

UPS-järjestelmän selektiivisyyden tarkastelu

Ilari Laurikainen

Opinnäytetyö
Lokakuu 2020
Tekniikan ala
Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka

Tekijä(t) Laurikainen, Ilari	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 10/2020
	Sivumäärä 54	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi UPS-järjestelmän selektiivisyyden tarkastelu		
Tutkinto-ohjelma Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Pasi Puttonen		
Toimeksiantaja(t) Are Oy		
Tiivistelmä <p>Tavoitteena oli tarkastella vuonna 2018 Are Oy:n asentaman Riello MST 40 UPS- laitteen ja siihen liitetyn varmennetun jakelujärjestelmän vikasuojauksen selektiivisyyttä. Työssä tuli perehtyä ja etsiä tietoa sähköjärjestelmien lainsäädännöstä, standardeista, mitoituksista, rakenteesta, vikasuojauksesta ja selektiivisyydestä. Tavoitteena oli, että valmista työtä lukiessa lukija ymmärtää, kuinka staattisen varavoimajärjestelmän suojaus eroaa normaalista pienjänniteverkon suojauksesta.</p> <p>Kohteen esitietojen selvittämiseen sisältyi katselmus kohteessa, josta sai paljon hyödyllistä tietoa järjestelmän toteutuksesta. Työn toteutustapa pohjautui pääasiassa standardien, suunnitteludokumenttien, sähköalan artikkeleiden sekä kirjallisuuden pohjalta materiaalin tuottamiseen. Suunnitteludokumentteihin sisältyivät laskentaohjelman dokumentit, joiden pohjalta verkon selektiivisyyden mallintaminen tapahtui.</p> <p>Sähkönjakelun tarkastelussa muodostui selkeästi kaksi erikseen tarkasteltavaa tilannetta. Toinen tarkasteltava tilanne oli normaali käyttötilanne, jossa UPS-laitetta syötetään sähköverkosta ja toinen tilanne, kun UPS-järjestelmän vaihtosuuntaaja saa jännitteen järjestelmään liitetystä akuista. Molemmissa tilanteissa huomio kiinnitettiin järjestelmän vikasuojaukseen ja sen selektiivisyyteen. Tuloksena syntyi kumpaakin tilannetta kuvaavat tarkastelut.</p> <p>Lopputuloksista voidaan päätellä, että järjestelmän vikasuojauksen mitoituksessa tulee tarkastella tilannetta, jossa laitteisto tuottaa kaikista vähiten oikosulkuvirtaa. Varmennusta vaativissa käyttökohteissa on erityisen tärkeää, että vikapaikkaa lähin suojalaite toimii, eikä vika pääse aiheuttamaan häiriötä muussa sähköjakelussa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) UPS-järjestelmä, selektiivisyys, vikasuojaus, staattinen varavoimajärjestelmä		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Laurikainen, Ilari	Type of publication Bachelor's thesis	Date 10/2020 Language of publication: Finnish
	Number of pages 54	Permission for web publication: x
Title of publication Selectivity examination of UPS-system		
Degree programme Automation Engineering		
Supervisor(s) Pasi Puttonen		
Assigned by Are Oy		
Abstract <p>The goal of this paper was to examine the selectivity of the Riello MST 40 UPS machine installed by Are Inc. in 2018 and in particular the selectivity of its distribution system's fault protection device attached to it. The research this subject meant getting acquainted with the legislation, standards, dimensioning, structure, fault protection and selectivity of electric systems. By reading this work one will understand the protection in a static stand-by supply system differs from the one in a normal low voltage power supply.</p> <p>Gathering the preliminary information of the subject included an inspection, which gave a lot of useful knowledge on the implementation of the system. The method of this work was mainly to provide materials based on standards, engineering documents, articles and other literature in electrical engineering. Engineering documents included documents of the calculation program, which was basis for modelling the selectivity of the power supply.</p> <p>When examining the distribution of power, two separate scenarios can be observed. The first situation is the normal usage where UPS machine is supplied by electrical network and the second situation is where the transformer of the UPS machine gets voltage from the batteries attached to the system. In both scenarios attention was payed to the fault protection of the system and its selectivity. As the result we have examinations of both scenarios.</p> <p>The conclusion is that when dimensioning the fault protection, one should examine the situation where the machinery provides the least short-circuit current. When usage requires a verification, it is especially important that the protection device nearest to the defect is properly functioning, so that the defect cannot cause damage to the rest of the power distribution.</p>		
Keywords/tags (subjects) Uninterruptible power supply, selectivity, fault protection,		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Opinnäytetyön tausta, tavoite ja aiheen rajaus	4
1.2	Are Oy	5
2	Rakennusten sähköjärjestelmät ja niiden mitoittaminen.....	6
2.1	Rakennusten sähköjärjestelmien tehon määrittäminen	6
2.2	Sähkölaitteiston turvallisuusvaatimukset	6
2.3	Kaapeleiden mitoittaminen.....	8
2.4	Ylikuormitus ja oikosulkusuojaus	13
2.5	Vikasuojaus.....	15
2.6	Selektiivisyys.....	17
3	Katkeamattomat sähkönsyöttöjärjestelmät	22
3.1	Stand-by operation-UPS-laitteet	23
3.2	Line interactive operation-UPS-laitteet	23
3.3	On-line UPS-laitteet.....	24
3.4	Sähköverkossa esiintyvät harmoniset yliaallot	25
3.5	Redundanttiset UPS-järjestelmät.....	29
3.6	Akustot	30
4	Katkeamattoman sähkönsyöttöjärjestelmän selektiivisyyden tarkastelu	31
4.1	Selektiivisyyden tarkastelu verkko käyttötilanteessa	32
4.2	Selektiivisyyden tarkastelu akkukäyttötilanteessa.....	33
4.3	Laitteiston mitoituksen tarkastelu	37
5	Johtopäätökset.....	38
6	Pohdinta.....	40
	Lähteet	42
	Liitteet	44
	Liite 1. Tarkasteltavan kohteen nousujohtokaavio	44
	Liite 2. Riello MST 40 datalehti	46

	2
Liite 3. NK-UPS keskuksen pääkaavio	47
Liite 4. Ryhmäkeskuksen 2.1 UPS-jakelun pääkaavio	49
Liite 5. MMJ 5x10S kaapelin datalehti	51
Liite 6. MMJ 3x2,5S kaapelin datalehti	53

Kuviot

Kuvio 1. Vikasuojausmenetelmät	16
Kuvio 2. Suojalaitteiden välinen koordinaatisto	19
Kuvio 3. Stand-by-UPS-laitteen toimintaperiaate	23
Kuvio 4. Line interactive-UPS-laitteen toimintaperiaate	24
Kuvio 5. Kahden muunnoksen UPS-laitteen toimintaperiaate	25
Kuvio 6. 6-pulssinen tyristorisuuntaaja	26
Kuvio 7. Kokonaisvirran vääristyminen	27
Kuvio 8. 6-Pulssinen dioditasuuntaaja ja jännitteen nostaja	27
Kuvio 9. 12-pulssinen tyristoritasasuuntaaja	28
Kuvio 10. Rinnankäyvän redundanttisen järjestelmän periaate	30
Kuvio 11. 20A johdonsuoja-automaattien laukaisukäyrät	36
Kuvio 12. 6A johdonsuoja-automaattien laukaisukäyrät	37

Taulukot

Taulukko 1. Eristetyyppien suurimmat sallitut käyttölämpötilat	8
Taulukko 2. Korjauskertoimet ympäröivän maan muulle kuin standardilämpötilalle	9
Taulukko 3. Referenssiasennustavat	9
Taulukko 4. Johtojen pienimmät kuormitettavuudet käytettäessä gG-sulakkeita ylikuormitus suojaukseen	14
Taulukko 5. Standardin suurimmat sallitut syötön poiskytkentäajat	16
Taulukko 6. Standardissa IEC 60909-0 määriellyt korjaus kertoimet	21

Taulukko 7. 6-pulssisen tyristoritasasuuntaajan tuottamien yliaaltovirtojen osuudet perustaajuisesta virrasta	27
Taulukko 8. Särökertoimien laatuluokat	28
Taulukko 9. Pääkeskusta edeltävän sähköverkon tiedot	31
Taulukko 10. Jakokeskuksien oikosulkuvirtojen laskennan tulokset	32

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta, tavoite ja aiheen raja

Yhä useammassa kiinteistön sähkönsyöttöjärjestelmässä on nykyään katkeamattoman sähkönsyötön osa. Näiden järjestelmien mitoittaminen ja suojauksen toiminnan suunnittelu ovat järjestelmän toiminnan kannalta hyvin ratkaisevassa asemassa. Vian aiheuttama suojauksen erheellinen toiminta voi aiheuttaa käyttäjän tuotannolle suuria menetyksiä. Siksi on tärkeää, että järjestelmän selektiivisyys on kunnossa ja lähinnä vikapaikkaa oleva suojalaite toimii suunnitelman mukaisesti. Näin varmistetaan muun varmennetun sähkönjakelujärjestelmän normaali toiminta vian sattuessa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella erään vuonna 2018 asennetun UPS-järjestelmän selektiivisyyttä. Tarkastelun kohteena on toimistorakennus, jossa on varmennettu työasemien keskusyksiköitä, palvelimia ja lähiverkon komponentteja. Varmennetun sähkön jakelu koostuu UPS-laitteesta sekä viidestä ryhmäkeskuksessa olevasta varmennetun verkon osasta. Varmennetun verkon selektiivisyyttä tarkastellaan normaalissa käyttötilanteessa ja varasyöttötilanteessa. Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja, Are Oy, on toimittanut kohteen UPS-laitteen ja suorittanut laitteen käyttöönoton.

Tarkasteltaessa järjestelmän selektiivisyyttä, ovat käytössä olleet muun järjestelmän mitoituksessa käytetyt Febdok laskentaohjelman tulokset, ohjelmaan mallinnettu nousujohtokaavio sekä nousu- ja ryhmäkeskuksien pääkaaviot sekä laitevalmistajan tekniset tiedot. Näillä tiedoilla pystytään suorittamaan selektiivisyyden tarkastelu ja laskemalla saamaan riittävät tiedot järjestelmän suojauksen toiminnasta.

Työssä tarkastellaan staattisia sähkönsyöttöjärjestelmiä, niiden rakennetta ja sähköiseen suojaukseen liittyviä tekijöitä. On olemassa myös dynaamisia varavoimalaitteita, mutta niiden tarkastelu on rajattu tämän työn ulkopuolelle.

1.2 Are Oy

Alfred Onninen perusti vuonna 1913 Turkuun putkiasennusliikkeen, jonka toiminimi oli A. Onninen. Yrityksen toiminnan painopiste siirrettiin vuonna 1927 Turusta Helsinkiin ja samalla perustettiin Vesijohtoliike Onninen. Yritys aloitti tukkukaupan 1920-luvulla ja sotien jälkeen toimintaa alettiin laajentaa valtakunnalliseksi. 1950- ja 1960-luvuilla yrityksen liiketoimintaan lisättiin kunnallistekniikka ja aloitettiin liiketoiminta ilmanvaihtojen asennuksien parissa. Toiminta laajentui 1970-luvulla sähköalalle, teollisuuteen ja kansainväliseen vientiin.

1990-luvulla yritysjärjestelyissä Are Oy siirtyi osaksi Onnista ja 90-luvun lopulla muodostettiin Onvest-konserni, jossa eriytettiin tukkukauppa ja asennus- sekä huoltoliiketoiminta toisistaan. 2000-luvulla Are Oy:n toimintaa laajennettiin talotekniikkaurakoinnista ja huoltotoiminnasta kattamaan kiinteistöjen kokonaisvaltaiset ylläpito ja korjausrakentamispalvelut. Vuonna 2014 Are Oy osti Lemminkäisen talotekniikkaliiketoiminnan ja kasvoi näin sen myötä liikevaihdollisesti suurimmaksi talotekniikan toimijaksi Suomessa, henkilöstömäärän ollessa yli 2800.

Nykyään Are Oy kuuluu Conficap-konserniin ja yrityksessä työskentelee noin 3200 työntekijää Suomessa, Ruotsissa ja Venäjällä. Vuonna 2019 liikevaihto oli 491 miljoonaa euroa, josta 53 % koostui huollon ja ylläpidon liiketoiminnasta ja 46% talotekniikkaurakoinnista. Are Oy:llä on DNV:n sertifioima ISO 9001- laatujärjestelmä, jonka tavoitteena on yrityksen toiminnan jatkuva parantaminen ja asiakastyytyväisyyden lisääminen. Lisäksi Are Oy:llä on käytössä ISO 14001 ympäristöjärjestelmä. Tämä maailman tunnetuin ympäristöjärjestelmämalli on osoitus ympäristöasioiden hyvästä hoidosta ja jatkuvasta kehityksestä.

Are Oy panostaa toiminnassaan positiiviseen työympäristöön, joka kannustaa henkilöstöä yrittämään joka päivä parhaansa, mikä puolestaan takaa asiakkaille jatkuvasti hyvän työnlaadun. Are Oy:n arvot ovat: Olemme asiakkaita varten, Teemme työtä yhdessä, Olemme ammattilaisia ja Teemme tulosta.

2 Rakennusten sähköjärjestelmät ja niiden mitoittaminen

2.1 Rakennusten sähköjärjestelmien tehon määrittäminen

Rakennusten sähköjärjestelmien tarve ja teho tulee mitoittaa oikein. Järjestelmän ylimitoittaminen aiheuttaa ylimääräisiä kuluja rakennusvaiheessa sekä nostaa myöhemmin käyttökustannuksia, kun taas alimitoitettu järjestelmä voi rajoittaa rakennuksen käyttöä. (Finni, Hietaniemi, Karppinen & Eckert, 2020, 1)

Rakennuksen sähköverkon ja -liittymän mitoittamisessa on pyrittävä selvittämään todellinen huipputeho, jotta verkon ja liittymän yli- tai alimitoitamiselta vältytään. Asuinrakennusten huipputeho voidaan laskea lineaarisilla laskentamalleilla tai käyttäen laskennassa apuna muita saman tyyppisten kohteiden mittaustietoja. Asuinrakennusten sähköhuipputehon laskennassa käytetään apuna rakennuksen kerrosalaa. Asuinrakennuksen sähköjärjestelmän peruskuorma kasvaa lineaarisesti huoneiston pinta-alan mukaan. (Mts, 4-5)

Mitoitettaessa toimitila- ja tuotantorakennuksia, huipputehon arviointi poikkeaa asuinrakennusten mitoittamisesta. Sähköjärjestelmän huipputeho poikkeaa suuresti asennettavan laitekannan, ohjaustavan sekä käyttötarkoituksen mukaan. Siksi yleisesti ei voida käyttää lineaarista neliöllistä mitoitusperiaatetta toimitila- ja tuotantorakennusten osalta. Näiden rakennuksien erityispiirteet tulee ottaa huomioon mitoituksessa. Esimerkiksi koulu- ja toimistorakennuksissa suurimman peruskuorman tuottajia ovat valaistus ja LVI-laitteet, kun tuotannollisissa rakennuksissa suurimman peruskuorman muodostavat tuotannossa käytettävät laitteet. (Mts, 7)

2.2 Sähkölaitteiston turvallisuusvaatimukset

Kun sähkölaitteiston perus- ja huipputeho on selvitetty, tulee suunnittelun peruslähdekohtana olla sähköturvallisuuslaissa asetetut vaatimukset.

Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että: 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa; 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä; 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti. (Säköturvallisuu laki 1135/2016, 6§)

Sähkölaitteiston suojauksen mitoituksessa käytetään viranomaisen määrittelemiä standardeja. Suomessa sähköturvallisuutta valvova viranomainen on Turvallisuus ja kemikaalivirasto Tukes. Virasto pitää yllä luetteloa Suomessa noudatettavista standardeista. (Sähköalan säännökset, 2020, 1)

Säköturvallisuusviranomainen julkaisee luettelon niistä standardeista, joita noudattaen sähkölaitteiston katsotaan täyttävän tämän lain vaatimukset. Jos standardeja ei tietyn sähkölaitteiston osalta ole laadittu, voidaan soveltaa standardeihin verrattavia julkaisuja, joiden vastaavuus olennaisesti turvallisuusvaatimuksiin on vahvistettu 1 momentin mukaisesti. (Säköturvallisuu laki 1135/2016, §33)

Suomessa käytettävät SFS-standardit pohjautuvat kansainvälisiin ISO (International Organization for Standardization), IEC (International Electrotechnical Comittee), ITU (International Telecommunication Union) ja eurooppalaisiin CEN (Comite Europee de Normalisation), CENELEC (Comitee Europee de Normalisation Eletrotechnique) ja ETSI (European Telecommunication Standards Institute) standardeihin. Sähkötekniikan alan standardoimisjärjestö Sesko Ry valmisteleekin kansainvälisistä standardeista SFS-standardit, jotka Suomen Standardoimisliitto SFS vahvistaa ja julkaisee. (Sesko Ry. N.d.) Pienjänniteasennusten perussuojauksessa sovelletaan SFS 6000 standardisarjaa, joka sisältää 39 kappaletta erillisiä pienjänniteasennuksen standardeja (Luettelo S10-2019, Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähköturvallisuutta koskevat standardit, 2019, 1).

2.3 Kaapeleiden mitoittaminen

Johtimien mitoituksessa tulee huomioida sähkövirran aiheuttama lämpeneminen. Kaapelinjohtimet lämpenevät sähkövirran vaikutuksesta ja johtimille on asetettu suurimmat sallitut jatkuvat käyttölämpötilat. Suurimmat sallitut käyttölämpötilat on esitetty taulukossa 2. Johtimien yllilämpeneminen normaalissa kuormituksessa lyhentää kaapelin eristeiden käyttöikää ja lisää merkittävästi tulipalon riskiä asennuskohdeessa. Kaapeleiden kuormitettavuuteen vaikuttavat johdinmateriaali, eristemateriaali, ympäristön lämpötila, kaapelin asennustapa sekä muiden virtapiirien etäisyys. (D1-2017,2018, 224)

Taulukko 1. Eristetyyppien suurimmat sallitut käyttölämpötilat (SFS 6000-5-52:2017,14)

Eristetyyppi	Lämpötilan raja-arvo ^{a, d} °C
Termoplastinen (Polyvinyylidikloridi PVC)	70 johtimessa
Silloitettu polyeteeni (PEX) ja eteenipropeenikumi (EPR)	90 johtimessa ^{b,}
Mineraali (PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa)	70 vaipassa
Mineraali (paljas, ei kosketeltavissa eikä kosketuksissa palaviin materiaaleihin)	105 vaipassa ^{b, c}

Standardissa SFS 6000 on määritelty kaapeleiden kuormitettavuustaulukoita eri asennustapojen mukaan. Standardin asennustapojen määritellyssä käytetty referenssilämpötila on ilmassa käytettäville kaapeleille 30 °C ja maahan asennettaville kaapeleille 20 °C. Mikäli näistä lämpötiloista poiketaan, käytetään standardissa määriteltyjä korjauskertoimia poikkeaville lämpötiloille. Standardissa on määritelty korjauskorointitaulukot ilman ja maan eri lämpötiloille. (MTS, 232) Taulukossa 2 on esitetty korjauskertoimet ympäröivän maan muulle kuin standardilämpötilalle.

Taulukko 2. Korjauskertoimet ympäröivän maan muulle kuin standardilämpötilalle. (Erkkilä, Härkönen, Kauppi, Koivisto, Piikkilä, 2019, 59)

Maan lämpötila °C	Eristys	
	PVC	PEX ja EPR
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
20	1,00	1,00
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	–	0,60
70	–	0,53
75	–	0,46
80	–	0,38

Kaapeleiden johtimien poikkipinta-alaa mitoittaessa tulee tietää kaapelin kuormitusvirta ja kaapelia suojaavan suojalaitteen nimellisvirta. Suojalaitteen nimellisvirta voidaan valita kuormitusvirran mukaan siten, että nimellisvirta voi olla seuraava sulakekoko kuormitusvirran arvosta. Piiriä suojaavan suojalaitteen nimellisvirta voidaan valita suoraan kaapelin kuormitettavuuden perusteella silloin kun käytettävänä suojalaitteena on johdonsuojakatkaisija. Suojalaitteen ollessa sulake, on kuormitettavuutena käytettävä taulukon 4 sarakkeen 2 arvoja. (D1-2017,2018, 232-236)

Kaapelin johtimien poikkipinta-alan mitoitukseen vaikuttaa myös kaapelin asennustapa. Standardissa SFS 6000 on määritelty kaapeleiden erilaiset asennustavat. Referenssiasennustavat on esitetty taulukossa 3. Jokaiselle referenssiasennustavalle, kaapelin paksuudelle sekä kaapelin eriste- ja johdinmateriaalille on määritelty standardissa kuormitettavuus ampeereina asennustavan mukaan. (SFS 6000-5-52:2017,25)

Taulukko 3. Referenssiasennustavat (SFS 6000-5-52:2017,33-34)

Asennustavan tunnus:	Referenssiasennustapa:
A1	Eristetyt johtimet lämpöeristettyyn seinään upotetussa putkessa

A2	Monijohdinkaapeli eristettyyn seinään upotetussa putkessa
B1	Eristetyt johtimet (yksijohdin kaapelit) puuseinän pinnalla putkessa
B2	Monijohdinkaapelit puuseinän pinnalla putkessa
C	Yksi- tai monijohdinkaapelit puuseinän-pinnalla
D	Monijohdinkaapelit putkessa maassa
D2	Vaipalliset yksijohdin tai monijohdin kaapelit suoraan maassa
E	Monijohdinkaapeli vapaasti ilmassa. Etäisyys seinään vähintään 0,3 x kaapelin halkaisija
F	Yksijohdinkaapelit koskettavat toisiaan vapaasti ilmassa. Etäisyys seinään vähintään kaapelin säde.
G	Yksijohdinkaapelit vapaasti ilmassa. Etäisyys toisiinsa vähintään 0,3 x kaapelin säde.

Lisäksi kaapelin poikkipinta-alaa mitoitettaessa tulee ottaa huomioon asennusolosuhteet. Asennusolosuhteet tarkastellaan koko kaapelin asennusmatkan mukaisesti.

Mikäli olosuhteet poikkeavat standardin olosuhteista lämpötilan, muiden piirien etäisyyden tai asennustavan suhteen, käytetään laskennassa standardissa määriteltyjä korjauskertoimia. Kun kyseisiä asennusolosuhteita vastaavat korjauskertoimet on määritelty, jaetaan kuormitusvirta korjauskertoimien tulolla. Kaapelin mitoituksessa tarkastellaan kaikki kaapelin asennusolosuhteet erikseen ja lopputuloksessa pahimman asennusolosuhteen kuormitettavuuden tulee olla ampeereina enemmän, kuin piiriä suojaavan suojalaitteen nimellisvirta on ampeereina. (D1-2017,2018, 233-235) Suojalaitteen toimiessa virtapiirin ylikuormitus ja oikosulkusuojana, suojalaitteen toimimisenvarmistavan virran tulee olla 1,45 kertaisesti pienempi kuin johtimen jatkuva kuormitettavuus. (Orrberg, Härkönen, 2018, 4)

Kaapeleiden mitoittamisessa tulee myös huomioida liittymis- ja kuormituspisteen välinen jännitteenalenema. Standardissa SFS 6000 on opastavana liite 52 G, jossa määritellään jännitteenalenemalle raja-arvot. Pienjänniteasennuksissa suurin jännitteenalenema valaistuskäytössä on 3 % ja muussa käytössä 5 %. (SFS 6000-5-52:2017,67-68)

Jännitteenaleneman laskennassa voidaan käyttää seuraavia kaavoja:

Yksivaiheisella vaihtojännitteellä käytetään yhtälöä 1 ja kolmivaiheisella vaihtojännitteellä käytetään yhtälöä 2.

$$\Delta U = I \cdot 2 \cdot r \cdot l \quad (1)$$

$$\Delta U = I \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi \pm \sin \varphi) \quad (2)$$

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 \% \quad (3)$$

Jossa

ΔU = jännitteen alenema volteissa (V)

I = kuormitusvirta (A)

l = johdonpituus (m)

r = ominaisresistanssi (Ω/m)

x = ominaisreaktanssi (Ω/m)

φ = jännitteen ja virran välinen vaihekulma (astetta)

Δu = suhteellinen jännitteen alenema (%)

U_n = Sähköverkon nimellinen vaihejännite (V)

Standardi SFS 6000 velvoittaa suojaamaan jokaisen virtapiirin ylikuormitussuojalla siten, että kaapeleiden eristeet, jatkokset, liitokset tai johtimien ympäristö ei kärsi vaurioita liian korkeasta lämpötilasta. Johtimien ylikuormitusta suojaavan suojalaitteen tulee täyttää yhtälöiden 4 ja 5 ehdot. (Orrberg, Härkönen, 2018, 4-5)

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (4)$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \quad (5)$$

Jossa

I_B = virtapiirien mitoitusvirta (A)

I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus (A)

I_n = suojalaitteen nimellisvirta (A)

I_2 = virta (A), jolla varmistetaan suojalaitteen toiminta määrättyssä ajassa ja on suojalaittekohtainen, jonka arvo on annettu standardissa tai saatu laitetoimittajalta (Orrberg, Härkönen, 2018, 4)

2.4 Ylikuormitus ja oikosulkusuojaus

Tavallisesti ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksessa suojalaitteena voidaan käyttää samaa laitetta. Suojalaite voidaan valita suojaamaan johtimia ylikuormitukselta ja samalla myös oikosulkusuojaus toteutuu, mikäli suojalaitteen katkaisukyky on vähintään kyseisen sähköverkon suurimman prospektiivisen oikosulkuvirran suuruinen. (D1-2017, 2018, 135)

Käytettäessä ylikuormitussuojaukseen B-, C- ja D-tyyppin johdonsuojakatkaisijoita, voidaan ylikuormitussuojan nimellisvirta valita suoraan johtimen kuormitettavuuden perusteella. Ylikuormitussuojaukseen käytettävän ilmakatkaisijan tai kompaktikatkaisijan toimintavirran asettelu tulee olla enintään johdon kuormitettavuuden suuruinen. (D1-2017,2018, 136-137)

Johtimien ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa myös sulakkeilla, jolloin ylempi sulamisvirtaraja (virta, jolla suojalaite toimii varmasti yleensä tunnissa) on suurempi kuin sulakkeen nimellisvirta kerrottuna 1,45. Tässä tapauksessa ylikuormitussuojaa ei voida valita suoraan johtimien kuormitettavuuden mukaan, vaan mitoituksessa on käytettävä yhtälöä 6. (Orrberg, Härkönen, 2018, 4)

$$k \cdot I_n \leq 1,45 \cdot I_z \quad (6)$$

jossa

I_n = suojalaitteen nimellisvirta

I_z = johtimien jatkuva kuormitettavuus

k = sulakkeen ylempään sulamisvirtarajan ja sulakkeen nimellisvirran suhde

Taulukkoon 4 on laskettu ylikuormitussuojana toimivalle gG-sulakkeelle pienimmät sallitut johtimien kuormitettavuudet.

