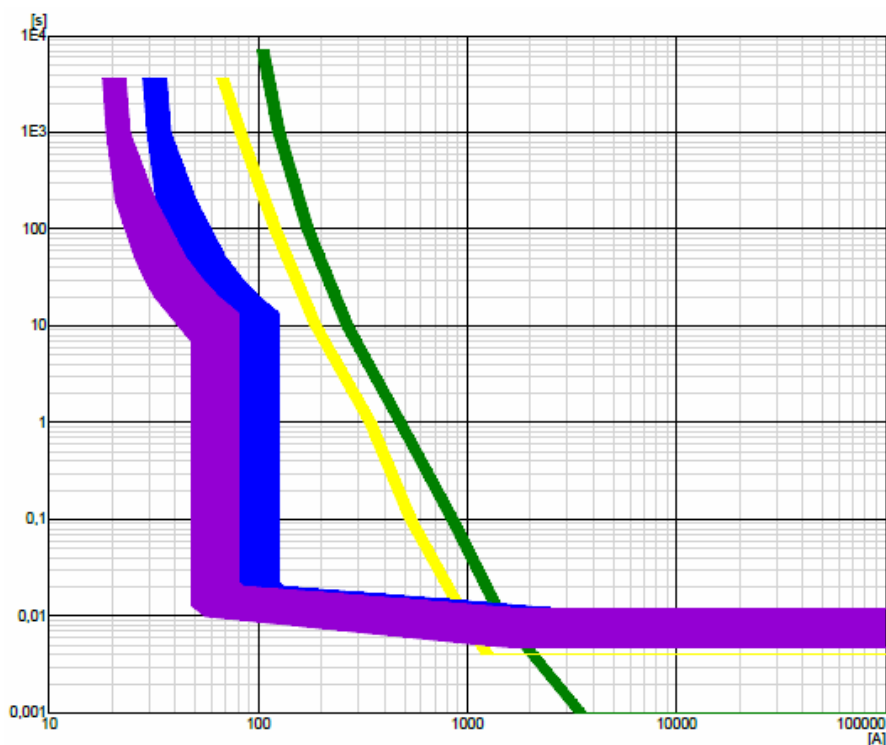
Normaalitilanne

Normaalitilanteessa, kun oikosulkuvirta syötetään yleisestä jakeluverkosta toteutuvat standardin määräämät automaattisen poiskytkennän laukaisujat. Normaalitilanteessa UPS:n jälkeisellä keskuksella JKUPS201 on käytävissä vähintään 0,975 kA oikosulkuvirtaa ($I_{jflpmin}$).

Tarkasteltaessa suojauksen selektiivisyyttä normaalitilanteessa voidaan katsoa pääjake-
kelun suojauksen olevan selektiivinen, jos suojalaitteet on aseteltu oikein. Ainoa epäselektiivinen tilanne jakelussa ilmenee, kun kaksi B-käyrän johdonsuojakatkaisijalla on sarjassa. Keskukselta JKUPS201 lähtevä syöttö kattokeskukselle on suojattu

B25-johdonsuojakatkaisijalla, mikä tarkoittaa, ettei selektiivisyyttä voida varmistaa katto-keskuksessa B-käyrän johdonsuojakatkaisijoiden kanssa. Piirin selektiivisyysanalyysi on esitetty kuvassa 17.

Suojaus selektiivinen toiminta varmistettaisiin esimerkiksi vaihtamalla B-laukaisukäyrän 25 A:n johdonsuojakatkaisija C-laukaisukäyrälliseksi. Syötettäessä oikosulkuvirta UPS:n akuista vaihtosuuntaajan kautta, voi tämä järjestely kuitenkin olla ongelmallinen.



Kuva 17. Selektiivisyysanalyysi kattokeskuksen B16-suojalla (violetti) varustetusta lähdöstä. Muut suojalaitteet ovat B25 (sininen), kahvasulake gG 50 A (keltainen) ja kahvasulake gG 80 A (vihreä).

Varavoimatilanne

Varavoimatilanteessa syöttö tapahtuu varavoimakoneelta. Kiinteistössä on kaksi 150 kVA:n dieselgeneraattoria. Varavoimatilanteessa molemmat dieselgeneraattorit voivat olla käytettävissä, mutta tarkasteltaessa suojausta tulee huomioida heikoin tilanne, jolloin oikosulkuvirtaa syöttää vain yksi generaattori.

