

Jouni Tähtinen

SÄHKÖASEMAN TASASÄHKÖKESKUKSIEN MITOITUS JA
VALINTA

Sähkötekniikan koulutusohjelma
2015

SÄHKÖASEMAN TASASÄHKÖKESKUKSIEN MITOITUS JA VALINTA

Tähtinen, Jouni
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2015
Ohjaaja: Nieminen, Esko
Sivumäärä: 45
Liitteitä: 8

Asiasanat: tasasähköjärjestelmä, tasasähkökeskus, mitoituslaskelmat

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia sähköaseman tasasähköjärjestelmiä, niihin kuuluvia laitteita ja laitteistoja sekä järjestelmiin kuuluvaa mitoitus teoriaa. Työ tehtiin ABB Oy:n Power Systems- divisioonan Substations- yksikölle, sillä haluttiin, että tasasähköjärjestelmän suunnittelutehtävistä saataisiin yleiskuvaus uusille henkilöille. Myös ABB Oy:n omia laskentatyökaluja oli tarkoitus päivittää käyttäjäystävällisemmiksi.

Aluksi työssä käytiin läpi sähköaseman tasasähköjärjestelmät perusteellisesti. Tämän jälkeen käsiteltiin mitoittamiseen liittyvää teoriaa sekä annettiin yhden aseman esimerkkilaskelmat. Laskelmat tehtiin erääseen ABB Oy:n sähköasemaprojektiin. Laskelmissa käytettiin hyväksi ABB Oy:n valmiita laskentatyökaluja.

Tuloksina saatiin kattava kuvaus sähköaseman tasasähköjärjestelmistä sekä niihin liittyvästä mitoitus teoriasta. Myös sähköasemaprojektiin tehtyjen laskelmien tulokset hyödynnettiin. Opinnäytetyön tuloksena saatiin myös tasasähköjärjestelmien suunniteluopas uusille henkilöille, laskentatyökaluja muutettiin käyttäjäystävällisemmiksi sekä kyseisiin työkaluihin luotiin englanninkieliset käyttöoppaat.

THE SIZING AND SELECTION OF DC-BOARDS IN ELECTRICAL SUBSTATIONS

Tähtinen, Jouni

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

May 2015

Supervisor: Nieminen, Esko

Number of pages: 45

Appendices: 8

Keywords: DC-system, DC-board, sizing calculations

The purpose of this thesis was to investigate direct current (DC) systems in electrical substations as well as theory relating to the sizing of these systems. The thesis was produced for the Substations department of the Power Systems division of ABB Inc., because a general outline regarding the designing of DC systems, intended for newly hired personnel, was required. Updating the calculation tools used at ABB Inc. with a view towards making them more user-friendly was also part of the agenda.

The first phase of the thesis involved a thorough presentation of the DC systems used in electrical substations. Next, theory related to the sizing of DC systems in electrical substations was discussed. As a part of this phase, the calculations of one substation were provided as an example of how to put said theory into practice. These calculations were made for an actual substation project at ABB Inc. They were made using existing calculation tools provided by the company.

The thesis resulted in a comprehensive description of the DC systems used in electrical substations and of the theory related to their sizing. The results of the calculations made for the electrical substation project were also put into use. A guide to designing DC systems for new personnel was compiled, and the calculation tools used at ABB Inc. were enhanced in a way that made them more user-friendly. Manuals in English were also created for the tools in question.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ABB OY	7
3	TASASÄHKÖJÄRJESTELMÄT	8
3.1	Tasasähköjärjestelmän yleinen kuvaus	8
3.2	Jännitetasot.....	9
3.3	Tasasähkön jakelu ja tasasähkökeskukset.....	10
3.4	Varaaja	11
3.4.1	Varaajan tehtävä	12
3.4.2	Varaajalle asetetut vaatimukset	13
3.4.3	Varausmenetelmiä	14
3.5	Akusto.....	15
3.5.1	Lyijyakut	15
3.5.2	Nikkeli-kadmiumakut.....	17
3.5.3	Akuston sijoitus	17
3.5.4	Akuston huolto	19
3.6	Invertterillä varmennettu vaihtosähkönsyöttö.....	19
3.7	Suojaus.....	20
3.7.1	Toteutus	21
4	MITOITUS.....	23
4.1	Akusto.....	23
4.1.1	Kennojen lukumäärä.....	24
4.1.2	Alin sallittu kennojännite	24
4.1.3	Akuston kapasiteetti	25
4.2	Varaaja	26
4.3	Toisiokaapelit.....	26
4.3.1	Johtojen kuormitettavuustaulukot	27
4.3.2	Korjauskertoimet	27
4.3.3	Kaapelin mitoitus.....	28
4.4	Suojalaitteet.....	28
4.4.1	Jännitteenalenema.....	29
4.4.2	Selektiivisyys	29
4.4.3	Selektiivisyyden toteaminen.....	30
4.4.4	Laukaisuajat	31
5	MITOITUSESIMERKKI	32
5.1	Akusto.....	32
5.2	Varaaja	33

5.3	Suojalaitteet ja toisiokaapelit	34
5.3.1	Jännitteenalenema.....	35
5.3.2	Laukaisuajat	35
5.3.3	Selektiivisyys	38
6	TULOKSET	41
6.1	Akusto ja varaaja.....	41
6.2	Suojalaitteet ja toisiokaapelit	41
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	42
7.1	Johtopäätökset tutkimuksesta.....	42
7.2	Työssä opittua	43
	LÄHTEET.....	45
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdytään sähköaseman tasasähköjärjestelmiin, niitä koskeviin standardeihin sekä niihin kuuluviin laitteisiin ja laitteistoihin perusteellisesti.

Työssä annetaan yleiskuvaus sähköaseman tasasähköjärjestelmistä, niihin kuuluvista laitteista ja laitteistoista, mitoittamiseen liittyvästä teoriasta sekä lasketaan yhden aseman esimerkkimitoituslaskelmat.

Esimerkkilaskussa suoritetaan erään ABB Oy:n 110/20 kV:n tuulivoimapuiston tasasähköjärjestelmän mitoitus ja valinta mitoitusteoriaa hyödyntäen. Laskelmat tehdään käyttämällä ABB Oy:n valmiita laskentapohjia, mutta osa laskelmista myös varmennetaan käsin laskuin.

Työn lopputuloksena saatiin kattava kuvaus sähköaseman tasasähköjärjestelmistä. ABB Oy:n sisäiseen käyttöön luotiin tasasähköjärjestelmien suunnitteluopas uusille henkilöille, käyttäjäystävällisemmät laskentapohjat sekä näihin englanninkieliset käyttöoppaat. Myös sähköasemaprojektiin tehtyjen laskelmien tulokset hyödynnettiin.

2 ABB OY

ABB:n merkittävä asema Suomessa perustuu Gottfrid Strömbergin Helsinkiin vuonna 1889 perustamaan yritykseen. Sähkötekniikasta kiinnostunut Axel Gottfrid Strömberg ryhtyi Helsingissä yrittäjäksi liikeideanaan tasavirtakoneet, asuin- ja liikekiinteistöjen valaistuskeskukset sekä asennukset. Vuosikymmenien aikana liiketoiminta laajentui muualle Suomeen. Tammikuussa 1988 ruotsalaisen Asean ja sveitsiläisen Brown Boverin sähkötekniset liiketoiminnot sulautettiin yhteen 50:50- omistusperiaatteella, ja syntyi näiden suomalainen tytäryhtiö ABB Oy. (ABB Oy:n www-sivut 2015.)

Tänä päivänä ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä. ABB työllistää noin 140 000 henkilöä yli 100 maassa ja kaikilla mantereilla. (ABB Oy:n www-sivut 2015.)

ABB:n toiminta koostuu viidestä divisioonasta, jotka puolestaan jakautuvat osiin eri asiakasryhmien sekä teollisuudenalojen mukaan. Suomessa ABB toimii noin 21 paikakunnalla työllistäen noin 5200 työntekijää. Suomessa ABB:n divisioonat ovat Power Systems, Power Products, Discrete Automation and Motion, Low Voltage Products sekä Process Automation. Tehdaskeskittymät sijaitsevat Vaasassa, Helsingissä sekä Porvoossa. Suomessa ABB on yksi suurimmista teollisuuden työnantajista. Liikevaihto Suomessa on noin 2,1 miljardia euroa. Suomen ABB on vahva tuotekehittäjä, vuosittain investoidaan noin 200 miljoonaa euroa tutkimukseen ja tuotekehitykseen. (ABB Oy:n www-sivut 2015.)

Power Systems- divisioona tarjoaa voimansiirtoon, voimantuotantoon sekä sähkönjakeluun liittyviä palveluja ja ratkaisuja. Power Systems- divisioonan Substations- yksikkö toimittaa sähköasemia avaimet käteen -periaatteella. ABB:n sähköasemia löytyy eri puolilta maailmaa, niin kaupunkien keskustoista kuin syrjäseuduiltakin. (ABB Oy:n www-sivut 2015.)

3 TASASÄHKÖJÄRJESTELMÄT

3.1 Tasasähköjärjestelmän yleinen kuvaus

Sähköaseman apusähköjärjestelmät voidaan jakaa kahteen osaan, vaihtosähkö- eli omakäyttöjärjestelmään sekä akkuvarmennettuun tasasähköjärjestelmään. Tärkeimmät vaihtosähkösyötöt varmennetaan myös siten, että niitä syötetään tasasähköjärjestelmän akustosta vaihtosuuntaajan välityksellä. (Siivonen 2007, 7.)

Tässä työssä perehdytään nimenomaan tasasähköjärjestelmiin.

Tasasähköjärjestelmä on tärkeä osa koko sähköaseman toimintavarmuutta. Siihen kuuluu aseman suojausjärjestelmän ja kaukokäytön komponentteja sekä laitteita. Suojareleiden ja kaukokäytön lisäksi akkuvarmennuksen piiriin kuuluvia laitteita ovat mm. katkaisijoiden viritysmoottorit, erottimien ohjausmoottorit ja lukitusjännitteet. Kyseiset toiminnot ja komponentit tarvitsevat luotettavaa ja riittävän hyvälaatuista tasasähköä sekä normaali- että vikatilanteiden aikana. (Siivonen 2007, 7; Raitakoski 1999, 2.)

Tasasähköjärjestelmä on erityisen tärkeä, koska suojauksen tulee toimia jokaisella hetkellä. Järjestelmä saa syöttönsä omakäyttökeskukseen kytketystä tasasuuntaajasta, mutta se on tämän lisäksi myös akkuvarmennettu. (Siivonen 2007, 7.)

Normaalitilanteessa, eli silloin kun omakäyttökeskuksesta tuleva syöttö toimii moitteettomasti, tasasuuntaajat syöttävät aseman tarvitseman tasasähkön, sekä samalla huolehtivat akuston varaamisesta. Jos vaihtosähkönsyötössä ilmenee ongelmia, syötetään aseman tasasähkö akustosta. Akustot on mitoitettava siten, että vahingot on mahdollista korjata ennen akkujen tyhjenemistä. Suomessa rajana on käytetty kymmentä tuntia. (Ojavalli 2011, 20.)

Tasasähköjärjestelmän vikaantuminen aiheuttaisi peruuttamattomia seurauksia sähköasemalle sekä olisi vaaraksi ihmisille. Tämän takia luotettavuutta yleensä parannetaan kahdentamalla tasasähköjärjestelmä.

Varaajan yhteydessä tämä tarkoittaa sitä, että on hankittava kaksi varaajaa. Akuston kahdennus voidaan kuitenkin toteuttaa jakamalla akuston alkuperäinen kapasiteetti kahteen osaan. (Raitakoski 1999, 3.)

Akuston kahdennusta ei pelkästään tehdä pidentämään aikaa, jolloin järjestelmä on ilman vaihtosähkönsyöttöä, vaan kahdennus pääasiassa tehdään sähköaseman suojaus- ja ohjausjärjestelmien käyttövarmuuden parantamiseksi. (Siivonen 2007, 17.)