Taulukko 4. Johtojen pienimmät kuormitettavuudet käytettäessä gG-sulakkeita ylikuormitus suojaukseen. (Orrberg, Härkönen, 2018, 5; D1-2017, 2018, 138)

gG-tyyppisen sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A	Johdon sallittu kuormitus vähintään A
6	8
10	13,5
16	18 (19,4)
20	22 (24,2)
25	28 (30,2)
32	35
35	39
40	44
50	55
63	70
80	88
100	110
125	138
160	177
200	221
250	276
315	348
400	441
500	552
630	695
800	883
1000	1103
1250	1379

Ylikuormitussuojauksen lisäksi jokainen sähköjärjestelmän virtapiiri on varustettava oikosulkusuojauksella. Oikosulkusuojauksen tehtävä on automaattisesti irrottaa virtapiiri sähköverkosta, ennen kuin oikosulkuvirran aiheuttama lämpeneminen ja mekaaniset rasitukset aiheuttavat vaaraa ihmisille, eläimille tai sähkölaitteistolle. Periaatteena tulee olla, että oikosulku missä tahansa piirin kohdassa on automaattisesti kytkettävä irti viimeistään silloin, kun johtimet saavuttavat suurimman sallitun lämpötilan. (Orrberg, Härkönen, 2018, 5)

Yhtälöllä 7 voidaan laskea aika (t), jonka kuluessa johtimen lämpötila nousee sallitun rajalämpötilaan. Johtimien oletetaan olevan suurimmassa sallitussa käyttölämpötilassa ennen oikosulkua.

$$t = \left(k \cdot \frac{A}{I}\right)^2 \quad (7)$$

Jossa

t = kestoaika (s)

A = johdinpoikkipinta-ala (mm^2)

I = todellinen oikosulkuvirta (A)

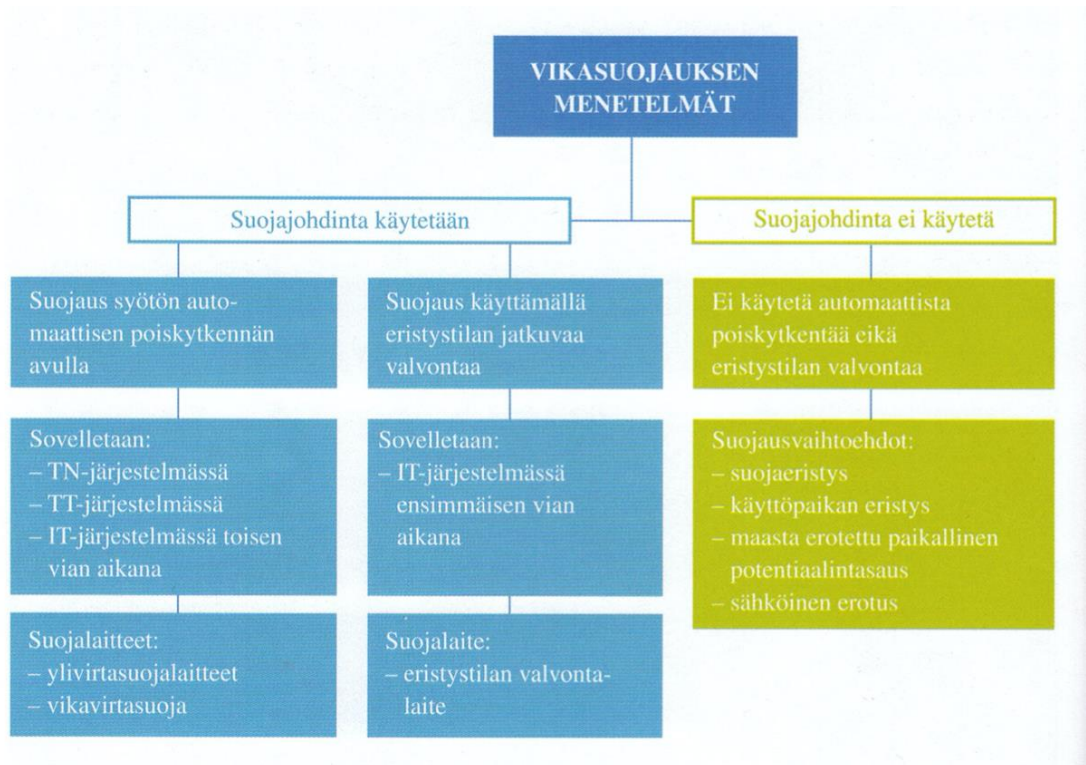
k = johdinvakio valitaan käytettävän johdin eristeen mukaan.

- a) kun käytetään PVC-eristeisiä kuparijohtimia $k = 115$,
- b) kun käytetään silotetulla polyeteenillä (PEX) tai eteenipropeenikumilla (EPR) eristettyjä kupari johtimia $k = 143$,
- c) kun käytetään PVC-eristeisiä alumiinijohtimia $k = 76$,
- d) kun käytetään silotetulla polyeteenillä (PEX) tai eteenipropeenikumilla (EPR) eristettyjä alumiinijohtimia $k = 94$,
- e) kun käytetään tinalla juotettuja kuparijohtimien liitoksia mikä vastaa 160°C lämpötilaa $k = 115$.

Oikosulkusuojauksen mitoituksessa on otettava huomioon, että oikosulkusuojaukseen käytettävän suojalaitteen on kyettävä erottamaan suojattava sähköverkon osa myös suurimmalla prospektiivisellä oikosulkuvirralla ja suojauksen on toimittava ennen kuin sähköverkkoon kytketyt piirit vaurioituvat. (D1-2017, 2018, 142) Standardi asettaa tulppavarokkeille katkaisukyvyyn 20 kA ja kahvavarokkeille 50 kA, mikäli valmistaja ei ole ilmoittanut suurempaa katkaisukykyä. Käytettäessä johdonsuojakatkaisijoita, on niiden katkaisukyky yleisesti pienempi kuin tulppa- ja kahvavarokkeilla. Standardin yleisiä katkaisukykyluokkia ovat 1,5 kA, 3 kA, 6 kA ja 10 kA. (Orrberg, Härkönen, 2018, 5)

2.5 Vikasuojaus

Yleisesti sähkölaitteiston vikasuojauksella pyritään suojaamaan ihmisiä ja kotieläimiä koskettamasta vian seurauksena jännitteiseksi tulleita johtavia sähkölaitteiston osia niin, että siitä aiheutuisi vaaraa. Yleisesti käytössä olevat vikasuojauksen menetelmät ovat esitetty kuviossa 1. (D1-2017, 2018, 84)



Kuvio 1. Vikasuojausmenetelmät (D1-2017, 2018, 84)

Yleisimmin käytössä oleva vikasuojausmenetelmä on syötön automaattinen poiskytkentä. Standardissa SFS600-1 on määritelty automaattisen poiskytkennän suurimmat poiskytkentäajat, jotka ovat esitetty taulukossa 5. Pienjänniteverkon ryhmäjohtoissa on käytettävä taulukon 5 mukaisia poiskytkentäaikoja mikäli suojalaitteen nimellisteho ei ylitä 63 A syötettäessä yhtä tai useampaa pistorasiaa tai 32 A syötettäessä kiinteästi asennettuja sähkölaitteita. Lisäksi standardin kohdan 411.3.2.3 mukaan 5 s poiskytkentäaika on sallittu pääjohtoilla ja muilla johdoilla, joita ei aiemmin mainittu. (SFS-6000-4-41:2017, 75)

Taulukko 5. Standardin suurimmat sallitut syötön poiskytkentäajat. (SFS-600-1, 2017, 75)

Järjestelmä	50 V < $U_0 \leq 120$ V _s		120 V < $U_0 \leq 230$ V _s		230 V < $U_0 \leq 400$ V _s		$U_0 > 400$ V _s	
	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0,8	^a	0,4	1	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	^a	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

Jos TT-järjestelmässä poiskytkentä saadaan aikaan ylivirtasuojilla ja suojaava potentiaalintasaus on kytketty kaikkiin asennuksen muihin johtaviin osiin, voidaan käyttää TN-järjestelmän poiskytkentäaikoja.

U_0 on nimellinen tasa- ja vaihtojännite äärijohtimesta maahan.

HUOM. Jos poiskytkentä toteutetaan vikavirtasuojan avulla, katso kohdan 411.4.4 huomautus, kohdan 411.5.3 huomautus 4 ja kohdan 411.6.4 b) huomautus 4.

^a Poiskytkentää voidaan tarvita muusta syystä kuin sähköiskulta suojaamiseen.

Käytettäessä staattisesti varmennettua verkkoa, on vian mahdollisimman nopea poiskytkentä tärkeää. Vaikka standardin vaatimus on 0,4 sekuntia tietokonelaitteet selviytyvät tyypillisesti vain 20 millisekunnin jännitekatkoista ja 30 % jännitteenalene-
masta 0,5 sekunnin ajan häiriytymättä. Siksi varmennetuissa verkoissa tulee pyrkiä
mitoittamaan selektiivisyys siten, että vikatilanteessa suojalaite toimii jo alle 20 milli-
sekunnissa. (Poikonen, 2010, 9-10)

2.6 Selektiivisyys

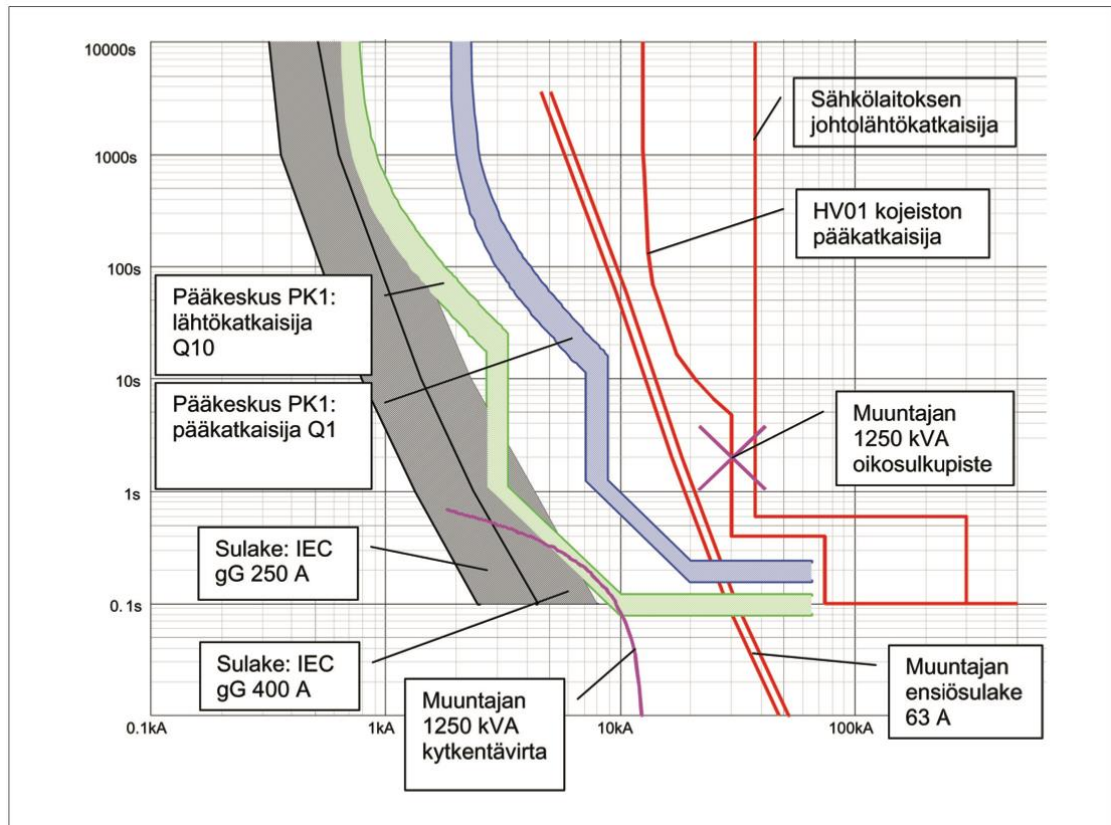
Kun sähköjärjestelmän komponentit on määritelty, tulee lopuksi kiinnittää huomiota järjestelmän selektiivisyyteen. Selektiivisyydellä tarkoitetaan sitä, että ainoastaan lähinnä vikapaikkaa oleva syötönpuoleinen suojaus toimii, erottaen vikapaikan ja mahdollisimman pienen osan verkosta jännitteettömäksi. Jakeluverkon suojauksen selektiivisyyden tarkastelu on tässä vaiheessa helpointa ja edullisinta. Suojauksen selektiivisyyden ongelmat huomataan useimmiten vasta, kun jakokeskustasolla tapahtunut vika aiheuttaa koko kiinteistön jännitekatkon. Näissä tilanteissa vähäinen vika voi aiheuttaa sähköjakeluverkon toimintaan kalliin häiriön koko talossa. (Poikonen, Orrberg, 2017,1-2)

Pienjännitesähköverkon suojauksessa sulakkeilla päästään varsin hyvään selektiivisyyteen. Sulakkeiden koon valinta tulee tehdä oikein siten, että käytetään oikeita sulakekokoja minimitalanteen oikosulkuvirtaan nähden. Selektiivisen mitoituksen periaatteena voidaan käyttää sitä, että sähköverkossa peräkkäisten sulakkeiden välissä tulee olla vähintään yksi sulakekoko. Sulakesuojauksen hyvänä puolena voidaan pitää niiden virranrajoitusominaisuuksia, kun taas huonoa sulakkeissa ovat suuret toleranssit. (MTS, 5)

Tarkasteltaessa sähköverkon selektiivisyyttä, tulee hankkia tarkasteltavasta kohteesta tiettyjä perustietoja, joiden perustella tarkastelua voidaan suorittaa. Seuraavassa luetteloon on koottu joitakin tärkeimpiä perustietoja, joita tarkastelussa tarvitaan:

- sähkölaitoksen johtolähtökatkaisijan asettelut
- liittymän oikosulkuvirta
- pääjakelukaavio ja kytkentätilannekuva
- suurjännitekojeiston pääkaavio
- suurjännitekojeiston laitetiedot
- jakelumuuntajan tekniset tiedot
- suurjännitekojeiston relekojeistuspöytäkirjat
- pääkeskuksen pääkaaviot
- pääkeskuksen kojeluettelot
- pääkeskuksen relekoestuspöytäkirjat
- kaapeliluettelot
- jakokeskuksien pääkaaviot ja kojeluettelot
- kuormituksen profiili, suurimmat pistekuormat
- oikosulkuvirtalaskennan tulokset.

Tarkastelun lopputulos on hyvä laatia raportin muotoon, jossa käydään läpi järjestelmän lähtötiedot ja yleiset asiat. Mikäli tarkasteltavasta verkosta ei ole saatavilla kattavaa jakelukaaviota, on suositeltavaa laatia kaavio tulosten havainnollistamiseksi. Raportissa on hyvä esittää myös verkon suojausasettelun parannusehdotukset, mikäli niitä ilmenee. Selektiivisyyden tarkastelu on havainnollisinta tehdä esittämällä suojalaitteiden toimintakäyrät koordinaatistossa. Kuviossa 2 on esitetty esimerkkinä erään kiinteistön jakeluverkon suojalaitteiden toimintakäyrät virta-aika koordinaatistossa. Jakeluverkkojen suojaus saaminen kaikilta osin selektiiviseksi, on usein hyvin hankalaa. Näin ollen joudutaan järjestämään epäselektiivinen kohta sellaiseen jakeluverkon osaan, jossa se aiheuttaa mahdollisimman vähän haittaa. (MTS, 7-10)



Kuvio 2. Suojalaitteiden välinen koordinaatisto (Poikonen, Orrberg, 2017, 9)

Kuvion 2 koordinaatistoon on sijoitettu sähköverkon suojalaitteiden toimintakäyrät sähkölaitoksen johtolähtökatkaisijasta, aina nousukeskuksen sulakelähtöihin asti. (MTS, 9) Koordinaatiston x akselilla on prospektiivinen oikosulkuvirta I_p (tuhatta ampeeria) ja y akselilla toiminta aika t_s (sekuntia). Sähköjärjestelmän prospektiivinen oikosulkuvirta on virran tehollisarvo oikosulun alkuhetkellä (IEC-60909-0:2016, 9). Verkon prospektiivinen oikosulkuvirta voidaan laskea, kun tiedetään verkkoa syöttävän muuntajan ominaisoikosulkuteho tai muuntajan nimellisteho ja suhteellinen oikosulkuimpedanssi sekä nimellisjännite.

