

Jere Vuori

Lumetuslinjaston sähköinen suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

29.04.2017

| | |
|--|---|
| Tekijä Otsikko | Jere Vuori Lumetuslinjaston sähköinen suunnittelu |
| Sivumäärä Aika | 26 sivua 29.04.2017 |
| Tutkinto | Insinööri (AMK) |
| Koulutusohjelma | Sähkötekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | Sähkövoimatekniikka |
| Ohjaajat | Lehtori Osmo Massinen Toimitusjohtaja Tomi Suhonen |
| <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä suunnitelmat Espoon Oittaaalle tulevan lumetusjärjestelmän sähköistykseen. Suunnittelu sisälsi järjestelmän sähköisen mitoituksen, tarvikeluettelon tekemisen sekä putkitus- ja kaapelointikartan tekemisen.</p> <p>Suunnitelmien tekeminen vaati neuvottelua tilaajaan ja urakoitsijan kanssa, jotta toteutu-neesta järjestelmästä tuli toimiva ja tarpeiden mukainen. Suunnitelmia tehdessä tarvittiin sähköalan standardeja, joista saatiin tietoa asennustavoista ja laskukaavoista.</p> <p>Lopputuloksena saatiin valmiit suunnitelmat urakoitsijalle, joka niiden mukaisesti rakensi lumetusjärjestelmän.</p> | |
| Avainsanat | Lumitykki, Oittaa, oikosulkuvirran laskenta |

| | |
|---|--|
| Author Title | Jere Vuori Electrical Planning for Snow Blowers |
| Number of Pages Date | 26 pages 29 April 2017 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Electrical engineering |
| Specialisation option | Electrical power engineering |
| Instructors | Osmo Massinen, Senior Lecturer Tomi Suhonen, CEO |
| <p>The purpose of this study was to make plans to supply snow blowers in Oittaa, Espoo. The planning consisted of making an electric plan, supply list, piping plan and a cabling plan.</p> <p>Making these plans required negotiating with the commissioner and the contractor, so that the system will be functional and will meet the requirements the commissioner had. Electrical standards were required to make the right calculations and correct installations.</p> <p>The finished plans were given to the contractor who built the system according to them.</p> | |
| Keywords | Snow blower, Oittaa, calculating the short circuit current |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-----|--------------------------------|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Lumitykit | 1 |
| 3 | Lumetusjärjestelmä | 3 |
| 4 | Tarvikkeet | 7 |
| 5 | Sähköalan säännökset | 12 |
| 5.1 | Kaapelin asentaminen maan alle | 12 |
| 5.2 | Sulakesuojaus | 15 |
| 5.3 | Maadoitukset | 18 |
| 6 | Sähköinen mitoittaminen | 21 |
| 6.1 | Järjestelmän tehon tarve | 21 |
| 6.2 | Oikosulkuvirta | 23 |
| 6.3 | Jännitteenalenema | 24 |
| 7 | Yhteenveto | 26 |
| | Lähteet | 27 |

Lyhenteet

| | |
|------------|--|
| A | Ampeeri. |
| Al | Alumiini. |
| Cu | Kupari. |
| kVA | Kilovolttiampeeri. |
| kW | Kilowatti. |
| N-johdin | Nollajohdin. |
| PE-johdin | Maadoitusjohdin. |
| PEN-johdin | Yhdistetty maadoitus- ja nollajohdin. |
| SEU | Suomen Energia Urakointi. |
| TN-C | Johdinjärjestelmä jossa käytetään PEN-johdinta. |
| TN-S | Johdinjärjestelmä jossa käytetään erillisiä PE- ja N-johtimia. |
| V | Voltti. |
| Ω | Ohmi. |

1 Johdanto

Etelä-Suomessa lumipeitteen paksuus vaihtelee vuosittain, ja se aiheuttaa ongelmia hiihtolatuksen ylläpitoon. Lumen tekemiseen onkin käytetty lumitykkeitä jo vuosia. Ensimmäiset lumitykit on valmistettu jo 1900-luvun alussa. [1.]