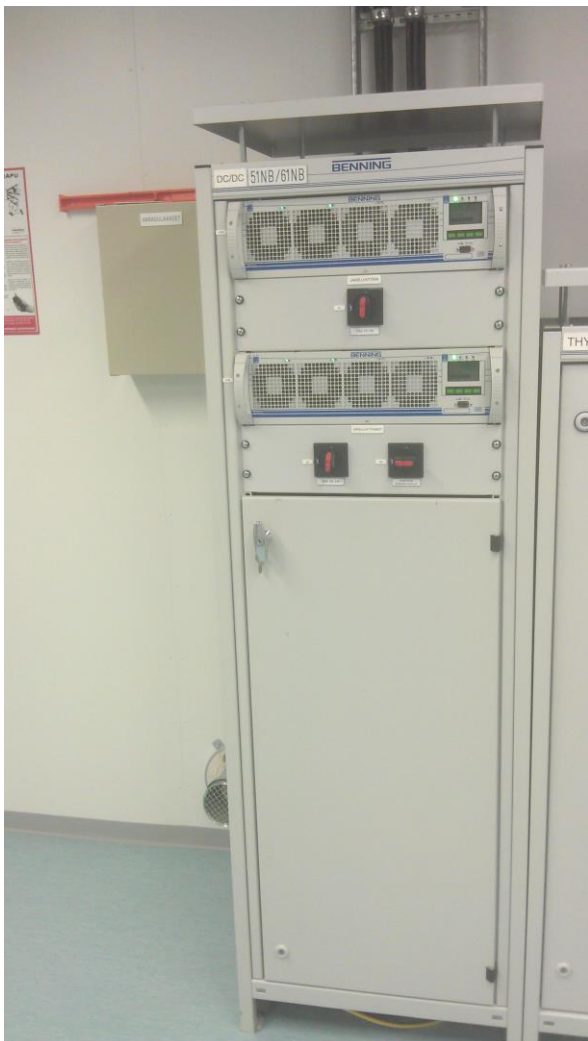
Tasasähköjärjestelmää kahdennettaessa kuormituksen tarvitsemat apusyötöt tulee ryhmitellä eri järjestelmille pää- ja varasuojauksen mukaisesti, jolloin toisen osajärjestelmän vikaantuminen ei saata toimintakyvyttömäksi aseman suojaus- ja ohjausjärjestelmää. Kahdennettu järjestelmä mahdollistaa myös järjestelmän turvallisen ja helpon huollon, sillä kyseinen akusto tai varaaja voidaan kytkeä kuormasta irti huollon ajaksi toisen akuston tai varaajan huolehtiessa tasasähkön tarpeesta. (Raitakoski 1999, 3.)

3.2 Jännitetasot

Sähköasemien tasasähköjärjestelmien nimellisjännitteinä ovat seuraavat jännitteet: 24 V, 48 V, 60 V, 110 V sekä 220 V. Näistä 60 V on siirtynyt syrjään uusia asemia rakennettaessa. Vanhoilla asemilla voi kuitenkin kyseiseen jännitetasoon törmätä. 24 V ja 48 V ovat käytössä lähinnä kaukokäyttöjärjestelmän apujännitteenä, automaatiojärjestelmissä sekä merkinanto- ja hälytysjärjestelmissä. (Siivonen 2007, 18.)

24 V:n ja 48 V:n jännitetasot saadaan aikaan DC/DC-muuntimilla 110 V:n tai 220 V:n jännitteestä. Erillisiä akustoja näille jännitetasoille ei ole yleensä rakennettu, joten viatilanteessa ne saavat syöttönsä 110 V:n tai 220 V:n akustolta. (Siivonen 2007, 18.)

Joissakin kevytasematapauksissa 48 V:n jännitteelle saatetaan rakentaa myös omat akustot (Udd 28.4.2015).



Kuva 1. Tasasähköjärjestelmän DC/DC muunnin (Tähtinen 2015.)

Nykyään tasasähköjärjestelmän suojaukseen ja ohjaukseen käytetään 110 V:n ja 220 V:n tasajännitteitä. Näistä 220 V käytetään pääasiassa suurilla asemilla, joissa ohjausetäisyydet kasvavat pitkiksi ja jännitehäviöt ovat suuret. (Siivonen 2007, 18.)

3.3 Tasasähkön jakelu ja tasasähkökeskukset

Tasasähkön jakelu sähköasemilla tapahtuu tasasähkökeskuksen kautta. Tasasähkökeskuksen syötöt suojataan sulakkeilla sekä sulakkeen palamisesta ilmoittavilla kytkinvarokkeilla. Keskus syöttää alakeskuksia, jotka sijaitsevat kulutuspisteiden lähellä. (Siivonen 2007, 20.)

Tasasähkökeskusten määrään vaikuttaa, onko järjestelmä kahdennettu vai ei. Jokaiselle keskukselle on oma akustonsa sekä oma tasasähkönsyöttö varaajalta. (Siivonen 2007, 20.)

Tasasähkökeskuksen kotelointiluokan on oltava vähintään IP 30. Vähimmäisvaatimuksen lisäksi huomioidaan asennuspaikan olosuhteet, jotka määräävät lopullisen kotelointiluokan. (Raitakoski 1999, 22.)



Kuva 2. Tasasähkökeskus (Tähtinen 2015.)

Tasasähkökeskuksen lähdöt ovat nähtävissä yleiskaaviossa, joka on esitetty liitteessä 1. Akuston purkauskoetta varten on keskuksessa valmiina ulosotto. Lisäksi keskuksessa on valmiina kytkentäkohta vara-akustolle. Kojeita valittaessa tulee ottaa huomioon, että kaikkien kojeiden ja laitteiden tulee olla tasasähköön suunniteltuja.

Tasasähkökeskukseen sijoitetaan jakelun komponenttien lisäksi voltti- ja ampeerimitarit. Keskuksen rakennetta on esitelty liitteessä 2.

3.4 Varaaja

Tasasuuntaajan tarkoitus on muuttaa vaihtosähkö tasasähköksi. Yksinkertaisuudessaan tasasuuntaaja voi rakentua muuntajasta, diodista ja vastuksesta. Yleisesti ottaen

muuntaja muuttaa vaihtojännitteen kuormalle sopivaksi tasajännitteeksi. Tämän jälkeen se tasasuunnataan diodin avulla ja rajoitetaan virrankasvua vastuksella. (Raitakoski 1999, 18.)

3.4.1 Varaajan tehtävä

Varaajan tehtävänä on normaalissa toiminnassa syöttää aseman tarvitsema jatkuva tasasähkökuorma sekä akuston kestovarausvirta. Varaajat saavat vaihtosähkönsyöttönsä sähköaseman omakäyttökeskukselta. Normaali tila tarkoittaa häiriötöntä tilaa. Lyhytaikaisia kuormitushuippuja, kuten viritysmoottorin käynnistymistä, ei tasasuuntaaja yksin pysty syöttämään. Tällöin osan kuormituksesta syöttää akusto. (Siivonen 2007, 28.)

Vikatilanteessa varaajan on kytkeydyttävä pois käytöstä ja siirrettävä vastuu kuormien syötöstä akustolle. Varaajan virranrajoituksen on oltava niin nopea, että tasasähköjärjestelmässä sattuva oikosulku ei ennätä aiheuttamaan varaajan pois putoamista. Varaajan kuitenkin vioittuessa, on sen automaattisen irti kytkeytymisen tapahduttava sekä tasa- että vaihtosähköpuolella. (Raitakoski 1999, 20.)

Kahdennetussa järjestelmässä häiriön sattuessa kummankin osajärjestelmän varaajan on kyettävä syöttämään aseman tasasähkökuorma, toisen akuston kestovarausvirta sekä toisen akuston varausvirta. (Siivonen 2007, 29.)



Kuva 3. Kahdennetun tasasähköjärjestelmän kaksi varaajaa (Tähtinen 2015.)

3.4.2 Varaajalle asetetut vaatimukset

Sähköaseman tasasähköjärjestelmässä käytettyjen varaajien on oltava virranrajoituksella varustettuja ns. vakiojännitetasasuuntaajia, joilla varataan akustoa UI-ominaiskäyrän mukaisesti. Virranrajoituksen voi normaalisti säätää 50- 105 %:iin virran nimellisarvosta. (Raitakoski 1999, 18- 19.)

Varaajan syöttämän tasajännitteen sykkeisyyden ja aaltoisuuden on oltava mahdollisimman pientä. Jännitteen sykkeisyys voi vahingoittaa akustoa, jolloin akuston elinikä lyhenee. Nykyään markkinoilla olevien varaajien sykkeisyysarvot ovat kuitenkin mitättömiä. Nykyaikaisissa tasasuuntaajissa syöttävän nimellisjännitteen pystyy säätämään 0,5 %:n päähän säädetyistä arvosta. Myös asettelualue pystytään valitsemaan 95- 120 %:iin nimellisjännitteestä. Kun päästään näin tarkkoihin lukemiin, ei akuston elinikä riipu juurikaan varaajista. Varaajat eivät myöskään saa aiheuttaa kohtuuttomia yli-aaltoja sähköverkkoon. Varaajalta akustoon tulevan tasavirran vaihtovirtakomponentin tehollisarvo saa olla enintään 1A/50Ah. (Siivonen 2007, 30.)

3.4.3 Varausmenetelmiä

Akkuja varattaessa on mahdollisuus käyttää erilaisia varausmenetelmiä. Yleisimmin käytössä olevia menetelmiä ovat

- varaus laskevalla virralla
- vakiovirtavaraus
- vakiojännitevaraus virtarajoituksella.

I) Varaus laskevalla virralla

Tätä varausmenetelmää käytetään varaamaan mm. autonakkuja. Kyseistä varausmenetelmää ei sen tarkemmin työssä käsitellä.

II) Vakiovirtavaraus

Vakiovirtavarausta käytetään yleisesti ensivaruksessa tai kun halutaan varata akkua nopeasti irti kytkettynä muusta kuormasta. Varausmenetelmässä pidetään virta vakiona kokoajan. Näin saadaan myös varatut ampeeritunnit helposti selville.

III) Vakiojännitevaraus virtarajoituksella

Yleensä vakiojännitevaraukseen yhdistetään vakiovirtavaraus. Tämä tehdään sen takia, että puhtaassa vakiojännitevarauksessa varausvirta kasvaisi alussa todella suureksi. Yhdistämällä vakiojännitevaraus ja vakiovirtavaraus saadaan tehokas menetelmä: vakiojännitevaraus virtarajoituksella. Tätä kutsutaan myös varaukseksi UI-käyrän mukaan.

Vakiojännitevaraus virtarajoituksella tapahtuu siten, että ensin akkua varataan vakiovirralla niin kauan, että jännite saavuttaa sille ennalta säädetyn arvon. Tämän jälkeen varaaja siirtyy automaattisesti vakiojänniteohjaukseen. Tämä menetelmä sopii hyvin sähköasemakäyttöön, sillä menetelmällä pystytään estämään suuret vaihtelut jännitteessä. Käyttämällä UI-menetelmässä kahta eri varausjännitettä, saadaan varaajaan pika- ja kestovaraustoiminnot. (Raitakoski 1999, 20- 21.)

3.5 Akusto

Akustoja käytetään energian varastointiin mahdollisten vikatilanteiden varalta. Sähköasemien tasasähköjärjestelmissä käytetään paikallisakkuja, joiden tehtävänä on toimia energialähteenä katkoksten aikana (stand by) ja tasaamaan kuormitushuippuja (puskurikäyttö). Sähköasemilla tasasähkön varastointiin käytetään sarjaan kytkettyjä lyijy- tai nikkeli-kadmiumakkuja. (Raitakoski 1999, 6.)

Nykyisin sähköasemakäytössä suositaan kuitenkin lyijyakkuja niiden edullisen hinnan, yksinkertaisen rakenteen, hyvän hinta-laatu-suhteen, saatavuuden ja korkean virranottokyvyn takia. (Alanen 2003, 50.)



Kuva 4. Kahdenntetun tasasähköjärjestelmän kaksi akustoa (Tähtinen 2015.)

3.5.1 Lyijyakut

Lyijyakut jaetaan avoimiin sekä suljettuihin (huoltovapaisiin) akkuihin. Avoimet lyijyakut koostuvat yhdestä tai useasta avokennosta. Avoakut ovat suuria ja painavia ja

vaativat huoltoa säännöllisesti. Ne myös vaativat oman akkuhuoneen syntyvien palorokojen kaasujen sekä happoroiskeiden takia. Ne ovat kuitenkin pitkäikäisiä ja toimintavarmoja. (Sähkötieto ry. 2005, 231.)

Suljetut eli huoltovapaat akut ovat halvempia sekä pienempiä kuin avoimet. Suljetussa lyijyakussa kemiallinen reaktio on hieman erilainen kuin avoimissa. Reaktioiden seurauksena veden häviäminen kennosta on suljetuilla avoimia huomattavasti pienempää. Toimintahäiriö voi kuitenkin aiheuttaa suljetun lyijyakun kuivumiseen ja sisäiseen oikosulkuun, jolloin koko akun kapasiteetti menetetään. Suljetuilla akuilla on lyhempi elinikä kuin avoakuilla, ja ne ovat lisäksi herkempiä kuormituksen suhteen. (Sähkötieto ry. 2005, 231.)