Mitoituksessa käytettävä muuntajan ominaisoikosulkuteho saadaan laskettua käyttämällä yhtälöä 8.

$$S_k = \frac{S_n}{z_k} \quad (8)$$

Jossa

S_k = muuntajan ominaisoikosulkuteho (VA)

S_n = muuntajan nimellisteho (VA)

Z_k = suhteellinen oikosulkuimpedanssi (p.u)

Näin ollen mitoitukseen tarvittava muuntajan ominaisoikosulkutehoa vastaava prospektiivinen oikosulkuvirta saadaan laskettua yhtälöllä 9

$$I_k = \frac{c_{\max} * S_k}{\sqrt{3} * U_N} \quad (9)$$

jossa

I_k = prospektiivinen oikosulkuvirta (A)

U_N = verkon nimellisjännite (V).

c_{\max} = standardin IEC-60909-0 mukainen kerroin jännitteen vaihtelun vaikutukselle. Standardin IEC-60909-0 mukaan suurimman kolmivaiheisen oikosulkuvirran $I_{k3\max}$ laskennassa vaihtojännitteillä 100 V – 1000 V voidaan käyttää kerrointa 1,05, mikäli verkon jännitteen vaihtelun toleranssi on enintään 6 %. Mikäli verkon jännitteen toleranssi on välillä 6-10 % tulee käyttää mitoituksessa käyttä kerrointa 1,1. Jännitteillä 1 kV - >35 kV voidaan käyttää kerrointa 1,1. Laskettaessa pienintä yksivaiheista oikosulkuvirtaa $I_{k1\min}$ jännitteille 100 V-1000 V käytetään kerrointa $c_{\min} = 0,95$ ja 1k V->35 kV käytetään kerrointa $c_{\min} = 1,0$.

Taulukossa 6 on standardissa IEC-60909-0 määritetyt kertoimet verkon jännitteen vaihtelun vaikutukselle oikosulkuvirran määrittelyssä.

Taulukko 6. Standardissa IEC 60909-0 määritellyt korjaus kertoimet.

Nominal voltage U_n	Voltage factor c for the calculation of	
	maximum short-circuit currents $c_{\max}^{1)}$	minimum short-circuit currents c_{\min}
Low voltage 100 V to 1 000 V (IEC 60038, table I)	1,05 ³⁾ 1,10 ⁴⁾	0,95
Medium voltage >1 kV to 35 kV (IEC 60038, table III)	1,10	1,00
High voltage ²⁾ >35 kV (IEC 60038, table IV)		
¹⁾ $c_{\max}U_n$ should not exceed the highest voltage U_m for equipment of power systems. ²⁾ If no nominal voltage is defined $c_{\max}U_n = U_m$ or $c_{\min}U_n = 0,90 \times U_m$ should be applied. ³⁾ For low-voltage systems with a tolerance of +6 %, for example systems renamed from 380 V to 400 V. ⁴⁾ For low-voltage systems with a tolerance of +10 %.		

Prospektiivinen oikosulkuvirta on suurimmillaan lähellä muuntajaa. Kaapeleiden impedansseilla on suuri merkitys siihen, kuinka paljon impedanssi rajoittaa oikosulkuvirtaa. Kaapelin impedanssi riippuu kaapelin johtimien materiaalista, poikkipinta-alasta, pituudesta ja johtimien keskinäisestä geometriasta. Kaapelivalmistajat ilmoittavat impedanssin suuruuden yleensä 20 °C lämpötilassa, mutta oikosulkutilanteessa johtimet lämpenevät ja niiden impedanssi kasvaa. Lämpötilan vaikutus tulee ottaa huomioon erityisesti pienintä oikosulkuvirtaa määritettäessä. (Orrberg. 2017. 5-6) Yhtälöllä 10 voidaan mallintaa verkon yksivaiheista oikosulkuvirta mihin tahansa verkon pisteeseen, kun vain tiedetään muuntajan ja kaapeleiden johtimien impedanssit.

$$I_k = \frac{c_{\min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot (Z_n + Z_c)} \quad (10)$$

jossa

U_n = pääjännite (V)

Z_n = muuntajan impedanssi (Ω)

Z_c = sarjaan kytkettyjen kaapeleiden vaihejohtimien impedanssien summa (Ω), jossa huomioidaan oikosulkuvirran menojohtimena vaihejohdin ja paluujohdina suoja- maadoitusjohdin.

c_{min} = on standardin IEC-60909-0 mukainen kerroin jännitteen vaihtelun vaikutukselle. Standardin IEC-60909-0 mukaan laskettaessa pienintä yksivaiheista oikosulkuvirtaa I_{k1min} jännitteille 100 V-1000 V käytetään kerrointa 0,95 ja jännitteille 1k V->35 kV käytetään kerrointa 1,0.

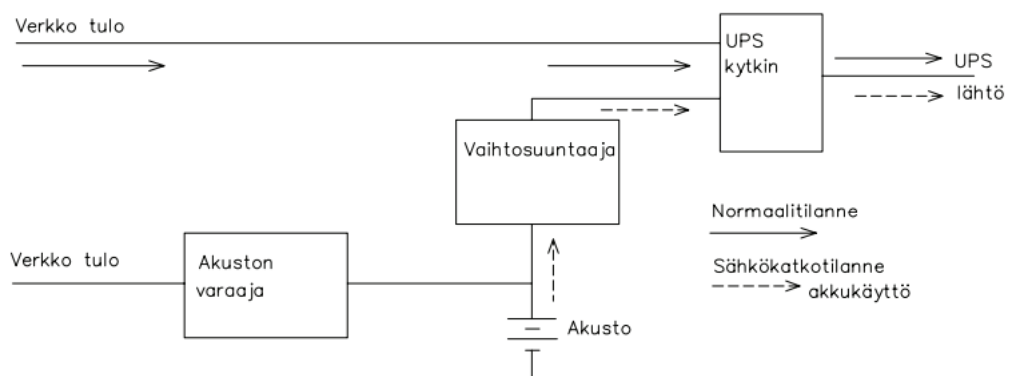
Laskennassa on tehty tärkeä yksinkertaistus laskemalla osaimpedanssit aritmeettisesti yhteen, jolloin todellinen impedanssi on aina laskettua arvoa pienempi. Näin ollen laskennassa esiintyvä virhe on aina mitoituksen kannalta turvalliseen suuntaan ja todellinen oikosulkuvirta on laskettua suurempi. (D1-2017. 2018. 95)

3 Katkeamattomat sähkösyöttöjärjestelmät

Katkeamattomista vaihtosähköjärjestelmistä käytetään lyhennettä UPS (Uninterruptable Power System). Katkeamattomassa verkossa olevilta laitteilta ei katkea syöttöjännite, vaikka syöttävässä jakeluverkossa esiintyisi katkoja. Suomessa käytetään pääasiassa on-line tekniikkaan perustuvia staattisia UPS-järjestelmiä. Staattisessa järjestelmässä asennetaan syöttävän verkon ja kuorman väliin UPS-laite, joka on varustettu staattisella piirillä ja akustolla. UPS-laitteiden perustoimintoihin kuuluu verkon vaihtosähkön muuttaminen tasasähköksi ja tasasähkön muuttaminen vaihtosähköksi puolijohdesiltoja käyttäen. (Bovella, Hakanen, Heikkilä, Kapp, Kivekäs, Kousa, Poikonen, Sahlström, Tummavuori. 2005. 57-59) Staattisten UPS-laitteiden lisäksi on olemassa dynaamisia varavoimalaitteita, joiden toiminta perustuu pyöriviin huimamasoihin, mutta tässä työssä keskitytään ainoastaan staattisten UPS-laitteiden mitoittamiseen ja UPS-laitteen jälkeiseen sähköverkon suojauksen tarkasteluun.

3.1 Stand-by operation-UPS-laitteet

Staattiset UPS-laitteet on nimetty niiden toimintaperiaatteiden mukaan. Standardissa SFS-EN 62040-3 on luokituskoodit jokaiselle UPS-laitteen toimintaperiaatteelle. Stand-by operation-UPS-laitteen luokituskoodi on VFD (output Voltage and Frequency Dependant from mains supply), jonka toimintaperiaate on esitetty kuviossa 3.

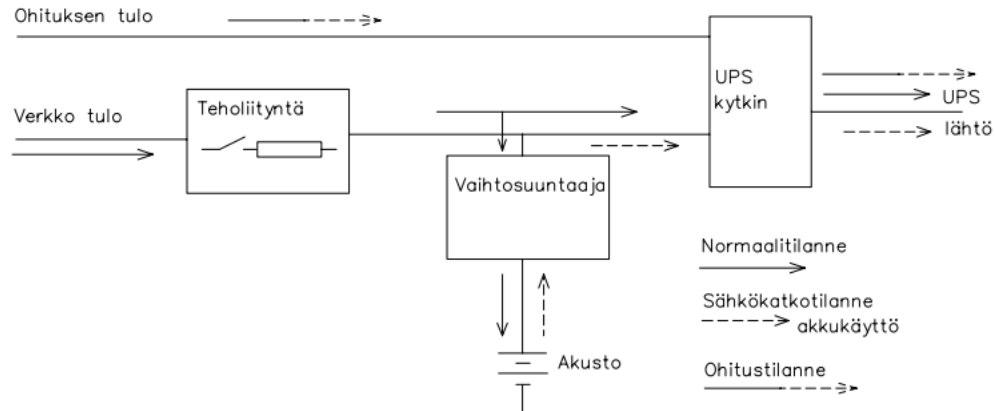


Kuvio 3. Stand-by-UPS-laitteen toimintaperiaate. (Bovella ym. 2005. 60)

Normaalitilanteessa laite syöttää kriittistä kuormaa UPS-kytkimen kautta suoraan verkosta siten, että laitteessa oleva suodatin suodattaa verkossa esiintyviä häiriöitä. Sähkökatkon tapahduttua tai verkon arvojen ollessa vaihtelurajojen ulkopuolella, laitteen UPS-kytkin vaihtaa tilaa ja vaihtosuuntaajapiiri käynnistyy ja syöttää akustosta kriittistä piiriä. Tyypillinen käynnistysviive on 2-4 millisekuntia. Stand-by-laitteita käytetään yleisesti pienillä, 150-1500 VA tehoilla. (MTS, 60-61)

3.2 Line interactive operation-UPS-laitteet

Line interactive operation-UPS-laiteiden luokituskoodi on VI (output Voltage Independent from mains supply), joiden toimintaperiaate on esitetty kuviossa 4.

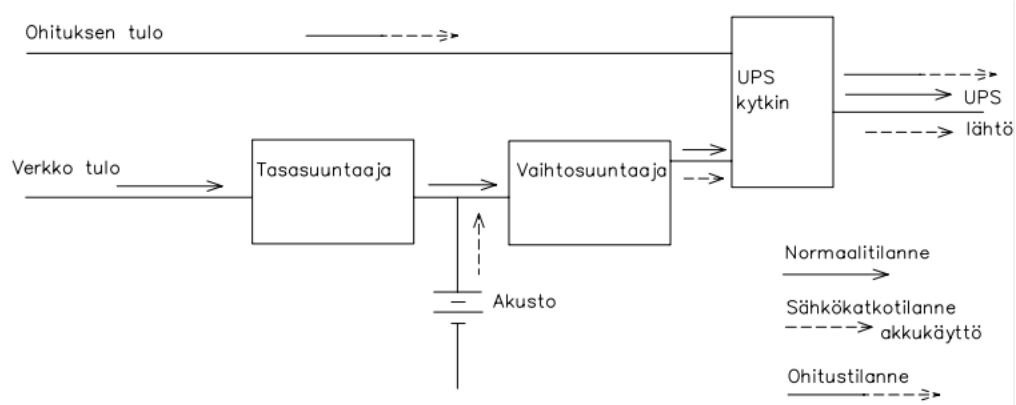


Kuvio 4. Line interactive-UPS-laitteen toimintaperiaate. (Bovella ym. 2005. 62)

Syöttävän verkon ollessa jännitteeltään ja laadultaan sallittujen rajojen sisällä, syöttää line interactive-UPS kuormaa suoraan sähköverkosta rinnakkaissäätimen kautta. Rinnakkaissäädin korjaa normaalit jänniteenvaihtelut ja näin syntyvä jännite-ero jää rinnakkaissäätimen kuristimen yli. Säätö tapahtuu vaihekulmaa muuttamalla, jolloin lähtevän verkon tehokerroin $\cos \varphi$ vaihtelee tulojännitteen vaihdella. Verkon vaihekulman ollessa eri tulevan ja lähtevän sähkön välillä, on laitteen kytkeydyttävä nopeasti irti verkosta akkukäyttötilanteessa. Irtikytkentä toteutetaan tyristorikytkimellä. Laitteen ylikuormitus- ja vikatilanteessa kriittisten laitteiden sähkönsyöttö siirtyy UPS-kytkimen kautta ohitussyötölle. Vaihdos tapahtuu nopeasti ja näin varmennetun sähköverkon suojalaitteiden toimintaan saadaan paremmat edellytykset. (MTS, 62)

3.3 On-line UPS-laitteet

Kahden muunnoksen UPS-laitteen luokituskoodi on standardin SFS-EN 62040-4 mukaan VFI (output Voltage and Frequency Independent from mains supply). Kahden muunnoksen UPS-laitteen toimintaperiaate on esitetty kuviossa 5. Kahden muunnoksen UPS-laitetta kutsutaan usein nimellä ”On-line UPS”. Kahdella muunnoksella tarkoitetaan sen toimintaperiaatetta, jossa se syöttää sähköä kriittiselle kuormalle aina vaihtosuuntaajan läpi, riippumatta syöttävän verkon tilasta.