Espoon Oittaalla lumetus hoidettiin aiemmin tykittämällä lunta yhteen kasaan, josta sitä sitten levitettiin kuorma-autoista ladulle. Tämä on epäedullinen tapa saada lunta laduille. Espoon kaupungin ajatuksena olikin siis, että rakennettaisiin ladun varteen sähkö- ja vesipisteitä lumitykkeitä varten. Tällöin lumetus onnistuisi järkevämmän, kun lumitykit vietäisiin aina sinne missä lunta tarvitaan. Tätä varten piti suunnitella sähköistys vedenpumppaamolle ja itse lumitykeille. Projektin teki haastavaksi se, että molemmat sekä pumppaamo että lumitykit tarvitsevat paljon energiaa ja välimatkat ovat suhteellisen pitkiä. Projektin tavoitteena oli siis saada lumetuslinjaston suunnitelmat urakoitsijalle, joka rakentaisi järjestelmän niiden mukaisesti. Jotta projekti valmistuu aikataulun mukaan, on aina huomioitava, että suunnitteluunkin kuluu aikaa.

Projektin tehtiin tostek Oy:lle. Yritys on vuonna 2010 perustettu suunnittelu- ja asiantuntijayritys. Yritys tarjoaa sähköjakeluverkon suunnittelu-, asiantuntija-, ja projektointipalveluita Etelä-Suomen alueella.

2 Lumitykit

Tykkilumi on puristettua vesi-ilmaseosta. Käytännössä lumi valmistetaan johtamalla lumitykkiin paineistettua vettä, joka menee suuttimien läpi. Suutin hajottaa vesipisarat muutamien kymmenien mikronien kokoisiksi pisaroiksi. Pisarat lennätetään ilmaan tykissä olevalla potkuripuhaltimella. Mikäli ilman lämpötila on alle 0°C, alkavat pisarat haihtua ja jäähtyä nopeasti, muodostaen lumikiteitä. Sama onnistuu myös, mikäli ilmankosteus on alhainen. Lumitykeissä on omia säätöominaisuuksia, joihin vaikuttaa ulkona vallitseva lämpötila. [2.]

Lumitykeillä tehdyn lumen hyvä puoli on sen tiiveys. Tiivis lumi sulaa hitaammin kuin luonnonlumi. Lumen tekoon kuluu keskimäärin 40–60 kuutiota vettä tunnissa. Käytettä-

väksi vedeksi suositellaan luonnonvettä, koska se ei maksa mitään. Lumitykkien vesiverkostossa tarvitaan noin 10–50 Barin paine, riippuen käytettävästä järjestelmästä. Lumitykit tuottavat suhteellisen kovaa meteliä. Meteli syntyy veden kovasta paineesta ja moottorin käyntiäänestä. [2.]

Espoon kaupungin Oittaalla käyttämissä lumitykeissä on kaksi sähkömoottoria (kuva 1). Toinen paineistaa veden suuttimille ja toinen pyörittää potkuripuhallinta. Moottoreissa on suuret käynnistysvirrat, jopa kuusinkertaiset nimelliseen virtaan verrattuna. Tästä aiheutuu ongelmia esim. sulakesuojauksen mitoituksessa. Tällöin on käytettävä erityisesti moottorilähdöille tarkoitettuja aM-sulakkeita. Nämä sulakkeet on suunniteltu siten, että ne kestävät moottorien tarvitsemat suuret käynnistysvirrat. Tämän takia kyseisiä sulakkeita ei voi käyttää virtapiirin ylikuormitussuojaukseen.

Moottorien käynnistysvirtoja on saatu pienemmäksi monella eri tavalla. Ensimmäisiä kehitettyjä keinoja oli kytkeä moottorin käämit käynnistyksen ajaksi tähtikytkentään. Kun moottori pyörii nimellisnopeudella, kytkettiin käämit kolmiokytkentään. Tällä tavalla käynnistysvirrat pienenevät hieman. Nykyisin on enimmäkseen käytössä pehmokäynnistimiä ja taajuusmuuttajia. Pehmokäynnistin rajoittaa käynnistysvirtaa jännitteensäädöllä. Tämä toteutetaan käyttämällä tyristoreita jotka leikkaavat osan syötettävästä jännitteestä pois. Moottorin saavuttaessa halutun kierrosnopeuden, kytkeytyy tyristorihjaus pois päältä. Tällöin moottori käynnistyy hitaammin, ja käynnistysvirta voidaan säätää tiettyyn arvoon, jota ei haluta ylittää.