Lyijyakujen levyt ovat joko putkilevy- tai tasapintarakenteisia. Putkilevyrakenteisen akun positiivinen levy on putkirakenteinen ja negatiivinen levy on tasapintalevy. Tasapintarakenteisissa akuissa molemmat levyt ovat tasapintalevyjä.

Akut sopivat rakenteesta riippuen eri käyttökohteisiin. Putkilevyrakenteiset akut sopivat paikallis- ja trukkipäyttöön. Tasapintarakenteiset akut sen sijaan sopivat hyvin paikallis- ja käynnistyskäyttöön.

Paikalliskäytössä avoimet lyijyakut ovat yleensä putkilevyrakenteisia ja suljetut lyijyakut tasapintarakenteisia. Suljettuja lyijyakkuja käytetään lähinnä valmiiden tasasähköjakeluyksikköjen yhteydessä. Avoimia lyijyakkuja käytetään yleensä erillislaitteistoista kootuissa tasasähköjärjestelmissä niiden helpomman kunnonvalvonnan ja luotettavuuden ansiosta. (Raitakoski 1999, 6.)

Vetykaasun muodostusprosessissa kennosta katoaa vettä. Jossakin akkutyypeissä vettä joudutaan lisäämään manuaalisesti, mutta on myös olemassa akkutyyppisiä, joissa haihtuva vesi johdetaan suoraan takaisin kennoon akun rakenteessa olevien venttiilien avulla. (Siivonen 2007, 22.)

Lyijyakun hyvät puolet ovat:

- vakaa napajännite eri kuormituksilla
- halpoja
- korkea virranottokyky

- vähäinen huollon tarve
- hyvä hyötysuhde
- ei tulenarka

Lyijyakun huonot puolet ovat:

- painavia
- syövyttävä rikkihappo
- räjähdysvaara yliladattaessa
- ympäristölle vaarallinen. (Siivonen 2007, 22.)

3.5.2 Nikkeli-kadmiumakut

Nikkeli- kadmiumakuilla (NiCd -akku) on pidempi käyttöikä kuin lyijyakuilla. Ne kestävät lataus-purkausjakson jopa 1000 kertaa. Lyijyakkua parempina ominaisuuksina NiCd -akuilla voidaan pitää vakio purkausjännitettä, suurempaa purkausnopeutta, pienempää itsepurkautumisnopeutta sekä niiden parempaa kylmyyden kestoa. NiCd -akkujen käyttöä rajoittaa kuitenkin lyijyakkua pienempi tehotiheys, alhaisempi kennojännite, huollontarve, hinta ja niin sanottu muistiefekti. Muistiefektilä tarkoitetaan akun kapasiteetin pienenemistä, ellei akkua ladata täyteen ja pureta tyhjäksi. (Talonpoika 2004, 51.)

3.5.3 Akuston sijoitus

Akuston sijoituksessa on huomioitava monia eri tekijöitä. Tärkeimpiä asioita mitä tulee ottaa huomioon akustoa sijoittaessa, ovat mahdolliset ympäristölle aiheutuvat turvallisuusriskit, akuston vaatiman huollon ja kunnossapidon tarve sekä viranomaisten antamat suositukset ja määräykset. Myös etäisyydet akustolta sekä varaajalle että kuorimitukseen tulisi olla mahdollisimman lyhyt. (Raitakoski 1999, 15.)

SFS-EN 50272-2:n mukaan akun sijoittelussa on otettava huomioon seuraavat asiat:

- suojaus ulkopuoliselta vaaralta, esim. tulipalo, vesi, iskut, tärinä, ilki-valta
- suojaus akun aiheuttamalta vaaralta, esim. suurjännite, räjähdysvaara

- suojaus asiattomilta henkilöiltä
- suojaus ympäristön ääriolosuhteilta

Akkutilat on lisäksi merkittävä seuraavilla huomautuksilla ja varoitusmerkeillä:

- ”Vaarallinen jännite”, jos akun jännite on yli 60VDC
- Kieltoimerkki ”Avotulenteko ja tupakointi kielletty”
- Varoitusmerkki ”Akku, Akustotila”.

Tärkein huomioitava seikka on kuitenkin lämpötila. Akkujen käyttöiän pidentämiseksi tulisi akut sijoittaa kuivaan n. 20 °C:n lämpötilaan. Ainoastaan jo 10 °C:n lämpötilan vaihtelu vaikuttaa akkujen käyttöikään dramaattisesti. Suljetuin lyijyakuin toteutetun akuston laskettu käyttöikä on vähintään 10 vuotta. (Siivonen 2007, 22.)

Paikallisakustoja voidaan sijoittaa mm. erilliseen akkuhuoneeseen tai akkutelineeseen ja akkukaappiin laite- tai konttoritilassa. (Raitakoski 1999, 16.)

Standardi SFS-EN 50272-2 käsittelee akkutiloja koskevia vaatimuksia seuraavasti:

I) Erillinen akkuhuone

Erilliseen akkuhuoneistoon tulisi sijoittaa avoimet akustot niiden vaatiman huollon ja elektrolyytin vuotoriskin takia. Akkuhuoneen tulisi olla ikkunaton ja sen pintakäsittelyssä käytettävän materiaalin tulee olla elektrolyyttiä kestävä. Huoneessa on oltava riittävä tuuletus akkuja varattaessa syntyvän vetykaasun syntymisen johdosta. Kahdennetussa järjestelmässä akustot voidaan sijoittaa eri akkuhuoneisiin mahdollisuuksien mukaan. Tämä mahdollistaa sen että palo, ulkoinen vaara tai räjähdys ei lamaannuta koko järjestelmää. (Raitakoski 1999, 16.)

II) Akkukaappi

Suljettujen akkujen sijoittelu on vapaampaa kuin avoimien, mutta silti niitä koskevat samat määräykset kuin avoimia akkuja. Suljetut akut ovatkin mahdollistaneet paikallisakustojen sijoittamisen akkukaappeihin. Akkukaappien sijoittelussa on kuitenkin

huomioitava, että niitä koskevat samat määräykset kuin muitakin akkutiloja. Akusto tulisi sijoittaa kaappiin siten, että huoltotyöt voidaan suorittaa turvallisesti. Myös akkukaapissa on oltava hyvä ja tarvittaessa koneellinen ilmanvaihto vetykaasujen syntymisen johdosta. (Raitakoski 1999, 16.)

3.5.4 Akuston huolto

Akustolle on tehtävä määräajoin purkaukokeita. Purkaukoe suoritetaan kytkemällä täysin varatulle akkuvaraajasta irrotetulle akustolle täysi kuorma 5 h:n ajaksi, eli koe on 50 %:nen kapasiteettikoe. Kuormitusvirta määrittyy akkukohtaisesti. Määrä saadaan valmistajan purkausvirtataulukosta. Kokeen aikana akuston jännitteitä mitataan kennokohtaisesti, jotta löydettäisiin vioittuneet kennot.

Uuden avoimen lyijyakun kestovarausvirta on 0,15- 0,30 mA/Ah. Akusto voidaan todeta täysin palvelleeksi ja akusto tulisi vaihtaa, jos kestovarausvirraksi saadaan noin 2mA/Ah. (Siivonen 2007, 22.)

3.6 Invertterillä varmennettu vaihtosähkönsyöttö

Vaihtosuuntaaja (invertteri) on laite, joka muuntaa tasasähköä vaihtosähköksi. Sähköaseman omakäyttökeskus hoitaa aseman vaihtosähkönsyötön. Omakäyttökeskuksen kriittisten laitteiden syöttö turvataan myös tasasähkökeskuksen akustolla. Sellaisten laitteiden, kuten valvomoiden tietokoneiden sekä tietoliikennelaitteiden syöttö varmennetaan invertterin avulla. Häiriön tullessa akusto hoitaa invertterin avulla näiden laitteiden vaihtosähkönsyötön.



Kuva 5. Tasasähköjärjestelmän invertteri (Tähtinen 2015.)

3.7 Suojaus

Tasasähköjärjestelmä on merkittävä osa sähköaseman suojausjärjestelmää. Erityisesti edellytetään, että aputasasähköä on aina käytettävissä, koska sen puuttuessa eivät suojaukset toimi. Tämän takia tasasähköjärjestelmää on suojattava ja valvottava huolellisesti. (Mörsky 1992, 339.)

3.7.1 Toteutus

Tasasähköjärjestelmään liitettävät laitteet jaetaan sopivaa kokonaisuutta syöttäviin ryhmiin, jotka kukin suojataan johdonsuojakatkaisijalla. Johdonsuojakatkaisijat muodostavat oikosulkusuojan alimman portaan. Ylemmissä portaissa on oikosulkusuojina käytettävä varokkeita, jos sarjassa olevat johdonsuojakatkaisijat eivät ole varmuudella selektiivisiä keskenään. Jokaisen oikosulkusuojan tulee toimia myös seuraavan suojausportaan varasuojana. (Mörsky 1992, 339.)

Oikosulkusuojan on kyettävä katkaisemaan suurin ja pienin mahdollinen oikosulkuvirta, kun oikosulku on sen omalla tai seuraavalla suojaportaalla, jonka varasuojana se toimii. Oikosulkuvirtaa laskettaessa otetaan huomioon myös pariston sisäinen resistanssi. Suurimmat oikosulkuvirrat lasketaan pariston suurimman latausjännitteen ja pienimmät oikosulkuvirran pienimmän purkausjännitteen mukaan. (Mörsky 1992, 339.)

Oikosulkusuojan toimimisesta on saatava hälytys. Hälytys toteutetaan yleensä johdonsuojakatkaisijoiden ja varokkeiden apukoskettimien avulla. (Mörsky 1992, 340.)

Tasasähköjärjestelmien oikosulkusuojauksen suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota selektiivisyyteen häiriön rajaamiseksi. Toinen tärkeä vaatimus on suojauksen nopeus, sillä oikosulun aikana jännite laskee koko viallisessa verkon osassa, kunnes suoja erottaa vian. (Mörsky 1992, 340.)

Tasasuuntaaja ja akusto ovat varustettava kahvasulakkeilla, joiden toimimisesta on saatava hälytys. Tasasuuntaajan lähdön sulakkeet on mitoitettava lähinnä suojaamaan tasasuuntaajaa sen sisäisten vikojen aiheuttamalta takasyötöltä. (Mörsky 1992, 340.)

Akuston pääsulakkeet ovat järjestelmän tärkeimmät suojat. Niiden on ehdottomasti oltava selektiivisiä pääjakelun kanssa ja mahdollisuuksien mukaan myös tasasuuntaaja-haaran sulakkeiden kanssa. Pääsulakkeiden tulee toimia myös riittävän nopeasti purkautuneen akun virralla. (Mörsky 1992, 340.)



Kuva 6. Kahdennetun akuston pääsulakkeet (Tähtinen 2015.)

Johdonsuojakatkaisijan ja sen etusulakkeen selektiivisyyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Pienillä virroilla tarkastelu voidaan tehdä virta-aikaominaiskäyrien avulla. Suurilla oikosulkuvirroilla, tarkastelu tehdään I^2t - ominaiskäyrällä. Suojat ovat varmasti selektiivisiä niillä virran arvoilla, joilla johdonsuojakatkaisijan I^2t - arvo on etusulakkeen sulamiseen tarvittavaa I^2t - arvoa pienempi. Ohjeellisena selektiivisyysehtona sulakkeen ja johdonsuojakatkaisijan välillä pidetään, jos niiden toiminta-aikojen ero on samalla oikosulkuvirralla kymmenkertainen. (Mörsky 1992, 340.)

Johdonsuojakatkaisijoiden selektiivisyystarkastelu tulee tehdä samoin kuin sulakkeen ja johdonsuojakatkaisijan tapauksessa. Johdonsuojakatkaisijoiden sarjaan kytkentä ei ole suotavaa selektiivisuusmitoitustavoihin takia. Selektiivisyys on varmaa silloin, kun nimellisvirraltaan pienemmän johdonsuojakatkaisijan sisäinen resistanssi yhdessä välijohdon resistanssin kanssa on niin suuri, ettei sen navoissa tapahtuva oikosulku aiheuta suuremman johdonsuojakatkaisijan toimimista. (Mörsky 1992, 341.)

Useimmiten kuitenkin valmistajan ohjeista selviää johdonsuojakatkaisijan suurin sallittu etusulake sekä virta-alue, jolla peräkkäiset johdonsuojakatkaisijat suurella todennäköisyydellä toimivat selektiivisesti. (Mörsky 1992, 341.)

Jännitteen häviämisestä on jostakin tasasähköjärjestelmän osasta saatava hälytys. Varsinainen alijännitesuoja järjestetään alijännitereleellä, jolla valvotaan akkuperiston jännitettä ja joka hälyttää, kun jännite pienenee liikaa. Alijännitesuojan hälytysjännite on otettava eri paristosta. (Mörsky 1992, 341.)