Laskelmissa generaattori syöttää nimellisvirtaansa verrattuna 2,8-kertaista oikosulkuvirtaa 10 sekunnin ajan. Laskelmien perusteella varavoimatilanteessa keskuksella

JKUPS201 on käytettävissä vähintään 0,426 kA oikosulkuvirtaa ($I_{fflpmin}$). Varavoimatilanteessa generaattorin syöttämä oikosulkuvirta on riittävä täyttämään standardissa automaattiselle poiskytkennälle vaaditut laukaisuaajat. Tarkasteltu varavoimatilanne on siis määräystenmukainen.

Tarkasteltaessa suojauksen selektiivisyyttä varavoimatilanteessa voidaan katsoa pääjatkelyn suojauksen olevan selektiivinen, jos suojalaitteet on aseteltu oikein. Normaalitylanteessa esiintyvä kahden sarjassa olevan B-käyrällisen johdonsuojakatkaisijan luoma epäselektiivinen tilanne esiintyy luonnollisesti myös varavoimatilanteessa.

Varavoimaan liitettyyn verkkoon ei ole tarkastelun perusteella tarvetta tehdä erityisiä toimenpiteitä. Varavoimakoneiden ja erityisesti dieselmootoreiden vaihtotarve tulee huomioida suunniteltaessa tulevia toimenpiteitä.

UPS-tilanne

Edellä mainitusti normaalitilanteessa, kun ohitusta voidaan käyttää oikosulkuvirran syöttöön, UPS:n jälkeisellä keskuksella JKUPS201 on käytettävissä vähintään 0,426 kA oikosulkuvirtaa ($I_{fflpmin}$). Tilanne on kuitenkin hyvin erilainen, kun yleistä jakelu- tai varavoimaverkkoa ei ole käytettävissä, vaan oikosulkuvirta voidaan syöttää ainoastaan UPS:n akuista.

Puhtaassa UPS-tilanteessa haaran asennusta syöttää vain 10 kVA:n UPS-laite, joka pystyy syöttämään enintään 43 A:n oikosulkuvirran. UPS:n syöttämä oikosulkuvirta ei riitä laukaisemaan suojalaitteita standardissa määrättyssä ajassa, kuten liitteen 5 piirien virhelistasta voidaan todeta.

UPS-laitteen elektroninen suojaus sammuttaa UPS:n vaihtosuuntaajan alle 0,4 sekunnin aikana, mikä tarkoittaa standardin vaatiman poiskytkentäajan toteutumista. Tässä tapauksessa UPS sammuttaa itsensä syötettyään 50 ms oikosulkuvirtaa. Selektiivinen kyseinen suojaus ei tässä tapauksessa kuitenkaan ole, sillä UPS:n sammuttaessa itsensä katkeaa sähkönsyöttö koko UPS:n syöttämältä asennukselta, kunnes vika on selvitetty tai vikaantunut piiri erotettu.

UPS:n syöttämä oikosulkuvirta on siis nykyiselle verkolle liian heikko. Suojalaitteiden toimintaa ja selektiivisyyttä voitaisiin parantaa kasvattamalla UPS-laitteen kokoa. UPS-laitteen koon kasvattamiseksi riittää, kun 40 kVA valitaan kooksi. Liitteessä 4 on esitetty myös 40 kVA:n UPS:n lasketut oikosulkuvirrat, joka pystyy syöttämään oikosulkuvirtaa enintään 130 A. Kasvatettaessa UPS:n kokoa tulee huomioida vaikutukset edeltävään verkkoon.

UPS-tilanteessa suojaus toimisi yhtä selektiivisesti kuin normaalitilanteessa, jos UPS-laitteen kokoa kasvatetaan. Kattokeskusta syöttävää 25 A:n johdonsuojakatkaisijaa ei kuitenkaan voida ehdotetussa tilanteessa vaihtaa C-laukaisukäyrälliseksi, koska C-laukaisukäyrällä magneettinen laukaisu tarvitsee suuremman nimellisvirran monikerran toimiakseen. Tämä johtaisi UPS:n isoon ylityttöämiseen, joka puolestaan vaikuttaisi edeltävän verkon ylityttöämiseen. Vaihtoehtona olisi myös järjestää UPS-syötöt yksiportaisiksi, jolloin C25-suojaa ei tarvitse käyttää. Tarvittaessa kerroksen asennuksia voidaan syöttää useammalla UPS-laitteella.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli kerätä tietoa ja kehittää osaamista liittyen varmennettujen verkkojen määräyksiin, toimintaan, suojaukseen sekä käyttäytymiseen vikatilanteissa. Työssä tehtiin paljon kirjallista tutkimusta aiheesta, jonka pohjalta onnistuttiin työhön selkeyttämään määräyksiä ja kartoittamaan ongelmakohtia varmennetuissa verkoissa.