Paras ja kallein vaihtoehto on taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajalla syötetään moottorille pulssimaista jännitettä, jolla saadaan moottori käynnistymään lähes nimellisvirralla. Taajuusmuuttajalla pystytään myös ohjaamaan moottoria tarkemmin, esim. säätämään tarkka pyörimisnopeus. Espoon käyttämissä tykeissä oli käytössä pehmokäynnistimet.



Kuva 1 Demac Lenkon lumitykki.

3 Lumetusjärjestelmä

Espoo tilasi projektin Suomen Energia Urakoinnilta ja kertoi tarpeensa lumitykeille ja pumppaamolle. Sitten SEU kertoi oman näkemyksensä toteutuksesta tostek oy:lle suunniteltavaksi. Tällä tavalla muodostuivat projektin lähtötiedot. Kun projektin edetessä tilaajalle tuli uusia toiveita, piti suunnittelijan tehdä mitoitukset uudelleen ja koordinoita urakoitsijan kanssa toteutuksesta. Mitoituksella tarkastettiin, oliko toivottu järjestelmä mahdollinen standardien mukaan, ja sitten keskusteltiin urakoitsijan kanssa järkevimmästä toteutustavasta. Tällä tavalla saatiin rakentamisen kannalta paras lopputulos, sekä saavutettiin kustannustehokkain ratkaisu.

Suunnittelu aloitettiin käymällä Vantaan Hakunilassa katsomassa referenssikohdetta. Kohteessa oli sähköistys toteutettu asentamalla ladun laitaan yksi runkokaapeli, josta otettiin jakoliittimillä sähkö jakokeskuksiin. Tähän ratkaisuun oli päädytty, koska paksun runkokaapelin käsitteleminen on hankalaa. Tällä ratkaisulla nousukaapeliksi voidaan

valita taipuisampi ja pienempi poikkipintainen kaapeli. Jakokeskuksissa on sulakkeet ja 63 A:n voimapistorasias.

Projektissa ei päädytty edellä mainittuun järjestelmään. Sen sijaan käytettiin perinteistä jakokaappia, jonka kylkeen asennettiin tarvikekaappi (kuva 2). Hakunilan mallia ei käytetty, koska tämä jakokaappiratkaisu on tuttu asentajille. Lisäksi jakokaapit ovat helposti laajennettavissa, ja niihin saa hyvin varaosia. Jakokaapeissa kytkennät tehdään kaapin sisällä. Hakunilassa kaapelien kytkennät oli tehty maan alla. Tällöin vian sattuessa joudutaan kaivamaan kaapelit esiin maan alta, ja tämä on paljon työläämpää kuin tehdä kytkennät vain avaamalla jakokaappi. Jakokaappiin kytkettiin runkokaapeli AXMK 4 x 240 ABB:n valmistamilla AD300-kiskoliittimillä, sulakkeita ja lähtöjä varten SLD000-kytkimet. Kylkeen asennettuun tarvikekaappiin laitettiin pistorasia lumitykkiä varten. Jakokaapin ja tarvikekaapin välille asennettiin kumikaapeli 5 x 16 mm². Lisäksi jokaiselle jakokeskukselle asennettiin 25 m pitkä kuparinen 16 mm²:n maadoituselektrodi.



Kuva 2 Jakokeskus.