Tasasuuntaajan rikkoutuminen saattaa aiheuttaa liian suuren latausjännitteen akustolle ja samalla kaikille tähän jännitteeseen liitetyille kuormille. Tätä ylijännitettä valvotaan ylijännitereleellä. (Mörsky 1992, 341.)

Tasasähköjärjestelmät on yleensä erotettu maasta, jolloin yksi maasulku ei vielä häiritse järjestelmän toimintaa. Kaksoismaasulkujen aiheuttamien virhetoimintojen välttämiseksi järjestelmän erityistilaa valvoo maasulkurele, joka kytketään akuston keino-tekaisen keskipisteen ja maan välille. (Mörsky 1992, 341.)

4 MITOITUS

Tasasähköjärjestelmän mitoitus muodostuu akuston, varaajan, kaapeleiden sekä suojalaitteiden mitoituksesta.

4.1 Akusto

Tasasähköjärjestelmän akuston kapasiteettia mitoittaessa on mitoituksen lähtökohdaksi haluttu varmistusaika, kuormitusteho tai -virta sekä sallitut minimi- ja maksimijännitearvot. Akuston kapasiteettia mitoittaessa tärkeimpiä vaiheita on kuitenkin kuormituksen määrittäminen. Kuormitus voidaan jakaa kolmeen eri osa-alueeseen.

I) Häiriötön tila

Häiriöttömän tilan kuormitukseen kuuluu sellaisten laitteiden kuormitukset, jotka tarvitsevat jatkuvaa tasasähköä. Kyseisiä laitteita ovat mm. releet sekä muuntimet.

II) Häiriötilan lisäkuormitukset

Häiriötilan lisäkuormituksia ovat mm. varavalaistus, hälytykset sekä suojareleiden toiminta. Häiriötilan lisäkuormitukset johtuvat häiriön aiheuttamista toiminnoista.

III) Lyhytaikaiset kuormitukset

Lyhytaikaisiin kuormituksiin kuuluvat pääsääntöisesti katkaisijoiden viritysmoottorit sekä erottimien moottorit. Lyhytaikaiset kuormitukset ovat vain sekuntien luokkaa, mutta voivat olla hyvinkin suuria hetkellisiä kuormituksia. (Raitakoski 1999, 30- 31.)

4.1.1 Kennojen lukumäärä

Suurin sallittu kennojen lukumäärä voidaan laskea kaavan 1 avulla. Ylärajan kennojen lukumäärälle määrää suurin sallittu käyttöjännite.

$$n_{max} = \frac{U_{max} + U_d}{k_c * U_c} \quad (1)$$

missä

n_{max}	= kennojen lukumäärä
U_{max}	= suurin sallittu käyttöjännite
U_d	= jännitehäviö lähimmällä kuormalla
k_c	= varaajan tarkkuus = 1,02
U_c	= akuston kestovarausjännite kennoa kohden

4.1.2 Alin sallittu kennojännite

Alin sallittu kennojännite saadaan laskettua kaavasta 2. Jännitteen arvo saadaan laskettua kun kaavaan sijoitetaan ylempänä laskettu kennojen lukumäärän arvo.

$$U_e = \frac{U_{min}}{n_{max}} \quad (2)$$

missä

U_e = alin sallittu kennojännite

U_{min} = pienin sallittu käyttöjännite

4.1.3 Akuston kapasiteetti

Akuston kapasiteettia laskettaessa on huomioon otettava tasasähköjärjestelmän kuormitukset häiriötilassa. Akuston kapasiteetti saadaan käyttämällä kaavaa 3.

$$C = \frac{L_e * T_d}{U_n} * (k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5) \quad (3)$$

missä

C = akuston kapasiteetti

L_e = kuormitus häiriötilassa

T_d = purkaus aika

U_n = nimellisjännite

k_1 = mahdollisen vajaavaruksen (esim. vaihtosähkön kadotessa) huomioon otettava kerroin

k_2 = kerroin, joka ottaa huomioon, ettei tiettyä kennojännitettä aliteta vaaditulla purkausajalla

k_3 = lämpötilakerroin, joka voidaan laskea kaavasta $k_3 = 1 - 0,01 \times (t - 20)$, missä t on pienin mahdollinen akkuhuoneen lämpötila

k_4 = vanhenemiskerroin, joka ilmoittaa vanhenemisen jälkeen jäljellä olevan kapasiteetin; lyijyakuilla 1,25

k_5 = varmuuskerroin, joka huomioi suunnittelu epätarkkuudet ja myöhemmän kuormituksen kasvun; yleensä $k_5=1,30$

4.2 Varaaja

Tasasuuntaaja valitaan nimellisvirran perusteella. Tasasuuntaajan nimellisvirran on oltava vähintään keskimääräinen kuormitusvirta lisätynä purkautuneen akuston varausvirralla. Varaajan nimellisvirta saadaan laskemalla sekä koko järjestelmän kuormitusvirran ja molempien akustojen kestovarausvirran summa, että normaalitilanteen kuormitusvirran ja purkautuneen akuston varausvirran summa. Tasasuuntaajan nimellisvirta valitaan näistä kuormitustilanteista suuremman perusteella. Minimi nimellisvirta kokonaiskuormituksella voidaan laskea kaavasta 4, sekä minimi nimellisvirta normaalikuormituksella kaavasta 5.

$$I_{nk} = \frac{k_s * L_t}{U_n} + n_b * I_{end} \quad (4)$$

$$I_{nn} = \frac{k_s * L_n}{U_n} + \frac{1,1 * C}{T_c} \quad (5)$$

missä

I_{nk}	= minimi nimellisvirta kokonaiskuormituksella
I_{nn}	= minimi nimellisvirta normaalikuormituksella
L_n	= yhden akuston kuormitus normaalitilanteessa
L_t	= kokonaiskuormitus normaalitilanteessa
n_b	= akustojen lukumäärä
I_{end}	= akuston latausvirta lopussa
T_c	= akuston varausaika
1,1	= akuston hyötysuhde (lyijyakustolle 1,1 ja nikkelikadmiumakustolle 1,43)

4.3 Toisiokaapelit

Kaapeleiden sekä suojalaitteiden suunnittelun tavoitteena on toteuttaa toimiva ja turvallinen sähköverkko liittymispisteen ja kulutuskojeiden välillä. Suunnittelussa on johtojen mitoitus sekä suojalaitteiden valinta käsiteltävä yhtenä kokonaisuutena.

Jännitteisten johtimien poikkipinnan suuruuden määrää ensisijaisesti kuormitusvirta ja sen aiheuttama johtimen lämpeneminen. Johdon kuormitettavuuteen vaikuttaa johdinmateriaali, eristemateriaali, ympäristön lämpötila, asennustapa sekä kuinka lähellä muut virtapiirit ovat. (Tiainen 2010, 43.)

Johdon mitoituksessa tulee myös ottaa huomioon taloudellisuus, jännitehäviöt sekä virtapiiriin suurimman sallitun impedanssin asettamat rajoitukset. (Tiainen 2010, 44.)

4.3.1 Johtojen kuormitettavuustaulukot

Koska tarkka mitoitus ei aina ole perusteltua, selviää useimmista mitoitustehtävistä käyttämällä liitteessä 3 esitetyn standardin SFS 6000-5-52 mukaisen taulukon kuormitusarvoja. Taulukoista löytyvät arvot uppoasennukselle (asennustapa A), pinta-asennukselle (asennustapa C), maa-asennukselle (asennustapa D) sekä vapaasti ilmaan tehtävälle asennukselle (asennustapa E). (Tiainen 2010, 44.)

Liitteissä 4 ja 5 löytyvissä taulukoissa on yhdistetty johtojen mitoitus ylikuormitusuojan valintaan. Valintataulukot soveltuvat gG-sulakkeille, D-tyyppin sulakkeille sekä B-, C- ja D-tyyppin johdonsuojakatkaisijoille. Suojalaitteiden toiminta-arvot on ilmoitettu 30 °C:n lämpötilassa. Lämpötilan muuttuessa tästä eivät standardin ilmoittavat arvot ole voimassa. (Tiainen 2010, 50.)

4.3.2 Korjauskertoimet

Kuormitettavuustaulukot on ilmoitettu tietyssä lämpötilassa ja maan osalta myös maan lämmönjohtavuudella on vaikutusta kuormitettavuuteen. Jos kaapelin lähistöllä on lisäksi muita kaapeleita, jotka heikentävät kuormitettavuutta, tulee nämä asiat ottaa huomioon kuormitettavuutta arvioitaessa. Tämä voidaan tehdä käyttämällä apuna korjauskertoimia, jotka ottavat huomioon näiden tekijöiden vaikutukset. Todellinen kuormitettavuus saadaan jakamalla kuormitettavuustaulukosta saatu virta-arvo korjauskertoimella tai korjauskertoimien tulolla. (Tiainen 2010, 52.)

SFS 6000-5-52 mukaisia korjauskertoimia on esitetty liitteissä 6 ja 7 löytyvistä taulukoista.

4.3.3 Kaapelin mitoitus

Johdon poikkipintaa määriteltäessä menetellään standardin SFS 6000-5-52 asettamia määräyksiä huomioiden seuraavasti (Tiainen 2010, 55) :

I) Valitaan sulakkeen nimellisvirta, joka on yhtä suuri tai suurempi kuin oletettu kuormitusvirta.

II) Etsitään liitteen 8 taulukosta sarakkeesta 2 valittua sulaketta vastaava kuormitusvirta, joka johdon on vähintään kestettävä.

III) Määritellään asennusolosuhteita vastaavat korjauskertoimet ja jaetaan kohdassa II saatu kuormitusvirta korjauskertoimien tulolla.

IV) Etsitään liitteestä 3 löytyvästä johdon kuormitustaulukosta kohdassa III laskettua virtaa vastaava poikkipinta.

Liitteistä 4 ja 5 löytyvistä taulukoista saadaan suoraan tiettyä johtimen poikkipintaa vastaava sulake ja sulaketta vastaava johdin, kun asennustapaan kuuluva kuormittavuuden korjauskerroin on arvioitu.

4.4 Suojalaitteet

Suojalaitteita tarkasteltaessa huomioon otettavia seikkoja ovat jännitteenalenema, suojalaitteiden on toteutettava laukaisuaikoihin liittyvät ehdot sekä niiden on toimittava selektiivisesti.

4.4.1 Jännitteenalenema

Jännitteenalenema lasketaan kultakin suojausportaalta erikseen ottaen huomioon sekä kaapelin että suojalaitteen resistanssit. Laskelma tehdään maksimi-kuormitusvirralla, eli kun akuston jännite on minimissä olettaen tehon pysyvän samana. Jännitteenalenema saadaan kaavasta 6.

$$\Delta U = I(2LR_L + 2R_s) \quad (6)$$

missä

ΔU = jännitteenalenema

I = kuormitusvirta

L = kaapelin pituus

R_L = kaapelin resistanssi pituusyksikköä kohden annetussa lämpötilassa

R_s = suojalaitteen resistanssi

Standardin SFS 6000-5-52 mukaan jännitteenalenema liittymispisteen ja minkään kuormituspisteen välillä pienasennuksissa, jotka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta, ei pitäisi olla suurempi kuin valaistuksessa 3 % ja muussa käytössä 5 %.

Sähköasemien apusähköjärjestelmissä DC- keskuksen ja kuormituspisteen välinen jännitteenalenema saisi olla maksimissaan 5 %.

4.4.2 Selektiivisyys

Suojalaitteiden selektiivisyydellä tarkoitetaan sitä, että suojalaite toimii ainoastaan sen varsinaisella suojausalueella sattuvassa oikosulku- tai ylikuormitustilanteessa. Selektiivisyys voidaan tarkistaa suojalaitteiden ominaiskäyriä vertailemalla. Selektiivisyys saavutetaan, jos jälkimmäisen suojalaitteen ominaiskäyrä on edellisen suojalaitteen ominaiskäyrän alapuolella, eivätkä käyrät leikkaa toisiaan millään odotettavissa olevan ylivirran arvolla. Ominaiskäyriä vertailtaessa tulisi käyttää jälkimmäisen suojalaitteen ylintä sekä edellisen suojalaitteen alinta toimintakäyrää. (Tiainen 2010, 103.)