Tarkastelu insinööriyössä keskittyi varavoimajärjestelmien vaatimuksiin lääkintähuolto-kiinteistössä sekä varmennettujen verkkojen tehonlähteisiin. Insinööriyössä myös tarkasteltiin kiinteistön sähköverkon suojauksesta annettuja määräyksiä, ohjeita selektiivisyydestä sekä varmennetussa verkossa generaattorin ja UPS:n syöttämää oikosulkuvirtaa.

Laskelmat esimerkkikohteesta sisällytettiin insinööriyöhön, jotta työhön saataisiin myös käytännön pohjaa aiheen käsittelylle. Laskelmista saatiin odotettuja tuloksia, jotka tukevat insinööriyössä esitettyä tietoa.

Laskelmat tehtiin esimerkkikohteesta rajatusta haarasta, jonka perusteella pystyttiin tarkastelemaan varmennetun verkon suojauksen toimintaa oikosulkutilanteessa normaalilla verkkosyötöllä sekä generaattori- ja UPS-syötöillä. Normaalilla verkkosyötöllä ja generaattorisytöllä suojaus toimi määräysten mukaisesti sekä selektiivisesti. UPS-syötöllä suojalaitteet eivät kuitenkaan toimi ennen kuin UPS-laite sammuttaa itsensä. Standardin määräysten voidaan katsoa kuitenkin toteutuvan, mutta suojauksen selektiivisyydessä on suuri ongelmakohta. Tähän ongelmakohtaan insinööriyössä esitettiin ratkaisuksi laitekoon kasvattamista, jolloin suojalaitteet saadaan toimimaan riittävässä ajassa.

Kerättyä tietoa insinööriyöhön selvisi yleinen ongelma liittyen UPS:n napajännitteen kasvamiseen liian suureksi oikosulkutilanteessa. Kaapeloinnin impedanssin kasvaessa UPS:n napajännite oikosulussa voi kasvaa liian suureksi, mikä tarkoittaa mahdollisesti oikosulkuvirran pienentymistä vikapiirissä. Työssä ainoaksi ratkaisuksi tähän ongelmaan havaittiin kaapelikokojen kasvattaminen tai kaapelointietäisyyksien pienentäminen. Työssä käsiteltiin myös UPS:n napajännitteen laskemista oikosulkutilanteessa.

Insinööriyössä esitetyn teorian ja laskelmien perusteella voidaan esittää näkemys, jonka mukaan lääkintähuoltokiinteistöissä UPS-verkossa suojaus ei aina toimi selektiivisesti oikosulkutilanteessa, koska UPS-laitteen oikosulkuvirran syöttökyky on huomattavasti

yleistä jakeluverkkoa heikompi. Kaapeloinnin impedanssit voivat lisäksi vaikuttaa vikapiirissä kulkevaan oikosulkuvirtaan. Varavoimaverkossa on myös käytettävissä selkeästi vähemmän oikosulkuvirtaa kuin normaalissa verkossa, joten verkon suunnitteluun ja selektiiviseen toimintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Insinööriyölle asetetut tavoitteet saavutettiin ja lisäksi tuotiin esiin uutta tietoa liittyen UPS:n napajännitteen vaikutuksesta oikosulkuvirtaan. UPS:n napajännitteen vaikutusta vikapiiriin oikosulkuvirtaan ei ole toistaiseksi esitetty julkisissa lähteissä, joten oli erittäin tärkeää esittää aiheen teoriaa sekä sitä, kuinka napajännite voidaan laskea. Ilman insinööriyötä napajännitteen vaikutusta UPS:n syöttämään oikosulkuvirtaan ja siten myös kaapeloinnin mitoitukseen UPS-verkossa ei olisi käsitelty julkisissa lähteissä. Napajännitteen vaikutuksesta UPS:n toimintaan vikatilanteessa olisi tärkeää saada lisää tietoa.

Varmennettujen verkkojen suunnitteluun, mitoitukseen ja laitevalintoihin ei kiinnitetty tässä työssä paljoa huomiota, sillä työtä oli rajattava. Näihin aiheisiin olisi kuitenkin tärkeää perehtyä enemmän tulevaisuudessa. Tämä työ antaa joka tapauksessa varmennettujen verkkojen suunnitteluun, mitoitukseen ja laitevalintoihin paljon tärkeää tietoa ja perusteita.