Kuvio 5. Kahden muunnoksen UPS-laitteen toimintaperiaate (Bovella ym. 2005. 64)

Normaalitilanteessa kahden muunnoksen UPS-laite syöttää kriittistä kuormaa aina nimellisjännitteellä ja -taajuudella laitteen tasa- ja vaihtosuuntauksen kautta, riippumatta laitteistoa syöttävän sähköverkon jännitteestä ja taajuudesta. Sähkökatkon sattuessa siirtyminen akkukäytölle ei vaadi toimenpiteitä, vaan vaihtosuuntaaja saa jännitteen akustosta, joka on kytketty tasasuuntaajan rinnalle. Näin ollen kriittisten laitteiden sähkönsyötössä ei ilmene jännitteen ja taajuuden vaihteluita siirtymishetkellä. Normaalitilanteessa akustoa varataan samalla tasasuuntaajalla, josta vaihtosuuntaaja saa jännitteen. (MTS, 63-64)

3.4 Sähköverkossa esiintyvät harmoniset yliaallot

Tarkasteltaessa kahden muunnoksen tasasuuntauksen teknistä toteutusta, on kiinnitettävä huomiota sähköverkossa esiintyviin harmonisiin yliaaltoihin. UPS-laitteet kuuluvat tavallisimpiin yliaaltojen lähteisiin, johtuen niiden tasasuuntauksesta aiheutuvista kolmansista yliaalloista ja niiden kerrannaisvaikutuksista. Näin ollen symmetrisessä kolmevaiheverkossa esiintyy parittomia, 3:lla jaottomia yliaaltoja. Tyypillisesti yliaallot kumoutuvat verkon tähtipisteessä ja niiden vahvistus vaimenee taajuuden kasvaessa. Sen sijaan 3. yliaallot eivät kumoudu, vaan jatkavat kulkuaan nollajohtimessa. Yleisimmät kolmella jaottomat yliaaltotaajuudet ovat 5., 7., ja 11.- kertaisia perustaajuuteen nähden. Sähköverkon yliaaltopitoisuuden kuvaamiseen käytetään

THD lukua, eli särökerrointa. Särökertoimella tarkoitetaan sitä, kuinka paljon sähköverkon jännitteessä esiintyy yliaaltoja. Jännitesärö voidaan laskea yhtälöä 10 käyttäen. (Lavi, Uusimäki. 2014, 1-2)

$$THD(U) = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} U_i^2}}{U_{50}} \quad (11)$$

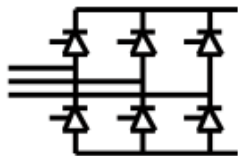
Jossa

THD(U) on harmoninen jännitesärö

U_i on yliaaltojännite

U_{50} on perustaajuinen jännite.

Kahden muunnoksen tasasuuntauksen tekninen toteutus määrittää syöttävän sähköverkon sallitun jännitteen, taajuuden vaihtelurajat, verkkovirran käyrän muodon ja tehokertoimen. Kuviossa 6 on esitetty 6-pulssinen tyristorisuuntaaja, joka on toimintavarma ja hyvän hyötösuhteen omaava peruskytkentä.

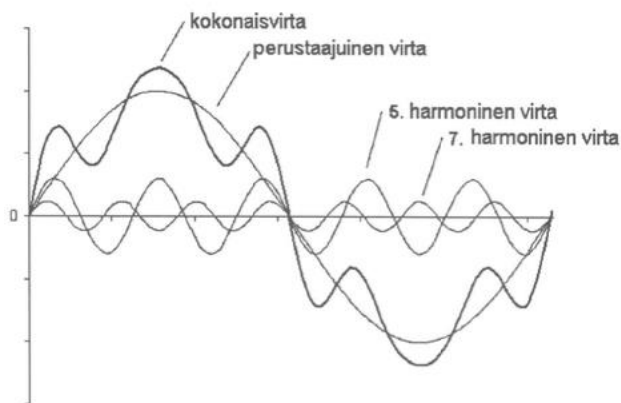


Kuvio 6. 6-pulssinen tyristorisuuntaaja (Tummavuori, 2014, 5)

6-pulssisen tyristoritasasuuntaaja aiheuttaa sähköverkkoon 28-30 % THDi virtasäröä. Mikäli virtasäröä halutaan pienentää, voidaan suodatuksella saavuttaa 8-15 % THDi taso. Taulukossa 6 on esitetty 6-pulssisen tyristoritasasuuntaajan yliaaltovirtojen osuudet perustaajuisesta virrasta ja kuviossa 7 on kuvattu virtasärön aiheuttaman kokonaisvirran vääristyminen.

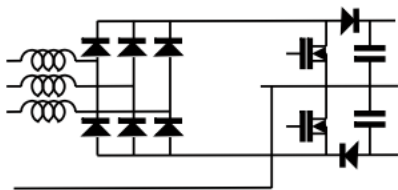
Taulukko 7. 6-pulssisen tyristoritasasuuntaajan tuottamien yliaaltovirtojen osuudet perustaajuisesta virrasta. (Lavi ym. 2014, 2)

Yliaallon järjestysluku	Taajuus [Hz]	Virta [%]
5	250	30
7	350	13
11	550	6
13	650	5



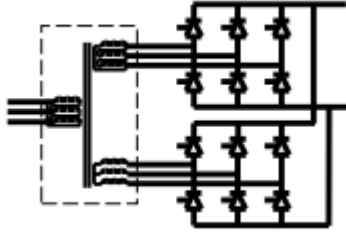
Kuvio 7. Kokonaisvirran vääristyminen (Lavi ym. 2014, 2)

Käytettäessä 6-pulssista dioditasasuuntaajaa, booster-tekniikalla voidaan virtasäro THDi saada 8-12 %:n tasolle ja suodattamalla saavutetaan 5-7 % THDi taso. Kuviossa 8 on esitetty dioditasasuuntaaja jännitteen nostajalla.



Kuvio 8. 6-Pulssinen dioditasasuuntaaja ja jännitteen nostaja (Tummavuori, 2010, 5)

Käytössä on vielä 12-pulssinen tyristoritasasuuntaaja, jonka virtasäro THDi on 10-12 %. Mikäli tasasuuntaaja varustetaan suodattimella, saavutetaan 5-7 % THDi taso. Kuviossa 9 on esitetty 12-pulssisen tyristoritasasuuntaajan rakenne.



Kuvio 9. 12-pulssinen tyristoritasasuuntaaja (Tumma vuori, 2010, 5)

Transistoritekniikan kehittyttyä uudet tasasuuntaajat toteutetaan IGBT-transistoreilla, jotka soveltuvat kaikkiin teholuokkiin. IGBT-transistoreiden ohjaus pyritään toteuttamaan siten, että tasasuuntaajan sähköverkosta ottama virta olisi mahdollisimman sinimuotoista. Näin ollen särövirta THDi jäisi mahdollisimman pieneksi vain, 2-6 %. (MTS, 5)

On tärkeää, että kriittisiä kuormia syöttävät laitteet eivät aiheuta muille sähköverkon laitteille häiriötä. IGBT-transistoreiden ominaisuuksilla päästään särökertoimien hyvään tai normaaliin laatuluokkaan. Standardi SFS-EN 50160 määrittelee laitteistot laatuluokkiin särövirtakertoimien mukaan taulukon 7 mukaisesti. (Lavi ym. 2014, 2)

Taulukko 8. Särökertoimien laatuluokat (Lavi ym, 2014,2)

Laatuluokka	Harmoninen jännitesärö [%]
Hyvä	≤ 3
Normaali	$\leq 3-6$
Standardi	$\leq 6-8$ (95 % arvoista)

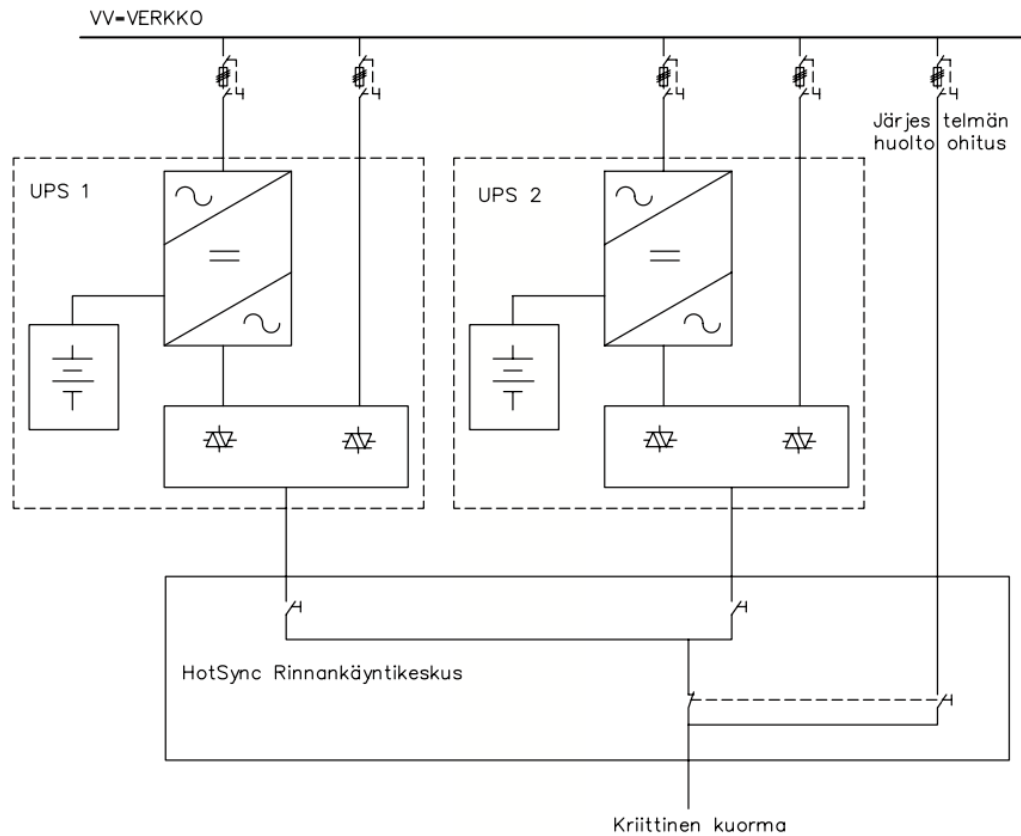
UPS-laitteen ominaisuuksiin vaikuttaa suuresti myös vaihtosuuntaajasillan ominaisuudet. Vaihtosuuntaajasilta toteutetaan pääasiassa IGBT-transistoreilla, joiden kytkentä on sama kuin tasasuuntaaja käytössä. Vaihtosuuntaajasiltaa ohjataan siten, että laitteen lähtöjännite olisi mahdollisimman puhdasta sinijännitettä myös epälineaarilla kuormalla.

IGBT-transistoreilla toteutetut tasa- ja vaihtosuuntaajien hyötysuhteet ovat hyvät. Hyvä hyötysuhde saavutetaan täydestä kuormasta aina 20 % kuormaan saakka. Lisäksi suuntaajat sopivat hyvin myös varmennettuun verkkoon jännite- ja taajuusvaihteluominaisuuksien puolesta ja niiden joustavan ohjauksen vuoksi. Suuntaajia on mahdollista ohjata siten, että verkon kuormitus ei muutu liian nopeasti, vaan vara-voimaa tuottava laitteisto ehtii reagoida. (Tummavuori, 2010, 5)

3.5 Redundanttiset UPS-järjestelmät

UPS-järjestelmän toimintavarmuus on osa järjestelmän luotettavuutta. Mikäli kriittiselle kuormalle asetetaan suurempia vaatimuksia, nousee järjestelmän luotettavuus, eli redundanttisuus, esille. Järjestelmän luotettavuutta voidaan lisätä lisäämällä toinen järjestelmä, jonka lopputuloksena on redundanttinen rinnankäyvä UPS-järjestelmä. Redundantteisessa järjestelmässä minimoidaan järjestelmän yhteiset osat, jolloin vika kummassa tahansa laitteistossa ei aiheuta katkoa varmennettavassa verkossa.

Rinnankäyvän laitteiston suunnittelussa tulee huomioida, että laitteiden suurin teho on yhden laitteen suurin varmennettu teho. Tällöin laitteisto toimii $n + 1$ periaatteen mukaisesti, jossa n on varmennettava laitteisto. Mikäli redundanttisen järjestelmän suojaus halutaan toteuttaa huollon aikana, tulee laitteiston täyttää $n + 2$ vaatimukset. Tällöin tulee olla kolme rinnankäyvää laitetta, jolloin yhden huoltaminen onnistuu vaarantamatta koko varmennettavan verkon redundanttisuutta. Redundanttisuutta voidaan parantaa modulaarisilla UPS-tehomoduuleilla, jolloin tehoduulit on asennettu yhteiseen kaappiin ja moduuleiden mitoituksessa huomioidaan $n + 1$. Modulaarisessa järjestelmässä tehoduuleille jää yhteisiä osia, jotka osin huonontavat luotettavuutta. Kuviossa 10 on rinnankäyvän laitteiston toimintaperiaate. (MTS, 6)



Kuvio 10. Rinnankäyvän redundanttisen järjestelmän periaate (Tummavuori 2010, 6)

3.6 Akustot

Varmennuksen kannalta olennainen osa UPS-järjestelmää on akusto, josta sähkökatkon sattuessa syötetään tasajännitettä vaihtosuuntaajille. Pienemmissä järjestelmissä akustot sijoitetaan samaan laitteeseen tai laitekaappiin UPS-laitteen kanssa. Suuremmissa järjestelmissä akut on sijoitettu joko omaan akkuhuoneeseen tai omaan akkukaappiin. Standardi SFS-EN 50272-2 antaa vaatimukset akustotilan rakenteesta, mitoittamisesta ja ilmavaihdosta. (Poikonen, 2010, 10)

4 Katkeamattoman sähkönsyöttöjärjestelmän selektiivisyyden tarkastelu

Katkeamattoman sähköverkon selektiivisyyden tarkastelun kohteena on vuonna 2018 saneerattu toimistokiinteistö, johon on saneerauksen yhteydessä asennettu uusi nousukeskus, ryhmäkeskukset sekä UPS-järjestelmä. UPS-laitteeksi tilaaja on valinnut Riello MST-40 laitteen. Tutkimuksessa tarkastellaan käytössä olevan laitteiston selektiivisyyttä. Kohteen sähköverkko on mitoitettu ryhmäkeskusten UPS-nousujohtoihin saakka Febdok ohjelmalla, jonka raportti on ollut käytössä tässä tutkimuksessa. Liitteissä 1, 2 ja 3 on esitetty kohteen nousujohtokaavion tiedot, joita laskennassa on käytetty.