4.4.3 Selektiivisyyden toteaminen

Selektiivisyystarkastelussa lasketaan ensin maksimi-oikosulkuvirrat kussakin suojausportaassa kaavan 7 mukaisesti.

$$I_{kmax} = \frac{U_{max}}{(2LR_L + R_{imin} + 2R_s)} \quad (7)$$

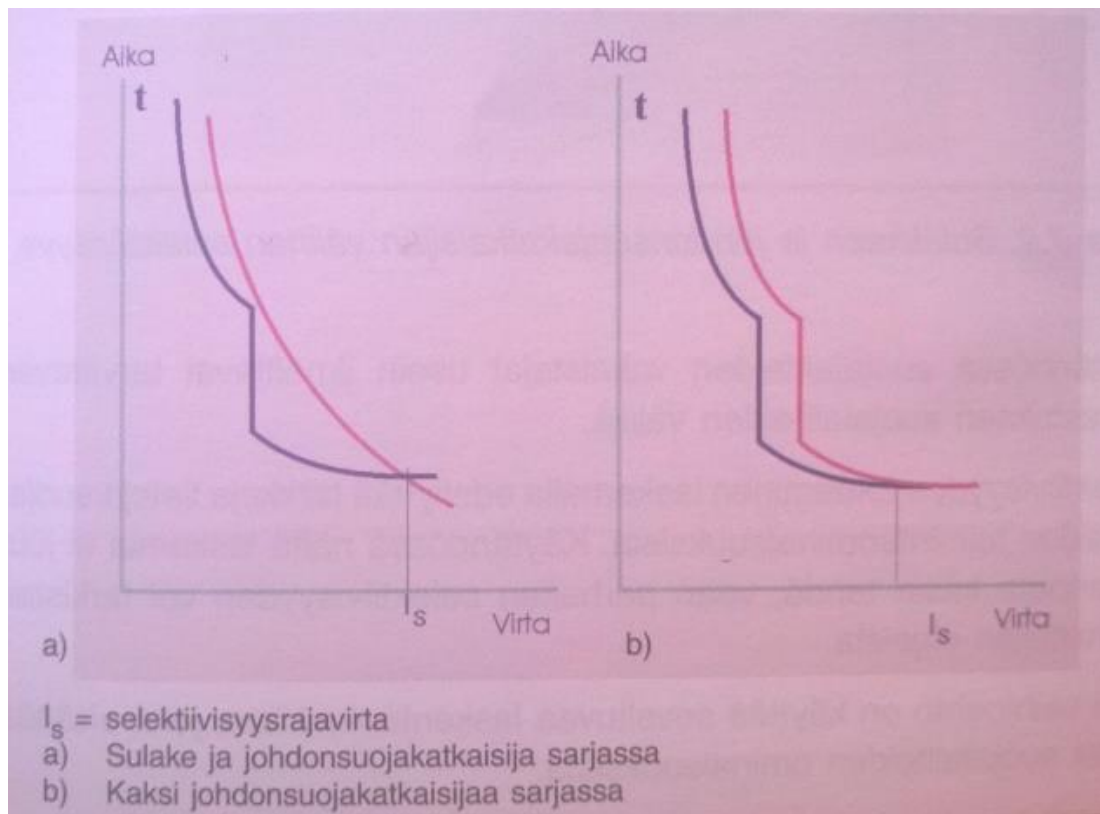
missä

I_{kmax} = maksimi-oikosulkuvirta

U_{max} = akuston maksimijännite

R_{imin} = akuston minimi sisäinen resistanssi

Näiden oikosulkuvirtojen perusteella saadaan virta-aika käyrästä lukemalla suojiin laukaisuaikat, joita vertailemalla suojiin keskinäinen selektiivisyys voidaan todeta. Kun oikosulkuvirta nousee niin suureksi, että suojan laukaisuaika alittaa 100 ms, tulee selektiivisyyden toteamiseen käyttää I^2t -käyriä. Tällöin ylemmän suojausportaan I^2t tulee olla suurempi kuin alemman suojausportaan I^2t . (Hirvonen 2013.)



Kuva 7. Selektiivisyyden tarkistaminen eri suojalaitteilla (Tiainen 2010, 103)

4.4.4 Laukaisuajat

Maksimi-laukaisuajat saadaan vastaavasti laskemalla ensin minimi-oikosulkuvirrat kussakin suojausportaassa kaavan 8 mukaisesti.

$$I_{kmin} = \frac{U_{min}}{(2LR_L + R_{imax} + 2R_S)} \quad (8)$$

missä

U_{min} = akuston minimijännite

R_{imax} = akuston maksimi sisäinen resistanssi

Näiden virtojen perusteella saadaan virta-aika käyrästä lukemalla suojien maksimi-laukaisuajat.

Standardin SFS 6000-4-41 mukaan 230 V:n jännitteellä enintään 32 A:n ryhmäjohtojen poiskytkentäaika ei saa ylittää 0,4 s. Pääjohdoille ja pääsulakkeille sallitaan 5 sekunnin poiskytkentäaika.

5 MITOITUSESIMERKKI

Seuraavassa on esitetty erään tuulivoimapuiston 110/20 kV:n sähköaseman tasasähköjärjestelmän laskelmat. Kyseinen asema valittiin, sillä siihen tarvittavia mitoituslaskelmia ei ollut vielä tehty, joten tämän työn laskelmia voitaisiin käyttää hyödyksi. Laskelmissa on käytetty ABB Oy:n valmiita laskentatyökaluja, mutta laskentatyökalujen antamia tuloksia on myös varmennettu käsin laskuilla.

Merkittävä osa laskelmista, etenkin laskentatyökaluilla suoritettut laskut rajattiin salaisiksi, eikä niitä näin ollen esitetä julkisessa versiossa.

5.1 Akusto

Akuston mitoituslaskelmiin sisältyvät kennojen lukumäärän laskeminen, alin sallittu kennojännite sekä akuston kapasiteetin määrittäminen.

Lähtötiedot:

U_n	=110 VDC
U_{max}	=121 V
U_{min}	=99 V
T_d	=10 h
T_c	=15 h
U_d	=2,2 V
U_c	=2,27 V

Akustoa mitoittaessa on ensiksi laskettava kuitenkin tasasähköjärjestelmän tehon tarve. Tehontarpeiden perusteella on puolestaan määriteltävä asemien kuormitusvirrat.

Sähköaseman tasasähkökuormitukset ovat:

- Kuormitus normaalitilassa 283W
- Kuormitus vikatilanteessa 295W
- Suurin hetkellinen kuormitus 1735W

Laskeminen aloitetaan syöttämällä yllä annetut lähtötiedot laskentatyökaluun. Laskentatyökalu antoi kennojen lukumääräksi 54 kpl, alimmaksi sallituksi kennojännitteeksi 1,82 V sekä akuston kapasiteetiksi 40 Ah.

Suurin sallittu kennojen lukumäärä voidaan laskea myös kaavaa yksi hyödyntäen:

$$n_{max} = \frac{121V + 2,2V}{1,02 * 2,27V} = 54$$

Alimman sallitun kennojännitteen puolestaan saa käyttämällä hyväkseen kaavaa kaksi:

$$U_e = \frac{99V}{54} = 1,82 V$$

Akuston kapasiteetiksi laskentatyökalu antoi 40Ah. Kapasiteetti saadaan myös kaavasta 3:

$$C = \frac{295 W * 10h}{110 V} * (1 * 1 * 1 * 1,25 * 1,2) = 40,23 Ah$$

Huolimatta laskuista saaduista tuloksista, valitaan 90 Ah:n akusto.

5.2 Varaaja

Varaajaa mitoittaessa täytyy aiemmin mainittujen lähtötietojen lisäksi tietää akustojen lukumäärä sekä akuston latausvirta lopussa.

$$n_b = 1 \text{ kpl}$$

$$I_{\text{end}} = 1 \text{ A}$$

Laskentatyökalu antoi minimi nimellisvirraksi kokonaiskuormituksella 4,1 A sekä minimi nimellisvirraksi normaalikuormituksella 9,7 A.

Kyseiset tulokset saadaan myös hyödyntämällä kaavoja 4 ja 5.

$$I_{nk} = \frac{1,2 * 283W}{110V} + 1 * 1A = 4,1 \text{ A}$$

$$I_{nn} = \frac{1,2 * 283W}{110V} + \frac{1,1 * 90Ah}{15h} = 9,7 \text{ A}$$

Varaaja valitaan näistä suuremman perusteella, joten varaajaksi valitaan nimellisvirraltaan 10 A:n tasasuuntaaja.

5.3 Suojalaitteet ja toisiokaapelit

Suojalaitteiden sekä kaapeleiden mitoituksessa tärkeimpinä seikkoina on saada varmuus siitä, että jännitteenalenemat eivät kasva yli 5 % (SFS 6000-5-52), suojat toimivat selektiivisesti toisiinsa nähden sekä nopean poiskytkennän ehdot täyttyvät (SFS 6000-4-41).

Tehtävänä on mitoittaa toisiokaapelit ja suojalaitteet siten, että ne täyttävät SFS 6000 mukaiset vaatimukset.

Liitteessä yksi on esitetty aseman pääkaavio. Laskelmiin valittiin kuormitusten osalta ns. kaksi pahinta tapausta: ”110kV katkaisijan viritys” jännitteenaleneman (pitkä kaapeli ja suuri kuorma) sekä ”110kV suojaus 2” selektiivisyyden (lyhyt kaapeli) kanalta.

Kaapeleiden poikkipintoja ei tarvitse sen kummemmin mitoittaa, sillä ABB Oy:n projekteissa käytetyt kaapelikoot on usein valittu jo etukäteen. Jos laskelmista ilmenisi, että jännitteenalenemat nousisivat liian suuriksi, olisi kaapelien poikkipintoja hyvä tarkastella uudelleen.

Myös suojat on päätetty etukäteen, jolloin laskelmien tehtävänä on vain varmistaa, että suojat toimivat oikein ja selektiivisesti.

5.3.1 Jännitteenalenema

Seuraavassa on tarkasteltu maksimi-jännitteenalenemaa katkaisijan viritysmoottorilla. Tämä tapaus otettiin tarkasteluun erityisesti sen takia, sillä pitkät etäisyydet aiheuttavat eniten jännitteenalenemaa.

Jännitteenaleneman tarkastelu aloitetaan syöttämällä kaapelien poikkipinnat, etäisyydet, kuormitusvirrat sekä suojien tyypit laskentatyökaluihin.

- Kaapelin poikkipinta akustolla on 35 mm² ja ulkokentällä 6 mm²
- Akustolta sulakkeille, sekä sulakkeilta tasasähkökeskukselle on 2 metrin matka. Tasasähkökeskukselta ulkokentälle katkaisijalle on 30 metrin matka
- Kuormitusvirta akustolta tasasähkökeskukselle on 21 A sekä tasasähkökeskukselta katkaisijalle 11 A
- 80A gG on akuston pääsulake, 25A gG on tasasähkökeskuksella oleva sulake sekä MCB 4A on katkaisijalla oleva suojakytkin

Laskentatyökalun mukaan jännitteenalenema katkaisijan viritysmoottorilla on 4,5 V, joka on 4,39 % nimellisvirrasta. Tämä täyttää vaatimuksen <5 %.

5.3.2 Laukaisuajat

Seuraavassa on tarkasteltu toteutuuko suojille asetetut laukaisuehdot. Suojien laukaisuaikojen on oltava alle 5 sekuntia. Laskelmiin valittiin laukaisuaikojen kannalta pahin tapaus (110 kV:n suojaus 2). Suojien on täytettävä poiskytkentävaatimukset minimi oikosulkuvirralla. Laskentatyökalun antamia minimi oikosulkuvirtoja tutkimalla voidaan taulukoista 1 ja 2 lukea, toimivatko suojat 5 sekunnin laukaisuaajalla.