Tämä insinööriyö on tärkeä tietolähde tulevaisuudessa syvennyttäessä ja palattaessa työssä käsiteltyjen aihealueiden pariin. Tätä insinööriyötä tullaan siis hyödyntämään tulevilla hankkeilla. Mahdollisesti tämän insinööriyön pohjalta on hyvä jatkaa aiheiden tutkimista myös tulevilla opinnoilla.

Lähteet

- 1 Hämäläinen, Kalevi. 2018. Toimitusjohtaja, Insinööritoimisto Stacon Oy, Helsinki. Keskustelu 26.1.2018.
- 2 Toimintatapamme. 2018. Verkkoaineisto. Insinööritoimisto Stacon Oy. <<http://www.stacon.fi/toimintatapamme/>>. Luettu 1.4.2018.
- 3 Laitinen, Jaana & Vainio, Suvi. 2009. Pitkä sähkökatko ja yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaaminen. Helsinki: Puolustusministeriö.
- 4 SFS 6000-7-710. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-710: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Lääkintätilat. 2017. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
- 5 SFS 6000-5-56. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-56: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Turvajärjestelmät. 2017. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
- 6 Ohje lääkintätilojen sähköasennuksiin. 2013. ST 51.78. Espoo: Sähkötieto ry. Sähköinfo Oy.
- 7 Smeds, Juuso. 2017. Varavoimakoneella varmistettu sähkönjakelu kiinteistöissä. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 8 Varavoimalaitokset. 2013. ST-käsikirja 31. Espoo: Sähkötieto ry. Sähköinfo Oy.
- 9 Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät. 2005. ST-käsikirja 20. Espoo: Sähkötieto ry. Sähköinfo Oy.
- 10 UPS-käsikirja. 2012. Verkkoaineisto. Eaton Power Quality Oy. <http://lit.powerware.com/ll_download.asp?file=UPS-kasikirja.pdf&ctry=79>. Luettu 19.2.2018.
- 11 Sinisalo, Lauri. 2015. Varmennettu sähkönjakelu ja suojaukset. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 12 UPS-laitteet ja -järjestelmät. 2010. ST 52.35.01. Espoo: Sähkötieto ry. Sähköinfo Oy.
- 13 Ruotsalainen, Matias. 2015. Katkeamaton varavoimajärjestelmä. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 14 UPS-laitteilla varmennetun sähkönjakelujärjestelmän suunnittelu ja toteutus. 2010. ST 52.35.02. Espoo: Sähkötieto ry. Sähköinfo Oy.

- 15 Nieminen, Jari. 2017. ABB Power Protection, UPS-tuotteet. Koulutusmateriaali. ABB Oy.
- 16 Källi, Sami. 2012. Varavoimajärjestelmän suunnitteluohje. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 17 SDMO V700C2. 2018. Verkkoaineisto. Machinery Oy. <<http://machinery.fi/fi/varavoima/volvo-dieselgeneraattorit-275-700-kva/sdmo-v700c2>>. Luettu 24.2.2018.
- 18 Uusi-Rajasalo, Harri. 2007. Dieselgeneraattorin vaatimustenmukaisuustarkastelu ja CE-merkintä. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 19 Venäläinen, Jani. 2018. Grid Integration Service, MCI, ABB Oy, Power Grids. Sähköpostikeskustelu 14.2.2018.
- 20 Kaderbhai, Munir. 2017. Understanding ISO 8528-1 Generator Set Ratings. Verkkoaineisto. Cummins Inc. <<https://power.cummins.com/system/files/literature/brochures/Understanding%20Generator%20Set%20Ratings%20White%20Paper%20-%20GLPT-6240-EN.pdf>>. Luettu 7.3.2018.
- 21 Aura, Lauri & Tonteri, Antti. 1986. Sähkämiehen käsikirja 2, Sähkökoneet. Porvoo: WSOY.
- 22 Heikkilä, Sami. 2007. Vierasmagnetoitu generaattori muuttuvakierroksisena käytönä. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 23 SFS 6000-1. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Perusperiaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät. 2017. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
- 24 Harsia, Pirkko. 2008. Ylivirtasuojaus. Verkkoaineisto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210594480264/1210594928673/1210594967992.html>>. 4.11.2009. Luettu 24.2.2018.
- 25 Heiskanen, Juha. 2013. Varmennetun verkon selvitys teollisuuslaitoksessa. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 26 SFS 6000-4-43. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-43: Suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus. 2017. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
- 27 Ohjeita kiinteistöjen enintään 1000 V johtojen mitoituksesta ja suojauksesta. 2017. ST 53.24. Espoo: Sähkötieto ry. Sähköinfo Oy.
- 28 Sulakkeeton suojaus. 2015. ST 53.45. Espoo: Sähkötieto ry. Sähköinfo Oy.