Liitteessä 1 esitettyä pääkeskusta (PK) edeltävän sähköverkon tiedot löytyvät taulukosta 9. Kaikkien pää-, nousu- ja ryhmäkeskusten laskentatulokset on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 9. Pääkeskusta edeltävän sähköverkon tiedot (Febdok raportti. 2018. 10)

I_{k3vmax}	: 15,8	kA	R_{+max}	: 0,0128	Ω
$\cos \phi$: 0,8		X_{+max}	: 0,0096	Ω
I_{k2vmin}	: 13,7	kA	R_{+min}	: 0,0118	Ω
$\cos \phi$: 0,9		X_{+min}	: 0,0057	Ω
I_{k1pmax}	: 15,8	kA	R_{0Nmax}	: 0,0128	Ω
$\cos \phi$: 0,8		X_{0Nmax}	: 0,0096	Ω
I_{k1pmin}	: 15,8	kA	R_{0Nmin}	: 0,0118	Ω
$\cos \phi$: 0,9		X_{0Nmin}	: 0,0057	Ω
I_{jPEmax}	: 15,8	kA	R_{0PEmax}	: 0,0128	Ω
$\cos \phi$: 0,8		X_{0PEmax}	: 0,0096	Ω
I_{jPEmin}	: 15,8	kA	R_{0PEmin}	: 0,0118	Ω
$\cos \phi$: 0,9		X_{0PEmin}	: 0,0057	Ω
			Z_s	: 0,0131	Ω

Taulukko 10. Jakokeskuksien oikosulkuvirtojen laskennan tulokset (Febdok raportti. 2018. 18)

Jakokeskustunnus	I_{k3max}		I_{k3min}		I_{k2max}		I_{k2min}		I_{k1pmax}		I_{k1vmin}		I_{k1max}		I_{k1min}		Zs	Max
	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	[ohm]	I [kA]
FEBDOK_4	5,166	0,94	0,087	1,00	4,474	0,94	0,087	1,00	3,072	0,96	0,087	1,00	2,473	0,97	0,087	1,00	0,1177	7,454
NK21	12,838	0,81	11,889	0,90	11,118	0,81	10,296	0,90	10,888	0,83	9,586	0,91	9,510	0,86	8,030	0,93	0,0259	18,785
NK-UPS	7,265	0,90	5,756	0,95	6,291	0,90	4,985	0,95	4,710	0,93	3,525	0,97	3,454	0,96	2,513	0,98	0,0827	10,497
PK	15,845	0,80	15,845	0,90	13,722	0,80	13,722	0,90	15,845	0,80	15,845	0,90	15,845	0,80	15,845	0,90	0,0131	23,259
RK2.1	6,101	0,92	4,705	0,96	5,284	0,92	4,075	0,96	3,772	0,95	2,768	0,97	2,702	0,97	1,938	0,98	0,1072	8,808
RK2.1 UPS	0,965	1,00	0,087	1,00	0,749	1,00	0,087	1,00	0,443	1,00	0,087	1,00	0,428	1,00	0,087	1,00	0,7065	1,248
RK2.2	11,602	0,84	10,337	0,92	10,048	0,84	8,953	0,92	9,217	0,86	7,719	0,93	7,655	0,90	6,135	0,95	0,0339	16,899
RK2.3	4,613	0,94	3,444	0,97	3,995	0,94	2,983	0,97	2,694	0,96	1,935	0,98	1,881	0,98	1,329	0,99	0,1564	6,656
RK2.4	5,255	0,93	3,977	0,96	4,551	0,93	3,444	0,96	3,144	0,95	2,278	0,97	2,218	0,97	1,577	0,98	0,1318	7,584
RK2.5	6,832	0,91	5,358	0,96	5,916	0,91	4,640	0,96	4,350	0,94	3,230	0,97	3,161	0,96	2,287	0,98	0,0909	9,868
RKLV1	12,540	0,82	11,529	0,90	10,860	0,82	9,985	0,90	10,477	0,83	9,135	0,91	9,053	0,87	7,563	0,93	0,0275	18,345

Kuten liitteistä ilmenee, on UPS-järjestelmää mallinnettu laskentaohjelmalla, laske-
malla oikosulkuvirrat ainoastaan ryhmäkeskus 2.1 UPS (RK 2.1 UPS) nousukaapelin
liittimiin saakka. Varmennettu sähköjakelun osa on myös ryhmäkeskuksissa 2.2 (RK
2.2), 2.3 (RK 2.3), 2.4 (RK2.4) ja 2.5 (RK 2.5).

UPS-laitteista syöttävän nousukeskuksen (NK-UPS) suurin kolmivaiheinen oikosulku-
virta I_{k3max} on taulukon 9 rivillä 4 sarakkeessa 2 ja pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta
 I_{k1min} on taulukon 9 rivillä 10 sarakkeessa 4. Sähköverkon laskennallinen impedanssi
löytyy taulukon 9 riviltä 4 sarakkeessa 17.

4.1 Selektiivisyyden tarkastelu verkko käyttötilanteessa

Normaalitilanteessa, jolloin laitetta syötetään sähköverkosta, vian sattuessa laitteen
staattinen ohituskytkin kytkee laitteen kuorman ohitusyötölle muutamassa millise-
kunnissa. Näin ollen oikosulkuvirran ja sen kestoisuuden määrittää staattisen ohitus-
kytkimen ominaisuudet ja staattista ohituskytkintä syöttävän verkon sähköiset arvot.

Staattisen ohituskytkimen ominaisuudet käyvät ilmi laitteen datalehdessä liitteestä 4.
Riello MST 40 UPS-laitteen datalehdessä on ilmoitettu laitteen ohituskytkimen yli-
kuormitusominaisuudet seuraavasti: 110% määrittelemättömän ajan, 125 % 60 mi-
nuutin ja 150% 10 minuutin ajan. Prosenttilukema ilmoittaa kuinka paljon ohituskyt-
kin kestää ylikuormitusta suhteessa nimellisvirtaan ja mikäli ylikuormitus jatkuu data-
lehdessä ilmoitettua aikaa kauemmin, suoja laite ohituskytkimen komponentteja ja
turvatoiminto sammuttaa laitteen.

Selektiivisyyden tarkastelusta verkkokäyttötilanteessa ei saada merkittävää tietoa järjestelmän toiminnasta, sillä verkkokäytön sähköiset arvot ovat lähtökohtaisesti paremmat kuin akkukäyttötilanteessa. Näin ollen verkon selektiivisestä toiminnasta voidaan tehdä oikeat johtopäätökset, mikäli suojaus toimii oikein akkukäyttötilanteessa.

4.2 Selektiivisyyden tarkastelu akkukäyttötilanteessa

Laitteen ollessa akkukäyttötilanteessa, on laitetta syöttävän sähköverkon jännite pois kokonaan tai sen laatu on niin huonoa, että vaihtosuuntaaja saa jännitteensä akustosta. Laitteen toiminta eroaa vian sattuessa normaalista syöttötilanteesta siten, että laitteiston staattinen ohituskytkin ei ohjaa oikosulkuvirtaa ohitusyötölle, pois vaihtosuuntaajilta. Näin ollen vaihtosuuntaajien ominaisuudet vaikuttavat saatavilla olevaan oikosulkuvirran määrään olennaisesti. Vaihtosuuntaajien ominaisuudet käyvät ilmi laitteen datalehdessä liitteestä 2.

Riello MST 40 UPS-laitteen datalehdessä on ilmoitettu laitteen vaihtosuuntaajien kuormitusvirtarajat seuraavasti: 105% määrittelemättömän ajan, 110 % 10 minuutin ja 125% 1 minuutin ajan. Lisäksi laite kykenee tuottamaan lyhytaikaisen, alle 500 ms mittaisen, 1,5 kertaisen oikosulkuvirran laitteen nimellisvirtaan nähden. Yhtälöllä 12. voidaan laskea selektiivisyyden tarkasteluun tarvittava pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta, jota voidaan käyttää suojausten ja selektiivisyyden mitoituksessa.

$$I_{k1min} = 1,5 * I_n = 1,5 * 61A = 91,5A \quad (12)$$

Jossa

I_{k1min} = akkukäytöllä pienin jakeluverkossa esiintyvä oikosulkuvirta, jolla suojalaitteen tulee toimia määritellyssä ajassa.

I_n on UPS-laitteen valmistajan ilmoittama nimellisvirta.

Näin ollen yksittäisen ryhmäjohdon vikasuojauksen tulee toimia yhtälön 12 mukaisella toimintavirralla alle 20 millisekunnissa, mikäli vikatilanteen ei haluta aiheuttavan häiriötä muille rinnakkaisille piireille.

Liitteessä 3 on esitetty nousukeskus UPS (NK-UPS) pääkaavio, josta voidaan nähdä UPS-laitteen syöttämien ryhmäkeskusten nousukaapeleita suojaavien johdonsuoja-automaattien koko ja toimintakäyrä. Ryhmäkeskusten nousujohtoja suojaavat suoja-laitteet ovat 20 A C-käyrän johdonsuoja-automaatteja ja nousukaapelit ovat MMJ tyyppin PVC-eristeisiä kuparikaapeleita, joiden kaikkien johtimien poikkipinta-ala on 10 mm^2 .

Yhtälöllä 13 voidaan laskea suurin sallittu kaapelin pituus.

$$S_{max} = \frac{c_{min} \cdot U_v \cdot Z_v}{I_k \cdot 1,2 \cdot 2 \cdot z} \quad (13)$$

Jossa

S_{max} = suurin sallittu nousukaapelin pituus (km)

c_{min} = standardissa IEC 60909-0 määritelty korjauskerroin. Jännitteen vaihtelun aiheuttama korjauskerroin on esitetty taulukossa 6.

U_v = Vaihejännite (V)

I_k = oikosulkuvirta, joka aiheuttaa automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa (A). Mikäli suojaukseen käytetään C-käyrän johdonsuoja-automaatteja, voidaan vaadittava toiminta virta laskea $I_n \cdot 10$ ja mikäli käytetään B-käyrän johdonsuoja-automaatteja, voidaan vaadittava toiminta virta laskea $I_n \cdot 5$.

Z_v = Suojalaitetta edeltävän verkon impedanssi. UPS-laitteen akkukäytöllä edeltävän verkon impedanssi muodostuu kaapeleiden impedansseista. UPS-laitteen impedanssi on 0Ω .

z = Suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km). (Turvalaitteiden sähkösyötöt ja UPS-laitteiden mitoitus, 2016, 6)

Suojaavan johtimen impedanssin laskennassa tulee käyttää impedanssin arvoa, joka on suurinta sallittua jatkuvan käytön lämpötilaa vastaava impedanssin määrä eli 70°C . Mikäli ei ole käytettävissä valmistajan ilmoittamaa resistanssia suurimmassa sallitussa käyttölämpötilassa, saadaan likiarvo kertomalla 20°C vastusarvo 1,2:lla. Tämä yleistys toimii vain pienillä kaapelin poikkipinnoilla, jolloin kaapelin vastus on paljon suurempi kuin kaapelin reaktanssi, sillä lämpötilan muutos vaikuttaa ainoastaan kaapelin vastusarvoon.

UPS-laitteen syöttämän nousukeskuksen NK-UPS nousujohtojen suojalaitteena on C 20A johdonsuojakatkaisijat, joiden selektiivinen toiminta edellyttää, että pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta on 10-kertainen nimellisvirtaan nähden, eli 200 A. Tästä voidaan päätellä, että suojaus ei toimi nousukaapeleiden osalta selektiivisesti.

Seuraavana tarkastellaan tilannetta, jossa vika tapahtuu ryhmäkeskuksen UPS-jakeluosan ryhmäjohtimessa, jonka suojalaitteena toimii C-käyrän 6 A henkilösuoja-automaatti. Nousukaapeleiden impedanssien vaikutus verkon impedanssiin on laskettu yhtälöllä 14. MMJ 5x10S kaapelin impedanssi on esitetty liitteessä 5. Laskennassa käytetään kaukaisimman ryhmäkeskuksen 2.1 nousukaapelin pituutta, joka on 80 m.

$$Z_{\text{RK } 2.1 \text{ UPS}} = Z_v + ((s \cdot Z_L) + (s \cdot Z_{\text{PE}})) \quad (14)$$

$$= 0 \Omega + ((0,08 \text{ km} \cdot 1,83 \Omega/\text{km}) + (0,08 \text{ km} \cdot 1,83 \Omega/\text{km})) = 0,293 \Omega$$

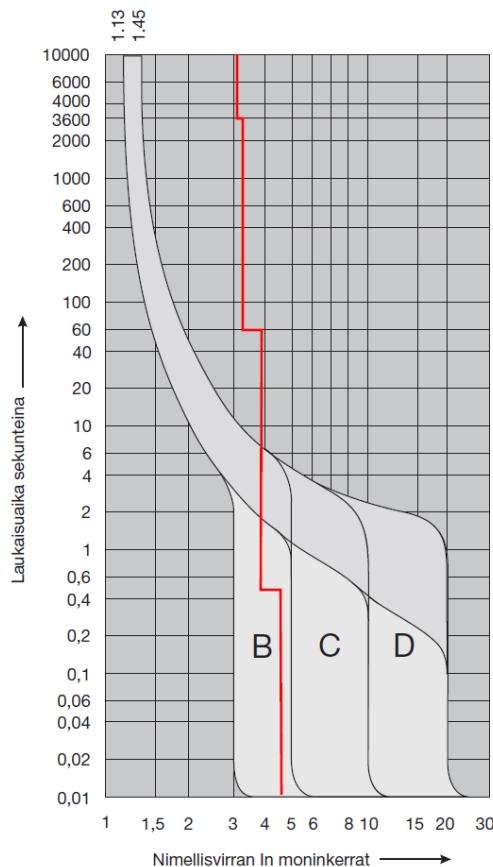
Näillä tiedoilla saadaan laskettua suurin sallittu ryhmäjohton pituus yhtälöllä 15. MMJ 3x2,5S kaapelin impedanssi on esitetty liitteessä 6.

$$S_{\text{RK 2.1 UPS}} = \frac{\frac{c_{\text{min}} \cdot U_{\text{V}}}{I_{\text{k}}} - Z_{\text{RK 2.1 UPS}}}{1,2 \cdot z} \quad (15)$$

$$= \frac{\frac{0,95 \cdot 230 \text{ V}}{60 \text{ A}} - 0,293 \Omega}{1,2 \cdot 2 \cdot 7,41 \Omega/\text{km}} = 0,188 \text{ km} \approx 188 \text{ m}$$

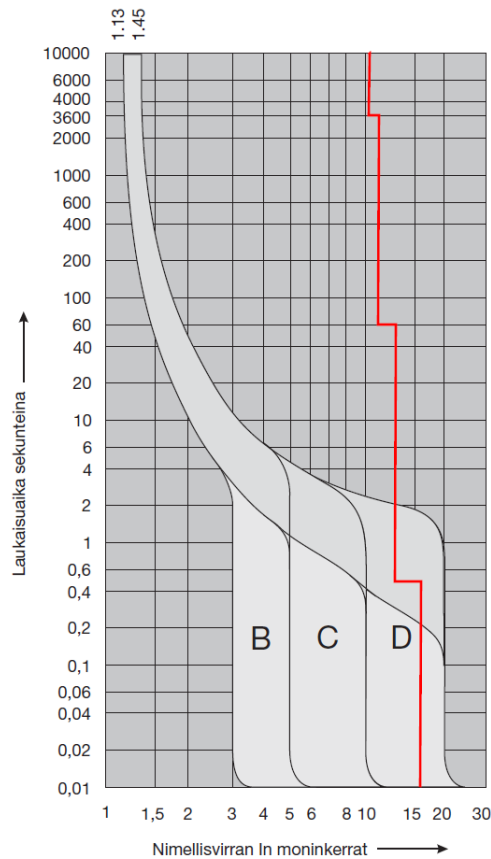
Kuviossa 11 on 20 A johdonsuoja-automaattien laukaisukäyrät, joihin on sijoitettu punaisella UPS-laitteen vaihtosuuntaajien pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta ja ylikuormitus suojauksen raja-arvot.