Taulukko 1. Johdonsuojien vaatimat oikosulkuvirrat vikasuojaukseen ja oikosulkusuojaukseen (SFS 6000)

Pienimmät oikosulkuvirrat, jolla erilaiset suojalaitteet toimivat 0,2, 0,4 tai 5,0 sekunnissa					
Suojalaitteen nimellisvirta A	Pienin sallittu yksivaiheinen oikosulkuvirta A				
	Johdonsuojakatkaisijat				
	B-tyyppi 0,2, 0,4 s ja 5,0 s	C-tyyppi 0,2 ja 0,4 s	C-tyyppi 5,0 s	D-tyyppi 0,2 ja 0,4 s	D-tyyppi 5,0 s
	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo/ mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo
6	30 / 38	60 / 75	42 / 55	120 / 150	42 / 55
10	50 / 65	100 / 125	70 / 90	200 / 250	70 / 90
16	80 / 100	160 / 200	112 / 140	320 / 400	112 / 140
20	100 / 125	200 / 250	140 / 180	400 / 500	140 / 180
25	125 / 160	250 / 320	175 / 220	500 / 630	175 / 220
32	160 / 200	320 / 400	225 / 280	640 / 800	225 / 280
40	200 / 250	400 / 500	280 / 350	800 / 1000	280 / 350
50	250 / 320	500 / 630	350 / 440	1000 / 1250	350 / 440
63	315 / 400	630 / 790	440 / 550	1260 / 1600	440 / 550
80	400 / 500	800 / 1000	560 / 700	1600 / 2000	560 / 700
125	625 / 780	1250 / 1570	875 / 1100	2500 / 3130	875 / 1100

Taulukko 2. Vaaditut oikosulkuvirrat käytettäessä gG tai gL- sulakkeita (SFS 6000)

Sulakkeiden nimellisvirta A	Laukaisuaika	
	0,4 s	5,0 s
	Laskettu arvo / mitattu arvo	Laskettu arvo / mitattu arvo
2	16 / 20	9 / 12
4	32 / 40	18 / 23
6	46,5 / 58	28 / 35
10	82 / 103	46,5 / 58
16	110 / 138	65 / 81
20	145 / 180	85 / 105
25	180 / 225	110 / 138
32	270 / 340	165 / 210
35	290 / 365	175 / 220
40	315 / 395	190 / 240
50	470 / 590	250 / 315
63	550 / 690	320 / 400
80	840 / 1050	425 / 530
100	1000 / 1250	580 / 725
125	1450 / 1800	715 / 895
160	1600 / 2000	950 / 1190
200	2100 / 2625	1250 / 1560
250	2800 / 3500	1650 / 2065
315	3700 / 4625	2200 / 2750
400	4800 / 6000	2840 / 3550
500	6400 / 8000	3800 / 4750
630	8500 / 10625	5100 / 6375

Laskenta aloitetaan syöttämällä akuston resistanssi, kaapelien poikkipinnat, etäisyydet sekä suojiin tyypit laskentatyökaluihin:

- Käytetyn lyijyakuston sisäinen resistanssi $R_s = 0,08334 \text{ Ohm}$.
- Kaapelien poikkipinta akustolla on 35 mm^2 ja ulkokentällä 6 mm^2 .
- Akustolta sulakkeille sekä sulakkeilta tasasähkökeskukselle on 2 metrin matka. Tasasähkökeskukselta relekaapille RK1 on 9 metrin matka.
- 80A gG on akuston pääsulake, 25A gG on tasasähkökeskuksella oleva sulake, sekä MCB 6A on relekaapilla oleva suojakytkin.

Minimi oikosulkuvirroiksi saatiin laskentatyökalulla:

- akuston navoissa 1133,9 A
- tasasähkökeskuksella 999,9 A
- relekaapilla 376,9 A.

Akuston gG 80A -pääsulakkeet vaativat 5 s:n poiskytkentään 530A. Akuston navoissa minimi oikosulkuvirran ollessa 1133,9 A poiskytkentävaatimus siis täyttyy.

Relekaapilla oleva oikosulkuvirta 376,9 A on enemmän kuin suojauksessa käytettyjen gG 25A -sulakkeen sekä C6A -johdonsuojakatkaisijan 5 s:n automaattisen poiskytkennän vaatimus.

Poiskytkentävaatimus täyttyy täten kaikkialla, missä suojana on nimellisvirraltaan gG 25A -sulake tai pienempi.

5.3.3 Selektiivisyys

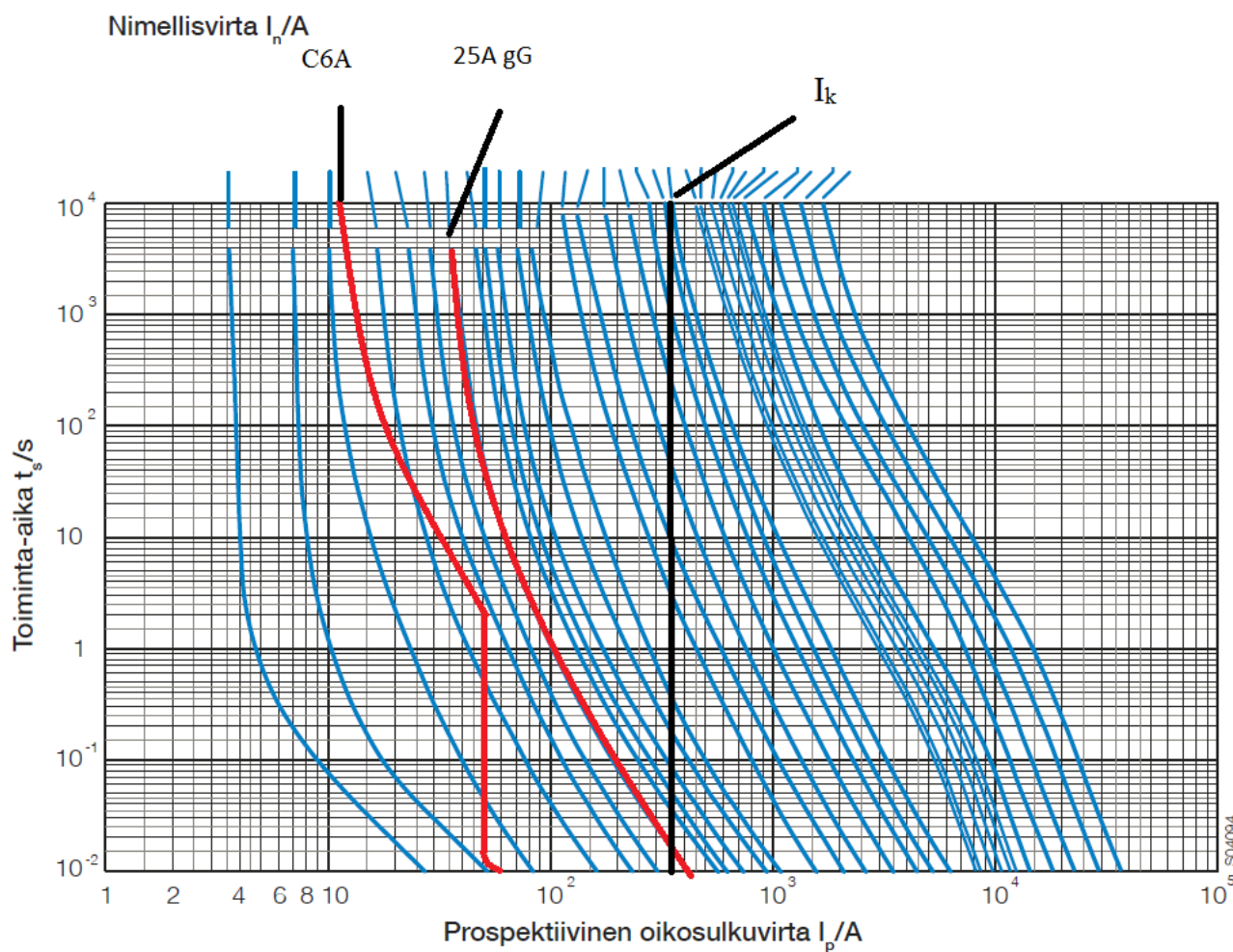
Selektiivisyystarkastelussa on ensin selvitettävä maksimi-oikosulkuvirrat. Suojien on toimittava selektiivisesti ainakin maksimi-oikosulkuvirtaan saakka.

Laskenta aloitetaan syöttämällä laskentatyökaluun samat arvot kuin laukaisuaikoja tarkasteltaessa. Laskentatyökalu kuitenkin käyttää laskuissa alimman sallitun jännitteen sijaan suurinta sallittua jännitteen arvoa. Täten tuloksiin saadaan maksimi-oikosulkuvirrat.

Maksimi-oikosulkuvirroiksi saatiin laskentatyökalulla :

- akuston navoissa 1385,9 A
- tasasähkökeskuksella 1222,1 A
- relekaapilla 460,7 A.

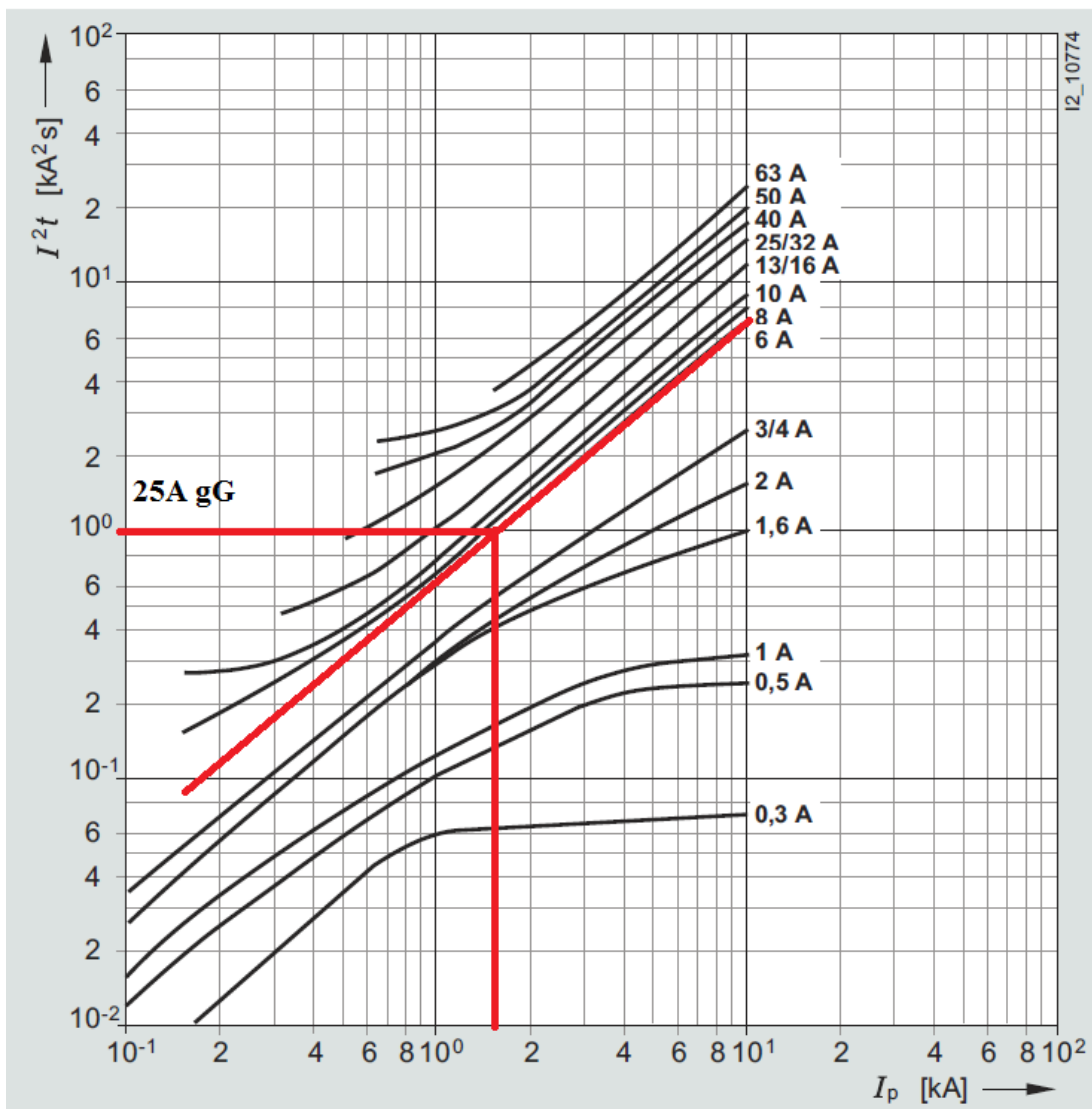
Suojien selektiivisyys voidaan todeta sijoittamalla suojien laukaisukäyrät sekä relekaapilla saatu maksimi-oikosulkuvirta 460,7A samaan virta-aika-käyrästöön.



Kuva 8. Selektiivisyyden tarkastaminen virta-aika-käyrästöstä (Tähtinen 2015.)

25 A gG on tasasähkökeskuksella oleva sulake ja C6A on relekaapilla oleva suojakytkin ja I_k on ylempänä laskettu maksimi oikosulkuvirta relekaapilla 460,7 A.

Koska suojien laukaisuajat alittavat 100 ms on laukaisukäyrät sijoitettava vielä I^2t -käyrästöön.



Kuva 9. Selektiivisyyden tarkastaminen I^2t - käyrästä (Tähtinen 2015.)

25 A gG on keskuksella olevan sulakkeen I^2t - arvo ($1 \text{ kA}^2\text{s}$) ja C6A on relekaapilla olevan suojakytkimen I^2t - arvo. Suojat ovat selektiivisiä keskenään 1,6 kA:iin saakka.

Voidaan siis todeta, että maksimi-oikosulkuvirralla suojat toimivat selektiivisesti.

6 TULOKSET

6.1 Akusto ja varaaja

Laskelmien tuloksia tarkastelemalla voidaan todeta, että sekä valittu akusto että varaaja ovat nimellisarvoiltaan riittävän suuret aseman tarpeisiin.