- 29 Oksanen, Ville. 2014. Maadoitusjärjestelmien vertailu rakennusten pienjännitejaka-
kelussa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 30 SFS 6000-4-41. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-41: Suojausmenetelmät.
Suojaus sähköiskulta 2017. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
- 31 D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 2017. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 32 Leppäkangas, Jukka. 2005. Kosketusjännitesuojaus UPS- ja varavoimaver-
koissa. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 33 Harsia, Pirkko. 2008. Automaattinen poiskytkentä. Verkkoaineisto.
<[http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-
sot/0705016/1204792797383/1210594480264/1211448434632/1211448455128.
html](http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-
sot/0705016/1204792797383/1210594480264/1211448434632/1211448455128.
html)>. 10.12.2009. Luettu 24.2.2018.
- 34 SFS 6000-4-44. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-44: Suojausmenetelmät.
Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä. 2017. Helsinki: Suomen
Standardoimisliitto SFS ry.
- 35 Löppönen, Antti. 2011. Varmennetun verkon selvitystyö. Insinööriyö. Metropolia
Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 36 Kiinteistön sähköverkon suojauksen selektiivisyys. 2017. ST 53.13. Espoo: Säh-
kötieto ry. Sähköinfo Oy.
- 37 Nieminen, Jari. 2018. Product Manager, Power Protection (UPS), ABB Oy, Van-
taa. Puhelinkeskustelu 28.3.2018.
- 38 Siirrettävän, pienjännitteisen moottorigeneraattorin liittäminen sähkölaitteistoon.
2012. ST 52.40. Espoo: Sähkötieto ry. Sähköinfo Oy.
- 39 Ylinen, Marko. 2010. UPS suunnittelu ja mitoitus UPS-laskentaohjelma. Opinnäy-
tetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 40 Febdok. 2018. Verkkoaineisto. Nelfo. <[https://nelfo.no/Verktoy/Dataverk-
toyProgramvare/FEBDOK/Febdok-FIN/](https://nelfo.no/Verktoy/Dataverk-
toyProgramvare/FEBDOK/Febdok-FIN/)>. Luettu 2.3.2018.
- 41 Febdok. 2018. Verkkoaineisto. Sähköinfo Oy. <[http://kauppa.sahkoinfo.fi/pro-
duct/group/63](http://kauppa.sahkoinfo.fi/pro-
duct/group/63)>. Luettu 2.3.2018.
- 42 Orrberg, Matti. 2018. Tekninen asiantuntija, Sähköinfo Oy. Sähköpostikeskustelu
16.2.2018.

FEBDOK

Tiedot generaattoriin liitettyjen laitteistojen laskentaan

Generaattori	
Valmistaja	
Tyyppimerkintä	
Generaattorisuoja, tyyppi	

Nimellisarvot	
Nimellisjännite, Un	[V]
Mitoitusteho, Sn	[kVA]
Mitoitusteho, Pn	[kW]
Nimellis cos phi	


Resistanssit ja reaktanssit	
Staattoriresistanssi/vaihe, Ra	[ohm]
Alkureaktanssi, Xd"	[p.u]
Muutosreaktanssi, Xd'	[p.u]
Tahtireaktanssi, Xd	[p.u]
Negatiivinen järjestelmäreaktanssi, X2	[p.u]
Nollajärjestelmän reaktanssi, X0	[p.u]

Aikavakiot	
Alkutilan aikavakio, T"	[ms]
Muutostilan aikavakio, T'	[ms]