Tarkasteltaessa NK-UPS nousukaapeleiden suojalaitteiden toimintaa akkusyöttötilanteessa, kuviosta 11 voidaan nähdä, että nousukaapeleita suojaavien C-käyrän johdonsuojakatkaisijoiden toiminta-aika on yli 6 sekuntia. Toiminta-aika ylittää standardin SFS 6000 kohdan 411.3.2.3 pääjohdoille asettaman 5 s toiminta-ajan.



Kuvio 11. 20A johdonsuoja-automaattien laukaisukäyrät (Hager group, johdonsuojakatkaisijat, tekniset tiedot. n.d. 1)

Kuviossa 12 tarkastellaan tilannetta, jossa vika tapahtuu ryhmäkeskuksen UPS-jakeluosan ryhmäjohtimessa, jonka suojalaitteena toimii C-käyrän 6 A henkilösuoja-automaatti. Kuvion laukaisukäyrästä on sijoitettu punaisella UPS-laitteen vaihtosuuntaajien pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta ja ylikuormitus suojauksen raja-arvot.



Kuvio 12. 6A johdonsuoja-automaattien laukaisukäyrät (Hager group, johdonsuojakatkaisijat, tekniset tiedot. n.d. 1)

Kuviosta 12 voidaan nähdä, että 6 A C-käyrän johdonsuoja-automaattien suojaus toimii ryhmäjohtojen osalta selektiivisesti.

4.3 Laitteiston mitoituksen tarkastelu

Varmennettua verkkoa tulee tarkastella myös laitteen tehon riittävyyden suhteen. Tässä varmennetussa verkossa UPS-laitteen nimellisvirta on 61 A. Suojauksen selektiivisen toimimisen varmistamiseksi suojalaitteiden tulee olla mitoitettu siten, että ylikuormitussuojaus toimii jo ennen kuin laitteen nimellisvirta saavutetaan.

Tarkasteltavassa laitteistossa UPS-laitteen jälkeisen nousukeskuksen nousukaapeleiden ylikuormitussuojana toimii 5 kpl C-käyrän 20 A johdonsuoja-automaatteja. Johdonsuoja-automaattien ylemmät ylikuormitussuojauksen toimintakäyrät ovat 1,45 kertaiset johdonsuojakatkaisijoiden nimellisvirtaan nähden, eli 29 A. Mikäli UPS-laitteen syöttämää viittä lähtöä kuormitetaan yli 18 A virralla, UPS-laitteen nimellistä virtaa ylitetään ja laite sammuu, joten järjestelmän suunnittelussa olisi tullut valita kohteeseen suurempi UPS-laite.

5 Johtopäätökset

Selektiivisyyttä ja vikasuojausta on tarkasteltu käyttäen apuna standardia SFS 6000. Standardin kohdan 411.3.2.2 mukaan, mikäli suojalaitteen nimellistä virtaa ei ylitä 63 A syötettäessä yhtä tai useampaa pistorasiaa tai 32 A syötettäessä kiinteästi asennettuja sähkölaitteita, syötön automaattisen poiskytkennän on vikatilanteessa tapahduttava alle 0,4 s:ssä. Standardin kohdan 411.3.2.3 mukaan pääjohdoille on sallittu enintään 5 sekunnin poiskytkentäaika. Vaikka SFS 6000 standardi sallii 0,4 s irtikytkentäajan, tulee kuitenkin ottaa huomioon, että varmennetussa verkossa kuorman muodostavat usein tietotekniset laitteet, jotka kärsivät jo yli 20 ms jännitteen katkoista.

Lisäksi tarkastelussa huomio kiinnittyi ryhmäkeskusten jakeluiden ylikuormitussuojaukseen. Ryhmäkeskuksessa RK 2.1 UPS jakelussa on 27 kpl C-käyrän 6 A henkilösuoja-automaattia, joista käytössä on 16 kpl. Nousujohdinta suojaava suojalaite on C-käyrän 20 A johdonsuoja-automaatti. Mikäli ryhmäkeskuksen jokaista suojalaitetta kuormitetaan nimellisvirrallaan, voidaan yhtä UPS-jakelun ryhmää kuormittaa vain 1,25 A:n verran. Näin ollen ollaan helposti tilanteessa, jossa nousujohdon johdonsuoja-automaatin suurin kuormitettavuus voidaan ylittää ilman järjestelmän selektiivistä toimintaa, jolloin koko ryhmäkeskuksen jakelu on vaarassa katketa ylikuormituksen seurauksena.

UPS-laitteen kuormitusta tarkasteltaessa myös laitteen voidaan todeta olevan kohteeseen alimitoitettu. UPS-laitteen nimellistehosta, joka on ilmoitettu liitteessä 4,

voidaan laskea laitteen nimellisvirta. Kun laitteen nimellisvirta on 61 A ja viiden ryhmäkeskuksen varmennettujen jakelun osien nousujohtimien johdonsuojakatkaisijoiden nimellisvirta on yhteensä 100 A, on kuorman kasvaessa mahdollista, että UPS-laitteen nimellisteho ei riitä varmentamaan kaikkea tehon tarvetta. Tällöin laitteiston suojatoiminto sammuttaa vaihtosuuntaajat vaurioiden ehkäisemiseksi ja kuorma siirtyy staattisen ohituskytkimen kautta ohitusyötölle. Mikäli ohituskytkimen ominaisuudet ylitetään, laite sammuu ja varmennetun verkon sähkötkatkeavat.

Kuviosta 11 voidaan todeta, että akkukäyttötilanteessa nousukaapeleiden suojaus toimii vikatilanteessa 6-10 sekunnissa. Näin ollen standardin mukainen, enintään 5 sekunnin poiskytkentä ylittyy. Kuviossa 11 on myös esitetty käytettyjen johdonsuoja-automaattien B-käyrä. Kuviosta ilmenee, että standardin vaatima poiskytkentäaika ei toteudu vaihtamalla suojalaitteen tyyppiä B-käyrään.

Korjaustoimenpiteinä voidaan pitää joko UPS-laitteen korvaamista isommalla laitteella tai nousukaapeleiden johdonsuoja-automaattien vaihtamista pienemmän nimellisvirran omaaviin johdonsuoja-automaatteihin.

UPS-järjestelmän vikasuojaus ryhmäkeskusten ryhmäjohtojen osalta nähdään kuviossa 12. Kuviossa on 6 A johdonsuoja-automaattien toimintakäyriin sijoitettu UPS-laitteen toimintavirtaraja RK 2.1 UPS keskuksen pisimmän sallitun ryhmäjohtojen tilanteessa.

Selektiivisyyden kannalta UPS-jakeluverkon toiminta akkusyöttötilanteessa on ryhmäjohtojen osalta selektiivistä. Ryhmäjohtojen suojalaite toimii ennen vaihtosuuntaajien virtarajaa, mikäli RK 2.1 UPS jakelun suurin ryhmäjohtojen pituus alittaa 188 metriä, jolloin varmennettava verkko toimii selektiivisesti.

6 Pohdinta

Tavoitteena opinnäytetyössä oli tarkastella UPS-laitteiston selektiivisyyttä, etsiä materiaalia ja tarkastella ennalta sovitun kohteen suojausta ja selektiivisyyttä. Tarkastelun kohteeksi valikoitui UPS-laitteen varmentaman jakeluverkon suurimmalla nousukaapelin pituudella oleva RK 2.1 UPS keskus sekä sen suurin ryhmäjohton pituus. Lisäksi tarkastelun kohteeksi valikoitui myös laitteiston tehon riittävyys kohteen verkon selektiivisen toiminnan varmentamiseksi.

Lopputuloksena saatiin hyvä kuva tarkasteltavan UPS-laitteella varmennetun jakeluverkon vikasuojauksen ja selektiivisyyden tilasta sekä toimenpiteitä vaativista verkon osista. Tästä opinnäytetyöraportista ilmenee, kuinka vikasuojausta, selektiivisyyttä ja tehon mitoitusta tulee UPS-varmennettujen verkkojen osalta tarkastella. Raportin avulla lukijan on helppo ymmärtää UPS-järjestelmän mitoittamisen perusedellytykset sekä se, kuinka tärkeä osa järjestelmän suunnittelua tehon tarpeen mitoittaminen on, jotta varmennetusta verkosta tulee selektiivisyyden kannalta oikein mitoitettu.

Lähdemateriaalina on käytetty runsaasti kansallisia sähköalan julkaisuja, standardeja sekä voimassaolevaa lainsäädäntöä. Pääosin lähteet koostuvat Sähkö- ja teleurakoitsija liiton STUL ry:n omistaman Sähköinfo Oy:n kustantamista sähköalan julkaisuista. Ulkomaalaiset lähteet rajautuvat lähinnä standardeihin ja laitetoimittajan julkaisuihin.

Opinnäytetyöprosessissa olisi mahdollisesti tullut kiinnittää enemmän huomiota aiheen rajaukseen. Aiheenrajauksessa olisi voinut keskittyä ainoastaan staattisten varavoimalaitteistojen rakenteeseen ja oikosulkuvirtaan vaikuttavien komponenttien tarkasteluun, jotta staattisen varavoimajärjestelmän erikoispiirteet olisivat olleet helpompi ymmärtää. Lisäksi aiheen rajauksessa olisi voinut ottaa huomioon järjestelmän tehonmitoituksen eri kohteissa sekä laitteiston säännöllisen huoltotoiminnan tuoman toimintavarmuuden edut.

Tutkielman laatimiseksi on käyty läpi aiheeseen liittyvänä materiaalina kirjallisia lähteitä sekä tarkasteltu UPS-laitteistojen erityispiirteitä, tutkimuksessa tarkasteltavan kohteen suunnitelmia ja eri laitteistovalmistajien ohjeita. Tutkimuksen perusteella voidaan tulla siihen johtopäätökseen, että selektiivisen toiminnan kannalta oikean ja riittävän laitteiston valitsemiseksi on tärkeää mitoittaa varmennetun verkon tehon tarve oikein ja näin valita syöttävä UPS-laite riittävän isoksi.

Lähteet

Asennuksen dokumentointi. 2018. Febdok raportti.

Bovella, K. Hakanen, P. Heikkilä, J. Kapp, H. Kivekäs, S. Kousa, S. Poikonen, P. Sahlström, T. Tummavuori, J. 2005. ST -Käsikirja 20, Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.

D1-2017. 2018. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.

Erkkilä, V. Härkönen, P. Kauppi, V. Koivisto, P. Piikkilä, V. Tiainen, E. 2019. ST 30 Sähköteknisiä taulukoita. Espoo: Sähköinfo Oy

Finni, E. Hietaniemi, J. Karppinen, R. & Eckert, T. 2020. ST 13.31 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. Espoo: Sähköinfo Oy.

Hager Group, Johdonsuojakatkaisijat, tekniset tiedot. n.d. viitattu 20.9.2020. <https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/johdonsuojakatkaisijat-tekniset-tiedot-11fi0211.pdf>

IEC-90909-0:2016. Short-circuit current in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents. Geneva, Switzerland: IEC. Vahvistettu 01.2016.

Johdonsuojakatkaisijoiden tekniset tiedot. n.d. UTU Oy, tekniset tiedot. Viitattu 16.8.2020. <https://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/johdonsuojakatkaisijat-tekniset-tiedot-11fi0211.pdf>

L 1135/2016. Sähköturvallisuuslaki. Viitattu 22.7.2020. <http://www.finlex.fi>, ajantasainen lainsäädäntö.

Lavi, J. Uusimäki, J. 2014. ST 52.16 Yliaaltosuodatinlaitteet ja niiden sijoitus alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. Espoo: Sähköinfo Oy.

Luettelo S10-2019, Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähköturvallisuutta koskevat standardit. Turvallisuus ja kemikaalivirasto. Päivitetty 23.1.2019. Viitattu 23.7.2020. <https://tukes.fi>.

Orrberg, M. 2017. ST 53.24 Ohjeita kiinteistöjen enintään 1000 V johtojen mitoittamisesta ja suojauksesta. Espoo: Sähköinfo Oy.

Orrberg, M. Härkönen, P. 2018. ST 53.14 Ohjeet perinteisten sulakkeiden valinnasta ja käytöstä, alle 1000V:n järjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.

Poikonen, P. 2010. ST 52.35.02 UPS-laitteella varmennetun sähkönjakelujärjestelmän suunnittelu ja toteutus. Espoo: Sähköinfo Oy.

Poikonen, P. Orrberg, M. 2017. ST 53.13 Kiinteistöjen sähköverkon suojauksen selektiivisyys. Espoo: Sähköinfo Oy.

RPS SpA - Riello Power Solutions. n.d. Multi sentry MST 30-40, Installation and use manual. Italy:Legano.