Varaaja on nimellisvirraltaan riittävä syöttämään sähköaseman tarvitseman jatkuvan tasasähkökuorman sekä akustojen kestovarausvirran.

Myös valittu akusto on kapasiteetiltaan riittävä toimimaan sekä energialähteenä katkosten aikana että tasaamaan kuormitushuippuja.

Tässä tapauksessa akusto sekä varaaja oli valittu etukäteen. Laskelmien tarkoituksena oli siis vain varmistaa, että kyseiset laitteet ovat riittävän suuret aseman tarpeisiin.

6.2 Suojalaitteet ja toisiokaapelit

Suojalaitteiden sekä kaapeleiden laskelmien tärkeimpänä tehtävänä oli varmistaa, että suojat toimivat niille määrättyssä ajassa sekä ovat selektiivisiä keskenään. Myöskään jännitteenalenema ei saanut nousta liian suureksi.

Tuloksia tarkastelemalla voidaan todeta, että 110 kV:n suojauksen tapauksessa, kaikkien suojien laukaisuehdot toteutuvat sekä suojat ovat selektiivisiä keskenään.

Myös jännitteenalenema pysyi sille määrättyissä rajoissa 110 kV:n katkaisijalla.

Vaikka kyseiset laskelmat tehtiin vain kahdelle eri lähdölle, voidaan hyvin luottaa siihen, että lopuillakin lähdöillä kyseiset selektiivisyys-, laukaisuaika- sekä jännitteenalenemaehdot täyttyvät.

Jännitteenaleneman kannalta kyseinen 110 kV:n katkaisijan tapaus oli hyvä ottaa tarkasteluun, sillä erityisesti pitkät etäisyydet aiheuttavat eniten jännitteenalenemaa. Kun tässä tapauksessa todettiin jännitteenaleneman pysyvän sille määrättyissä rajoissa, voidaan hyvin todeta, ettei se muillakaan lähdöillä nouse kyseistä arvoa suuremmaksi.

Selektiivisyyden sekä laukaisuehtojen perusteella ns. pahin tapaus oli 110 kV:n suojaus 2, sillä tässä lähdössä etäisyydet olivat lyhyet. Selektiivisyyttä tarkasteltaessa erityisesti lyhyet etäisyydet suojiin kesken aiheuttavat ongelmia, sillä mitä lyhempi etäisyys, sitä suurempi oikosulkuvirta. Toteamalla, että tässä tapauksessa selektiivisyys toteutuu, voidaan luottaa siihen, että se toteutuu muillakin lähdöillä.

Kuten akusto ja varaaja, myös suojat sekä kaapelit valitaan usein myös etukäteen, jolloin laskelmien tehtäväksi jää vain varmistaa niiden toimivuus.

Vaikka komponentit onkin valittu etukäteen, ei laskelmia silti voida pitää turhina. Jos esimerkiksi jossain tapauksessa suojat eivät olisikaan selektiivisiä keskenään, voisi viikatilanteessa aiheutua suurta vaaraa sekä komponenteille että ihmisille.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Johtopäätökset tutkimuksesta

Työn tavoitteena oli tutkia sähköaseman tasasähköjärjestelmiä sekä perehtyä niiden mitoittamiseen ja valintaan. Tämän lisäksi tavoitteena oli luoda ABB Oy:n käyttöön tasasähköjärjestelmien suunnitteluopas sekä muokata laskentatyökaluja käyttäjäystävällisemmäksi ja luoda niille englanninkieliset käyttöoppaat. Opinnäytetyön tuloksina saadut mittaustulokset tulivat toteutettavaan projektiin, joten työ antoi arvokasta tietoa sekä työn tekijälle että ABB Oy:lle.

Vaikka laskelmat tehtiin vain 110 V:n tasasähköjärjestelmälle, myös 220 V:n järjestelmälle suoritettavat laskelmat tehdään samalla periaatteella. Siirryttäessä suurempaan jännitetasoon akuston koko sekä varaajan nimellisvirta nousevat normaalisti suuremmiksi. Myös suojiin määrä tällä jännitetasolla yleensä nousee, joten suojauksen laskelmiin on kiinnitettävä myös erityistä huomiota.

ABB Oy:n sähköasemien tasasähköjärjestelmät valitaan yleensä varsinkin kotimaan projekteissa ABB Oy:n omien standardiasemien mukaan, joten laskelmien tehtävänä on vain varmistaa järjestelmän riittävyys ja toimivuus. Vaikka tasasähköjärjestelmän laitteet ja komponentit valitaankin usein etukäteen, ovat laskelmat silti tärkeitä.

Standardeissa ei ole mitään erityisvaatimuksia siitä, mitä laskelmia tasasähköjärjestelmille on tehtävä ennen käyttöönottoa. SFS 6000-6:n mukaan ainakin suojan automaattisen poiskytkennän sekä jännitteenaleneman testit on tehtävä silloin, kun ne liittyvät tarkastettavaan työsuoritukseen.

Eräs valtuutettu tarkastaja kertoi, että sähköaseman varmennustarkastuksessa olisi hyvä esittää ainakin lasketut oikosulkuvirrat. Mitään selkeää linjaa laskelmista ei ole, mutta jos laskelmat on tehty, on ne toki myös hyvä esittää tarkastajalle.

Tasasähköjärjestelmät ovat hyvin varmennettuja. Myös järjestelmää syöttävä oma-käyttökeskus on varmennettu aseman ulkopuolelta tulevilla varasyötöillä, joten tasasähkön saanti asemalla on kokoajan turvattu. Järjestelmän liiallinen varmentaminen saattaa maallikon korvaan kuulostaa turhalta, mutta sitä se ei ole. Esimerkiksi suurjännitekatkaisijoiden sekä erottimien ohjaukset suoritetaan tasasähköllä. Näiden laitteiden toimintahäiriöt tekisivät asemasta hengenvaarallisen ja riski suurille tuhoille kasvaisi.

7.2 Työssä opittua

Opinnäytetyö oli kokonaisuudessaan hyvin haastava, mutta samalla mielenkiintoinen. Haastavan työstä teki se, että tasasähköjärjestelmistä minulla ei juurikaan ollut kokemusta ennen työn aloittamista. Myös kirjallisuutta aiheesta oli hyvin vähän tarjolla, joten työn teoriaosuuteen materiaalin hankkiminen oli kovin tuskallista. Sähköasemista toki löytyy kirjallisuutta riittävästi, mutta itse apusähköjärjestelmiä ei kovinkaan monessa kirjassa ollut käsitelty kuin pintapuolisesti.

Mielenkiintoisinta työssä oli ihmisiin tutustuminen sekä työskentely heidän kanssaan. Työn edetessä sain kunnian työskennellä eri ammattilaisten kanssa ABB Oy:n toimistolla Vaasassa. Erityisesti laskelmien tekeminen oli erittäin mielenkiintoista, sillä ne tehtiin toteutettavaan ABB Oy:n projektiin. Laskelmissa haastavinta oli aseman tehontarpeiden määrittäminen sekä käytettyjen suojien teknisten tietojen hakeminen. Laskelmat kokonaisuudessaan kuitenkin olivat varsin mielenkiintoisia, sekä positiivista oli, että pääsin hyödyntämään sekä soveltamaan ammatillisissa opinnoissa saamiani tietoja ja taitoja.

Lopuksi haluan kiittää kaikkia henkilöitä, joiden kanssa olin tekemisissä projektin aikana. Erityiskiitos esimiehelleni Mikko Honkaniemelle sekä ohjaajilleni lehtori Esko Niemiselle sekä Magnus Uddille. Kiitokset myös kotijoukoille ja kollegalleni Tuomas Kekille.

LÄHTEET

ABB Oy: n www-sivut. 2015. Viitattu 30.3.2015. <http://new.abb.com/fi/>.

Alanen, R. 2003. Energian varastoinnin nykytila. Espoo. VTT Prosessit.

Hirvonen, R. 2013. Toisiokaapeleiden jännitteenalenemat ja laukaisuajat. ABB Oy:n inside. Vain sisäiseen käyttöön.

Mörsky, J. 1992. Relesuojaustekniikka. Hämeenlinna. Otatieto.

Ojavalli, P. 2011. Relekoestuksissa käytettävä kytkinlaitesimulaattori. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Raitakoski, S. 1999. Sähköaseman 110V tasasähköjärjestelmä. Insinööriyö. Vaasan teknillinen oppilaitos.

SESKO ry. 2012. SFS-käsikirja 600-1 Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 pienjännitesähköasennukset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.

SESKO ry. 2012. SFS-käsikirja 600-2 Sähköasennukset. Osa 2: Säädökset, sähkötyöturvallisuus, erityisasennukset ja liittyvät standardit. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.

Siivonen, K. 2007. Sähköaseman apusähköjärjestelmät. Tutkintotyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu.

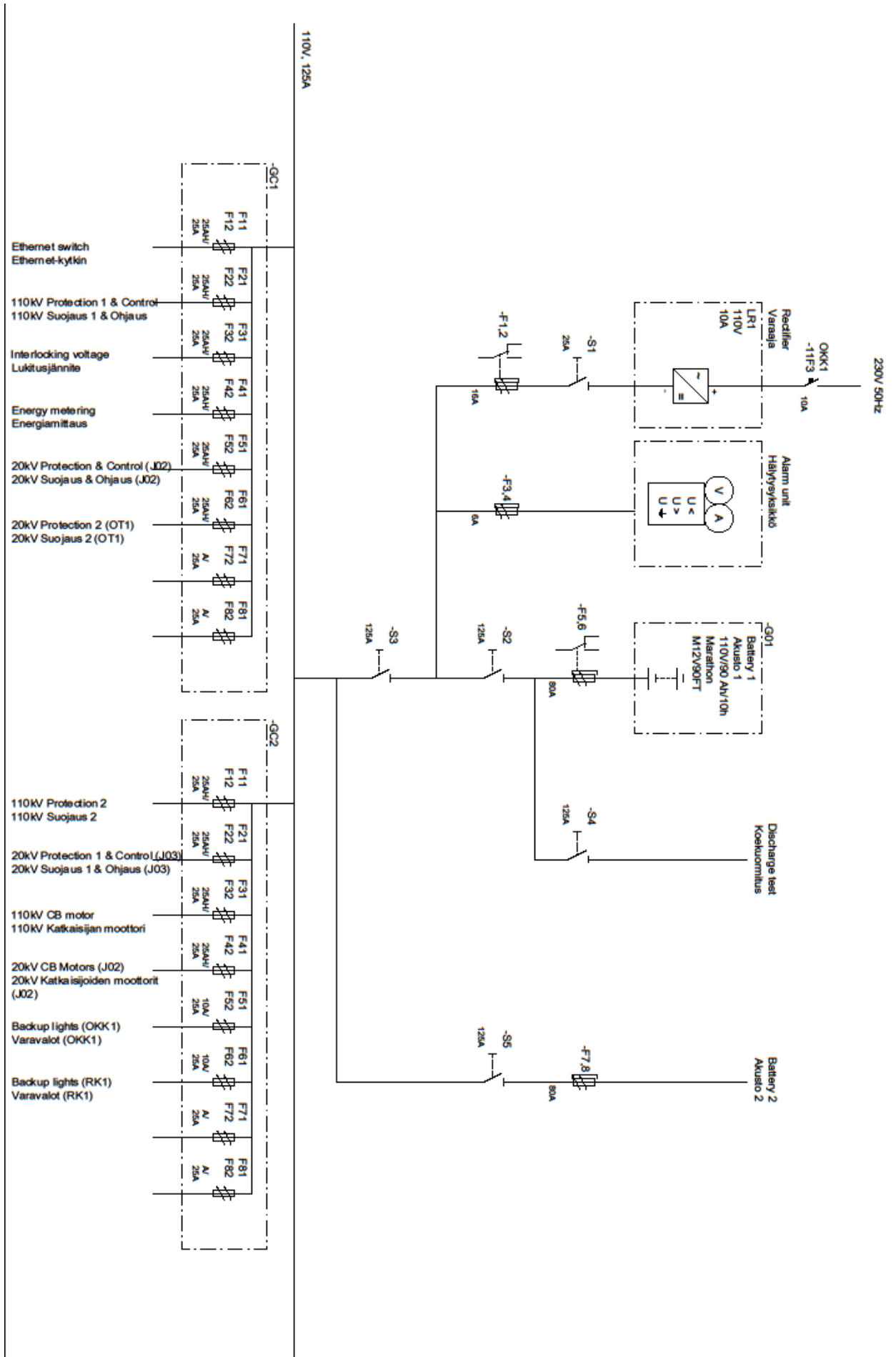
Sähkötieto ry. 2005. ST -käsikirja nro 20: Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät. Espoo. Sähköinfo Oy.