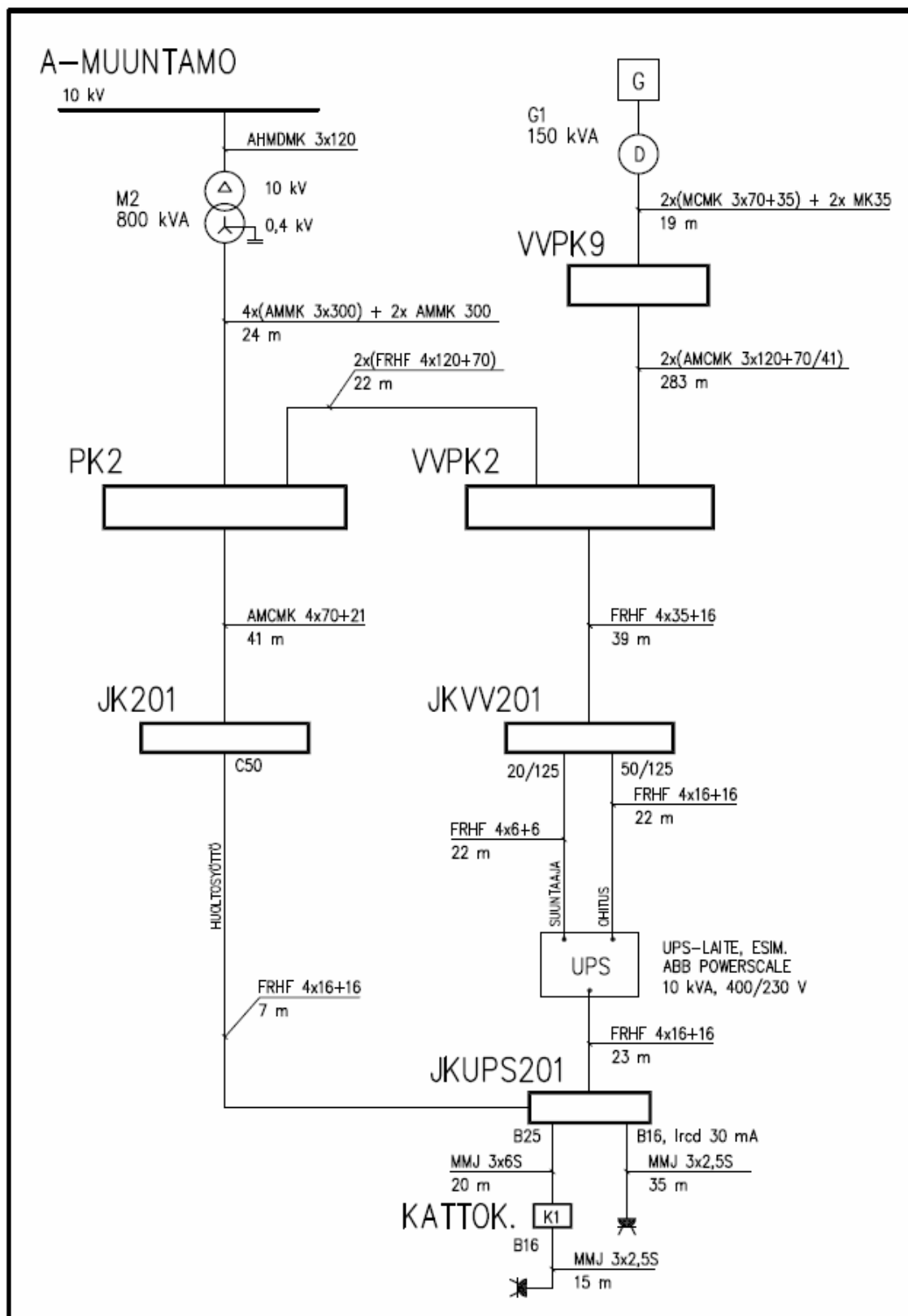
Jännitteensäädin	
Jatkuva oikosulkuvirta	[x In]
Käynnistysaika	[s]
Aika jatkuvaan tilaan	[s]

Tekniset tiedot ilmoitettu	
Pvm:	
Nimi:	

Asennuksen osoite:	Asennus: ESIMERKKI	Pvm: 8.3.2018 16:38:24
Insiinööritoimisto Stacon Oy	Generaattorin häviöt	SFS 6000:2017 400 V TN-S
Fukinmäenaukio 2, 6.krs 00720 Helsinki Puh: 097206660	febdok 6.0.92 11.1.2018	Sivu: 1 (3) / 1