Sesko Ry. N.d. Sesko Ry artikkeli. Viitattu 24.7.2020. https://www.sesko.fi/sesko_ry

SFS 6000-5-52:2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Vahvistettu 18.8.2017. Viitattu 31.7.2020. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

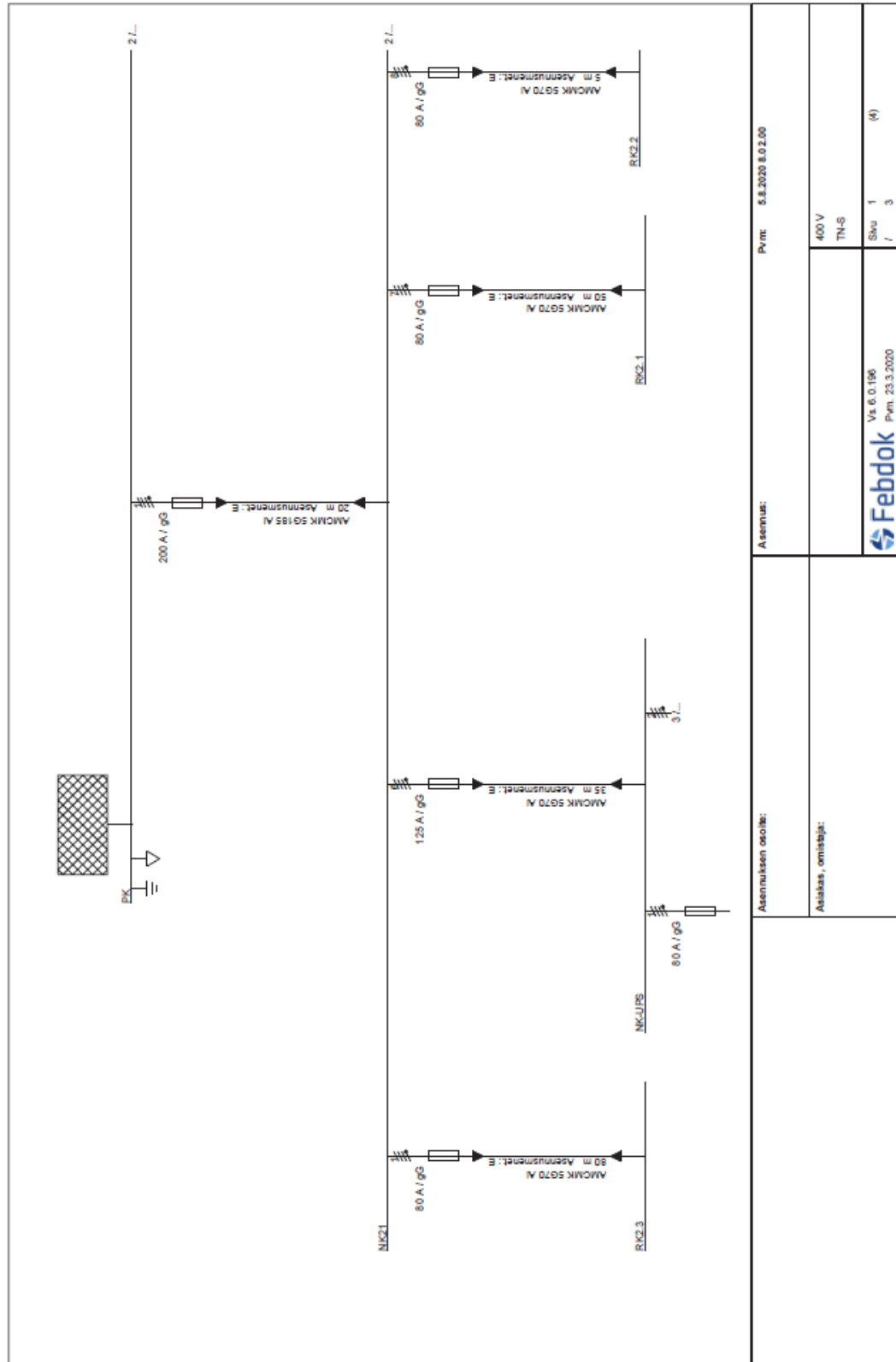
Sähköalan säännökset. 2020. Espoo: Henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy.

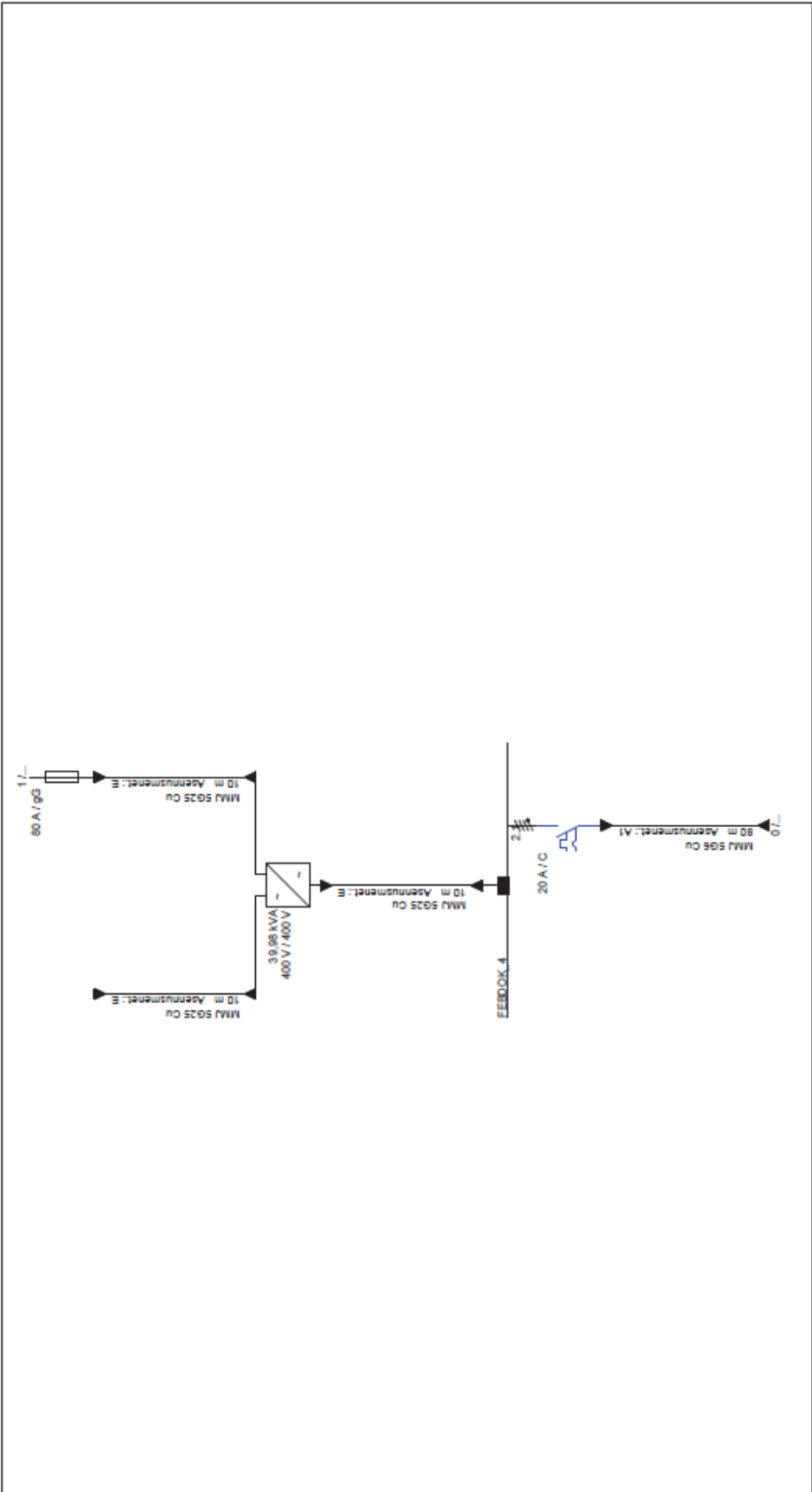
Tummavuori, J. 2010. ST52.35.01 UPS-laitteet ja -järjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.

Turvallisuuden sähkösyötöt ja UPS-laitteiden mitoitus. 2016. Ohje 2.11.2016. Liikennevirasto, Tekniikka ja ympäristö-osasto. Viitattu 6.9.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/ohje_2016_turvallisuuden_sahkonsyotot_web.pdf

Liitteet

Liite 1. Tarkasteltavan kohteen nousujohtokaavio





Asennuksen osoite:		Asemus:		Pvm: 5.8.2020 8.02.00	
Asiakas, omistaja:		400 V TN-S		/ /	
		Va. 6.0.196 Pvm. 23.3.2020		Shu 3 / 3	
				Ø	



Liite 2. Riello MST 40 datalehti

TECHNICAL DATA

UPS Models	MST 30	MST 40
INPUT STAGE		
Nominal voltage	380-400-415 Vac 3-phase with neutral (4 wire)	
Nominal frequency	50-60Hz	
Accepted input voltage tolerance due to no intervention of the battery (referred to 400Vac)	± 20% @ 100% load -40% +20% @50% load	
Accepted input frequency tolerance due to no intervention of the battery (referred to 50/60Hz)	± 20% 40-72Hz	
Technology	High frequency IGBT or CoolMos with an independent digital PFC average current mode control on each phase	
Input current harmonic distortion	THDi ≤ 3 % ⁽¹⁾	
Input power factor	≥ 0.99	
Power Walk In mode	Programmable from 1 to 125 sec. in steps of 1 sec.	
OUTPUT STAGE		
Nominal voltage ⁽²⁾	380/400/415 Vac 3-phase with neutral (4wire)	
Nominal frequency ⁽³⁾	50/60Hz	
Nominal apparent output power	30kVA	40kVA
Nominal active output power	27kW	36kW
Output power factor	0,9	
Short circuit current	1,5 x In for t > 500ms	
Precision of output voltage (referred to a 400Vac output voltage)	± 1%	
Static stability ⁽⁴⁾	± 0.5%	
Dynamic stability	± 3% resistive load ⁽⁵⁾	
Voltage harmonic distortion with linear and normalised distorting load	≤ 1% with linear load ≤ 3% with distorting load	
Crest factor allowed with nominal load	3:1	
Frequency precision in free running mode	0,01%	
Inverter overload (Vin>345V AC)	103% Infinite, 110% 10 min, 125% 1 min	
Bypass Overload	110% Infinite, 125% 60 minutes, 150% 10 minutes	
Technology	High efficiency inverter with digital multiprocessor (DSP+µP) voltage/current control, based on signal processing techniques with feedforward	

Liite 3. NK-UPS keskuksen pääkaavio

KESKUS	RYHMÄ	OSOITE	A/A	JOHDOTUS
		Potentialintausjohtin		MK16 KEVI
		Nousujohto NK21/Pääkytkin		AMCMK 4x120Al/41Cu
	1	UPS -syöttö	80/00	MMJ 5x25S HF
	2	UPS -ohitusyöttö	63/00	MMJ 5x25S HF
	3	Varalla	B16	
	4	Varalla	B16	
	5	Varalla	B16	
	6	Varalla	B10	
	7	Varalla	B10	
	8	Varalla	B10	
			Syöttö valtakunnan verkosta	
		UPS-huolto-ohituskytkin		
		Syöttö UPS-laitteelta		VSKB 5x25S
		Ennakoiva apukosketin huolto-ohitus		KLM 2x0,8
		Kytetään UPS-laitteelle		
		Kanteen teksti:		
		UPS-huolto-ohitus kytkentä		
		1) Kytke UPS-laitte sisäiselle ohitukselle		
		2) Käännä huolto-ohituskytkin asentoon sähköverkko		
	9	UPS -syöttö RK2.1	C20	MMJ 5x10S HF
	10	UPS -syöttö RK2.2	C20	MMJ 5x10S HF
	11	UPS -syöttö RK2.3	C20	MMJ 5x10S HF

KESKUS	RYHMÄ	OSOITE	A/A	JOHDOTUS
 	12	UPS -syöttö RK2.4	C20	MMJ 5x10S HF
<div style="border: 1px dashed black; width: 150px; height: 30px; margin-left: 20px;"></div>	13	UPS -syöttö RK2.5	C20	MMJ 5x10S
		Tilavaraus 350x300		

	85	UPS–PISTORASIA ALUE 211 HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	MMJ 3x2,5S
	86	UPS–PISTORASIA ALUE 211 HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	MMJ 3x2,5S
	87	UPS–PISTORASIA ALUE 211 HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	MMJ 3x2,5S
	88	UPS–PISTORASIA ALUE 211 HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	MMJ 3x2,5S
	89	UPS–VARALLA HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	
	90	UPS–VARALLA HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	
	91	UPS–VARALLA HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	
	92	UPS–VARALLA HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	
	93	UPS–VARALLA HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	
	94	UPS–VARALLA HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	
	95	UPS–VARALLA HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	
	96	UPS–VARALLA HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	
	97	UPS–VARALLA HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	
	98	UPS–VARALLA HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	
	99	UPS–VARALLA HENKILÖSUOJA 6A/30mA	C6	

Liite 5. MMJ 5x10S kaapelin datalehti

REKA
K A A P E L I

Reka Kaapeli
+358 207 200 20
Kaapelikatu 2
05800 Hyvinkää
<http://www.reka.fi>

MMJ Asennuskaapeli 5x10 S



Kiinteään asennukseen sisällä ja ulkona, ei maahan eikä suoraan betonivaluun. Johdineriste on suojattava suoralta auringonvalolta.

Paloluokka	Eca
CPR - DoP	2017010_DOP.pdf 2017013_DOP.pdf
Johdin	1,5...2,5 mm ² pyöreä kuparilanka 6...25 mm ² pyöreä kupariköysi
Eristys	PVC-muovi
Johtimien tunnistaminen	HD 308 S2 mukaan
Täyte	PVC-muovi
Ulkovaippa	Valkoinen UV-suojattu PVC-muovi

Tunnus: 5x10 S
Reka koodi: 1102128-fi
Pakkaustiedot (m): 250 K10

Jännitetaso	450/750 V
Halkaisija (mm)	22
Paino (kg/km)	830
Pienin taivutussäde (cm)	22
Pienin taivutussäde, kertataivutus (cm)	7

Suurin vetovoima vetopäällä (kN)	2,50
Vaihejohtimen maks. tasavirtaresistanssi, +20°C (ohm/km)	1,83
Käsittely (°C)	-15
Käyttö (°C)	70
Oikosulku °C	160
Sähkönumero	0406946
EAN koodi	6410004069462



Tallennettu www.reka.fi -sivustolta 5.9.2020. Huomioithan, että tuotetiedot voivat muuttua.

Liite 6. MMJ 3x2,5S kaapelin datalehti

REKA
K A A P E L I

Reka Kaapeli
+358 207 200 20
Kaapelikatu 2
05800 Hyvinkää
<http://www.reka.fi>

MMJ Asennuskaapeli 3x2,5 S



Kiinteään asennukseen sisällä ja ulkona, ei maahan eikä suoraan betonivaluun. Johdineriste on suojattava suoralta auringonvalolta.

Paloluokka	Eca
CPR - DoP	2017010_DOP.pdf 2017013_DOP.pdf
Johdin	1,5...2,5 mm ² pyöreä kuparilanka 6...25 mm ² pyöreä kupariköysi
Eristys	PVC-muovi
Johtimien tunnistaminen	HD 308 S2 mukaan
Täyte	PVC-muovi
Ulkovaippa	Valkoinen UV-suojattu PVC-muovi

Tunnus: 3x2,5 S
Reka koodi: 1102111-3-fi
Pakkaustiedot (m): 1000 K7

Jännitetaso	300/500 V
Halkaisija (mm)	11
Paino (kg/km)	160
Pienin taivutussäde (cm)	11
Pienin taivutussäde, kertataivutus (cm)	3

Suurin vetovoima vetopäällä (kN)	0,38
Vaihejohtimen maks. tasavirtaresistanssi, +20°C (ohm/km)	7,41
Käsittely (°C)	-15
Käyttö (°C)	70
Oikosulku °C	160
Sähkönumero	0456923
EAN koodi	6410004569238



Tallennettu www.reka.fi -sivustolta 5.9.2020. Huomioithan, että tuotetiedot voivat muuttua.