Talonpoika, M. 2004. Syöttöjännitteen jännitehäiriöt paperikoneen sähkökäytössä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

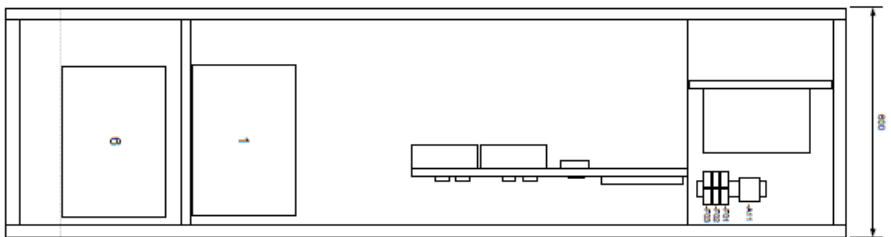
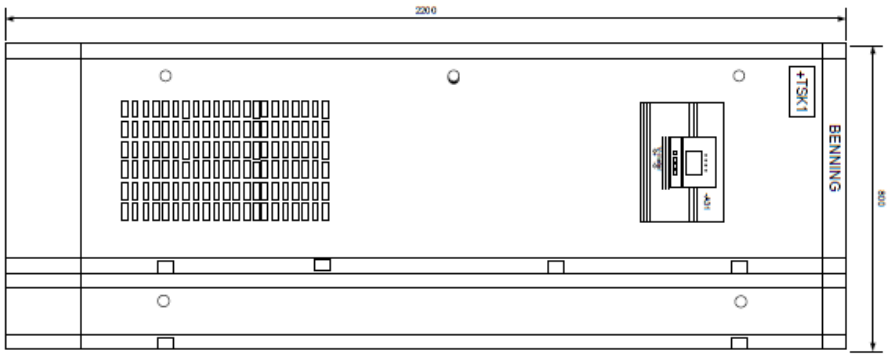
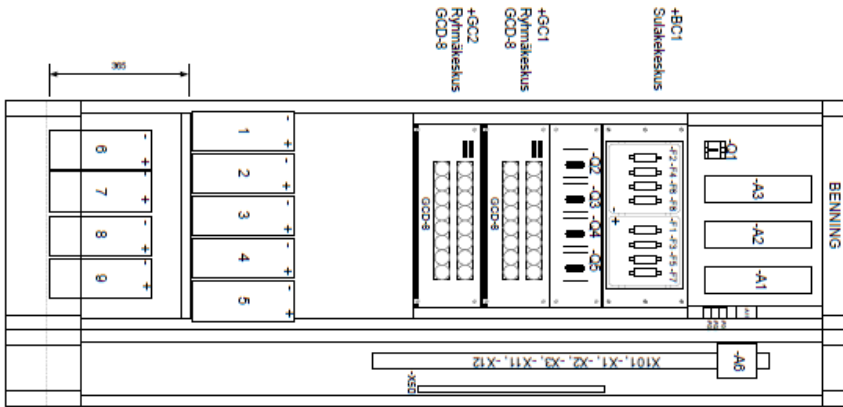
Tiainen, E. 2010. Johdon mitoitus ja suojaus. 3. uud. p. Helsinki. Sähköinfo oy.

Udd, M. ABB Power Systems. Vaasa. Henkilökohtainen tiedonanto 28.4.2015.

LIITE 1



LIITE 2



LIITE 3

Johtimen nimellis- poikkipinta (mm ²)	SFS 6000:n mukaiset asennustavat			
	A	C	D	E
Kupari				
1,5	14	18,5	26	19
2,5	19	25	35	26
4	24	34	46	36
6	31	43	57	45
10	41	60	77	63
16	55	80	100	85
25	72	102	130	107
35	88	126	160	134
50	105	153	190	162
70	133	195	240	208
95	159	236	285	252
120	182	274	325	292
150	208	317	370	338
185	236	361	420	386
240	278	427	480	456
300	316	492	550	527
Alumiini				
16	43	62	78	65
25	56	77	100	83
35	69	95	125	102
50	83	117	150	124
70	104	148	185	159
95	125	180	220	194
120	143	209	255	224
150	164	240	280	260
185	187	274	330	297
240	219	323	375	350
300	257	372	430	404

Korjauskerroin		1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
Asennus-tapa	Sulakkeen/johdon-suojakatkaisijan nimellisivirta I_n , A	Vähimmäispoikkipinta, kun suojaalitteena on sulake/johdonsojajatkaisija (mm ² Cu)					
A	6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	10	1,5	1,5	2,5/1,5	2,5/1,5	4/2,5	4/2,5
	4) 13	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	4
	16	2,5	2,5	4/2,5	4	6/4	6
	20	4/2,5	4	6/4	6	10/6	10
	25	6/4	6	10/6	10	10	16
	32	10/6	10	10	16/10	16	25/16
	35	10	10	16/10	16	25/16	25
	40	10	16/10	16	16	25	35/25
	50	16	16	25	25	35/25	50/35
	63	25	25	35/25	35	50	70/50
	80	35	35	50	70/50	70	95
	100	50	70/50	70	95/70	95	150/120
	125	70	95/70	95	120/95	150/120	185
	160	120	120	150	185	240	300
	200	150	185	240	300		
	250	240	240	300			
C	6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	10	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5/1,5	2,5/1,5
	4) 13	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5
	16	1,5	1,5	2,5/1,5	2,5	4/2,5	4
	20	2,5/1,5	2,5	2,5	4/2,5	4	6/4
	25	4/2,5	4/2,5	4	6/4	6	10/6
	32	4	6/4	6	10/6	10	10
	35	6/4	6	10/6	10	10	16/10
	40	6	10/6	10	10	16/10	16
	50	10	10	16/10	16	16	25
	63	16/10	16	16	25/16	25	35/25
	80	16	25/16	25	35/25	35	50
	100	25	35/25	35	50/35	70/50	70
	125	35	50/35	70/50	70	95/70	95
	160	70	70	95	95	120	150
	200	95	95	120	150	185	240
	250	120	150	150	185	240	300
315	150	185	240	300			
400	240	300	300				
D	6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	10	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	13	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	16	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5
	20	1,5	1,5	1,5	2,5/1,5	2,5	4/2,5
	25	1,5	2,5/1,5	2,5	2,5	4/2,5	6/4
	32	2,5	2,5	4	4	6/4	10/6
	35	4/2,5	4/2,5	4	6/4	6	10
	40	4	4	6/4	6	10	10
	50	6/4	6	10/6	10	16/10	16
	63	10	10	16/10	16	16	25
	80	16/10	16	16	25/16	25	35
	100	16	25/16	25	35/25	35	50
	125	25	35/25	35	50/35	70/50	70
	160	50	50	70	70	95	120
	200	70	70	95	95	120	150
	250	95	95	120	150	185	240
315	120	150	185	240	300		
400	185	240	300				
500	300	300					
E	6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	10	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5/1,5
	13	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5
	16	1,5	1,5	2,5/1,5	2,5	2,5	4
	20	2,5/1,5	2,5	2,5	4/2,5	4	6/4
	25	2,5	4/2,5	4	4	6/4	10/6
	32	4	4	6/4	6	10	10
	35	4	6/4	6	10/6	10	16/10
	40	6	6	10/6	10	10	16
	50	10	10	10	16/10	16	25/16
	63	16/10	16/10	16	25/16	25	35/25
	80	16	25/16	25	35/25	35	50/35
	100	25	35/25	35	50/35	50	70
	125	35	50/35	50	70/50	70	95
	160	70	70	70	95	120	150
	200	70	95	95	120	150	185
	250	95	120	150	185	240	300
315	150	185	240	240	300		
400	240	240	300				
500	300	300					

LIITE 4

Korjauksen		1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	
Ase- n- tapa	Sulakkeen/ johdonsoj- akattaisajan nimellisarvo I_w, A	Vähimmäispoikkipinta, kun suojaalitteena on sulake/johdonsojakkaisija mm ² Al						
A	25	16	16	16	16	16	25/16	
	32	16	16	16	25/16	25	35/25	
	35	16	16	25/16	25	25	35	
	40	16	25/16	25	25	35	50/35	
	50	25	25	35/25	35	50	70	
	63	35	50/35	50	70/50	70	95	
	80	50	70/50	70	95/70	120/95	150/120	
	100	70	95/70	95	120/95	150/120	185	
	125	95	120/95	150/120	185/150	240/95	300/240	
	160	150	185	240	300	300		
	200	240	300	300				
	250	300						
	C	25	16	16	16	16	16	16
		32	16	16	16	16	16	16
35		16	16	16	16	16	25/16	
40		16	16	16	16	25/16	25	
50		16	16	16	25	35/25	35	
63		25/16	25	35/25	35	50/35	50	
80		35/25	35	50/35	50	70/50	70	
100		50/35	50	70/50	70	95/70	120/95	
125		70/50	70	95/70	95	120/95	150/120	
160		95	95	120	150	185	240	
200		120	150	185	240	240	300	
250		185	240	240	300			
315		240	300					
D		25	16	16	16	16	16	16
	32	16	16	16	16	16	16	
	35	16	16	16	16	16	16	
	40	16	16	16	16	16	16	
	50	16	16	16	16	25/16	25	
	63	16	16	25/16	25	25	35	
	80	25/16	25	35/25	35/25	50/35	50	
	100	25	35/25	35	50/35	70/50	70	
	125	50/35	50/35	70/50	70	95/70	120/95	
	160	70	70	95	120	120	185	
	200	95	120	120	150	185	240	
	250	120	150	185	240	300		
	315	185	240	300				
	400	300						
E	25	16	16	16	16	16	16	
	32	16	16	16	16	16	16	
	35	16	16	16	16	16	16	
	40	16	16	16	16	16	25	
	50	16	16	16	25/16	25	35	
	63	16	25/16	25	35/25	35	50	
	80	25	35/25	35	50/35	70/50	70	
	100	35	50/35	50	70	70	95	
	125	70/50	70	70	95/70	120/95	150/120	
	160	95	95	120	120	150	185	
	200	120	120	150	185	240	300	
	250	150	185	240	240	300		
	315	240	240	300				
	400	300						

LIITE 5

Taulukko 52.7. Ilmaan asennettavien kaapelien yhteydessä käytettävät korjauskertoimet, kun lämpötila on eri kuin 25 °C.

Ympäristön lämpötila [°C]	Korjauskerroin johtimen eristeen mukaan	
	PVC	PEX tai EPR
10	1,15	1,11
15	1,10	1,07
20	1,05	1,04
25	1,00	1,00
30	0,94	0,96
35	0,88	0,92
40	0,82	0,88
45	0,75	0,84
50	0,67	0,79
55	0,58	0,73
60	0,47	0,68
65		0,62
70		0,56
75		0,48
80		0,39

Taulukko 52.8. Korjauskertoimet ympäröivän maan lämpötilan mukaan.

Maan lämpötila [°C]	Korjauskerroin johtimen eristeen mukaan	
	PVC	PEX tai EPR
0	1,13	1,10
5	1,09	1,06
10	1,05	1,03
15	1,00	1,00
20	0,95	0,96
25	0,90	0,93
30	0,85	0,89

Taulukko 52.9. Korjauskertoimet maan lämpöresistiivisyyden mukaan.

Lämpöresistiivisyys (Km/W)	0,7	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
Korjauskerroin	1,1	1,0	0,92	0,85	0,75	0,69	0,63

LIITE 7

Taulukko 52.11. Korjauskertoimet ryhmille, joissa on useita kaapeleita tai virtapiirejä.

Sijoitus (kaapelit koskettavat toisiaan)	Virtapiirien tai monijohdinkaapeleiden määrä								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nipussa ilmassa, pinnalla, upotettuna tai kotelon sisällä	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50
Yhdessä kerroksessa seinällä, lattialla tai rei'ittämättömällä kaapelihyllyllä	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,71
Yhdessä kerroksessa kiinnitettynä suoraan puisen alakaton pinnalle	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61
Yhdessä kerroksessa rei'itetyllä kaapelihyllyllä vaaka- tai pystysuunnassa	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72
Yhdessä kerroksessa tikkailla, tuilla tai kiinnikkeillä	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78

Taulukko 522.12. Korjauskertoimet kun kaapeli viedään lämpöeristeen läpi.

Lämpöeristeen paksuus [mm]	Korjauskerroin
10	0,89
100	0,81
200	0,68
400	0,55
500	0,50

LIITE 8

gG tyypin sulakkeen nimellisvirta A	Kaapelin kuormitetta- vuus A
6	8
10	13,5
16	18
20	22
25	28
32	35
35	39
40	44
50	55
63	70
80	88
100	110
125	138
160	177
200	221
225	276
315	348
400	441
500	552
630	695
800	883