FEBDOK		
Tiedot 3 vaiheisen 400 V UPSin laskentaan		
Selitys UPS-kyselykaavakkeelle		
UPS		
Valmistaja		Valmistajan nimi
Tyyppimerkintä		Tyyppimerkintä
UPSin teho		Näennäisteho [kVA]
Mitoitusjännite		
Syöttö		Nimellinen syöttöjännite
Ulostulo		Nimellinen lähtöjännite
Mitoitusvirta		
Syöttö		Ilmoitettu nimellisvirta/vaihe
Lähtö		Ilmoitettu nimellisvirta/vaihe
Staattinen kytkin		
Kyllä/Ei/sisäinen suojaus		Onko UPSissa staattista kytkintä ja onko UPSissa omat suojalaitteet tälle
<i>Jos ei ole sisäistä suojausta, määritä staattiselle kytkimelle vähintään 2 arvoa näistä kolmesta</i>		
Suurin sallittu I _T		Suurin sallittu läpivirtaenergia (A2s) kun staattinen kytkin on normaalisa käyttölämpötilassaan
Suurin sallittu Ik (huippu)		Ilmoitettu ampeereissa
Aika		Vikavirran kestoaika millisekunneissa
Oikosulkusuojaus - Lyhyt aika		
Virta		Suurin virta, jonka UPS voi syöttää vikatilanteessa tehollisarvo, lyhyt aika (esim. 0,05 s)
Suurin aika		Virran kestoaika sekunneissa
Oikosulkusuojaus - Pitkä aika		
Virta		Suurin virta, jonka UPS voi syöttää vikatilanteessa tehollisarvo, pitkä aika (esim. 0,2 s)
Suurin aika		Virran kestoaika sekunneissa
<i>Jos on annettu ainoastaan aika virralle, lyhytaikainen ja pitkäaikainen virransyöttökyky asetetaan samaksi</i>		
Maks terminen ylikuorma (A)		
Virta		Ilmoitettu ampeereissa
Suurin ylikuorma on raja-arvo. Tätä pienemmillä ylikuormituksilla UPS toimii jännitelähteenä eikä syötä samaa virtaa kuin vikatilanteessa. Suurinta ylikuormitusvirtaa suuremmilla arvoilla UPS toimii virtalähteenä ja virtaa käsitellään kuten vikavirtaa		
Asennuksen osoite:		Asennus: Pvm: 8.3.2018 18:38:24
		ESIMERKKI
Insinööritoimisto Stacon Oy		DFG 6000:2017
Pukimäenaukio 2, 6.krs		400 V TN-S
00720 Helsinki		Sivu 2 (2)
Puh: 097205650		/ 2
		6.0.92 11.1.2018

Jakelukaavio




Jakokeskukset, oikosulkuvirrat

Jakokeskustunnus	I _{k3pmax}		I _{k3pmin}		I _{k2pmax}		I _{k2pmin}		I _{k1pmax}		I _{k1pmin}		I _{fpmax}		I _{fpmin}		Zs [ohm]	Max i [kA]
	I _k [kA]	cos phi	I _k [kA]	cos phi	I _k [kA]	cos phi	I _k [kA]	cos phi	I _k [kA]	cos phi	I _k [kA]	cos phi	I _k [kA]	cos phi	I _k [kA]	cos phi		
JK201	9,302	0,82	6,698	0,86	8,056	0,82	5,801	0,86	5,266	0,91	3,693	0,94	3,803	0,95	2,643	0,96	0,0786	13,599
JKUPS201	3,216	0,97	0,043	1,00	2,785	0,97	0,043	1,00	1,643	0,98	0,043	1,00	1,418	0,99	0,043	1,00	0,2132	4,639
JKUPS201 40 KVA	4,185	0,94	0,130	1,00	3,624	0,94	0,130	1,00	2,167	0,97	0,130	1,00	1,794	0,98	0,130	1,00	0,1681	6,038
JKUPS201 HUOLTO	7,351	0,88	5,210	0,91	6,366	0,88	4,512	0,91	3,987	0,94	2,772	0,96	3,074	0,96	2,128	0,97	0,0977	10,644
JKUPS201 OHITUS	3,216	0,97	2,226	0,98	2,785	0,97	1,927	0,98	1,643	0,98	1,130	0,99	1,418	0,99	0,975	0,99	0,2132	4,639
JKVV201	8,744	0,85	6,265	0,88	7,573	0,85	5,426	0,88	4,864	0,93	3,404	0,95	3,351	0,96	2,322	0,97	0,0895	12,715
KATTOK.									0,917	0,99	0,043	1,00	0,842	0,99	0,043	1,00	0,3601	1,323
KATTOK. 40 KVA									0,986	0,99	0,130	1,00	0,900	0,99	0,130	1,00	0,3368	1,422
KATTOK. HUOLTO									1,373	0,99	0,942	0,99	1,242	0,99	0,852	0,99	0,2439	1,981
KATTOK. OHITUS									0,917	0,99	0,629	1,00	0,842	0,99	0,577	1,00	0,3601	1,323
PK2	23,281	0,23	18,359	0,24	20,162	0,23	15,900	0,24	23,042	0,28	18,285	0,30	22,697	0,27	18,022	0,30	0,0115	49,514
VV4PK	20,518	0,34	16,091	0,37	17,769	0,34	13,935	0,37	17,368	0,53	13,379	0,58	17,193	0,52	13,257	0,57	0,0157	39,279

Insinööri toimisto Stacon Oy Pukimäenäukio 2, 6.krs 00720 Helsinki Puh: 097206660	Asennuksen osoite: ESIMERKKIKOHTIEN LASKELMAT Pvm: 7.5.2018 16:32:16
Asiakas, omistaja: Jakokeskukset, oikosulkuvirrat	SFS 6000:2017 400 V TN-C-S
 Vs. 8.0.82 Pvm. 11.1.2018	Sivut 1 / 1

Piirien virhelista

Jakokeskus : JKUPS201 Piiri nro. : K-1 ** Suojalaite ei kytke vikaa pois ennenkuin UPS kytkeytyy pois päältä kun käytetään UPS-akustoa.	
Jakokeskus : JKUPS201 Piiri nro. : K-2 ** Suojalaite ei kytke vikaa pois ennenkuin UPS kytkeytyy pois päältä kun käytetään UPS-akustoa.	
Jakokeskus : JKUPS201 Piiri nro. : K-4 ** Suojalaite ei kytke vikaa pois ennenkuin UPS kytkeytyy pois päältä kun käytetään UPS-akustoa.	
Jakokeskus : KATTOK. Piiri nro. : K-1 ** Suojalaite ei kytke vikaa pois ennenkuin UPS kytkeytyy pois päältä kun käytetään UPS-akustoa.	
<p>-merkityt viestit ilmaisevat olosuhteista jotka poikkeavat määräyksistä ja normeista.</p> <p>Viestit huomannut, ** osoittaa, että valittu ratkaisu on annen Enn normaalisti käytetty tai ei, on tarkoite.</p>	
Asennuksen osoite:	Asennus: Pvm: 7.6.2018 18:52:56 ESIMERKKIKOHTEEN LASKELMAT
Insinööritoimisto Stacon Oy Pukimäenseläntie 2, 6.krs 00720 Helsinki Puh: 097206660	Piirien virhelista 
	SFS 6000:2017 400 V TN-C-S Sivua 1 / 1

Jakokeskukset, oikosulkuvirrat

Jakokeskustunnus	I _{k3pmax}		I _{k3pmin}		I _{k2pmax}		I _{k2pmin}		I _{k1pmax}		I _{k1pmin}		I _{fpmax}		I _{fpmin}		Zs [ohm]	Max i [kA]
	I _k [kA]	cos phi	I _k [kA]	cos phi	I _k [kA]	cos phi	I _k [kA]	cos phi	I _k [kA]	cos phi	I _k [kA]	cos phi	I _k [kA]	cos phi	I _k [kA]	cos phi		
JKUPS201 GENER. OHI	1,272	0,76	0,660	0,66	1,150	0,79	0,609	0,70	0,827	0,89	0,484	0,83	0,706	0,91	0,426	0,86	0,4882	1,890
JKVV201 GENER. OHI	1,668	0,58	0,781	0,49	1,554	0,62	0,740	0,54	1,298	0,75	0,678	0,67	1,047	0,83	0,582	0,76	0,3571	2,685
KATTOK. GENER. OHI	1,013	0,85	0,563	0,76	0,902	0,87	0,511	0,80	0,602	0,94	0,372	0,90	0,533	0,95	0,334	0,92	0,6219	1,473
VVPK2 GENER. OHI	1,838	0,49	0,826	0,42	1,736	0,53	0,791	0,47	1,567	0,65	0,768	0,57	1,364	0,73	0,702	0,65	0,2963	3,130
VVPK9	2,275	0,28	0,930	0,28	2,223	0,32	0,909	0,32	2,435	0,33	0,994	0,33	2,435	0,33	0,994	0,33	0,2091	4,712

Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy
Talotekniikka

Asennuksen osoite:

Asiakas, omistajat:

Puh:

Asennus:
ESIMERKKIKOITTEEN LASKELMAT, GENERAATTORI

Pvm: 26.4.2018 13.32.40

SFS 6000:2012
400 V TN-C-S

Jakokeskukset, oikosulkuvirrat
Vs. 8.0.52
Pvm. 4.4.2017

Febdok
Siv 1 / 1