Pääkeskuksen syöttö kytkettiin suoraan pihassa olevaan muuntamoon. Uuden liittymän sulakekoko on 315 A, joten muuntamolle suunniteltiin 400 A:n sulakkeet, jotta verkko pysyy selektiivisenä. Keskuksen syöttö otettiin AXMK 4 X 300S kaapelilla. Koko järjestelmässä käytetään nimellisvirtoihin nähden paksuja kaapeleita, koska muilla kaapeleilla tarvittavia oikosulkuvirtoja ei olisi saavutettu. Tästä kerrotaan laskelmissa. Pääkeskukseen tarvittiin siis epäsuora sähkönmittaus, lähdöt tykkilinjoille ja pumppaamolle sekä 63 A:n ja 16 A:n pistorasiat. Lisäksi tarvittiin vielä yksi varalähtö, jos tulevaisuudessa on sellaiselle tarvetta.

Epäsuoraa mittausta käytetään yleensä, kun kyseessä on yli 63 A:n liittäminen. Suorassa mittauksessa mittari mittaa liittymän kuluttaman virran. Epäsuorassa mittauksessa virran mittaus tapahtuu virtamuuntajan läpi, joka muuttaa liittymälle tulevan virran pienemmäksi. Mittarissa on korjauskerroin muutettuun virtaan, jotta se laskee kuluneen sähkötehon oikein. Jännitteen mittaus tapahtuu ilman jännitemuuntajaa. Käytettäessä epäsuoraa mittausta ei mittaria tarvitse mitoittaa kestämään suuria virtoja, ja tällöin voidaan käyttää edullisempaa mittaria. Keskuksen suunniteltu 63 A:n pistorasia on tarkoitettu lumitykille ja 16 A:n pistorasia huoltoa varten. Keskuksen tiiveysluokaksi valittiin IP44 eli roiskevedeltä suojattu, koska se asennettiin ulos. Pääkytkimen nimellisvirraksi mitoitettiin 400 A, jotta se varmasti kestää sen läpi kulkevan virran. Keskuksen perustus valittiin samaksi kuin jakokeskuksillakin. Keskuksen alareunaan suunniteltiin jalkapuut, jotka jäivät maan alle. Nämä pitävät keskuksen paremmin pystyssä. Kuvassa 3 asennettu pääkeskus ladun laidassa.



Kuva 3 Pääkeskus.

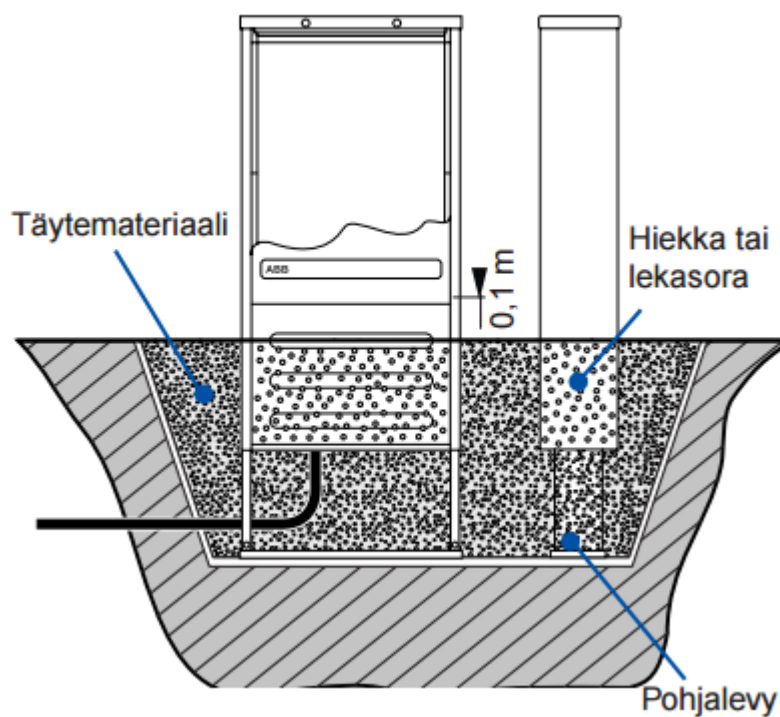
Pumppaamolle Espoo tilasi erikseen keskuksen ja pumput. Pumppaamon keskuksella on 160 A:n sulakkeet, joten pääkeskukselle asennettiin 200 A:n lähtö. Pumppaamolle tarvittiin myös erikseen vielä sähköt lämmitystä, valaistusta ja vedenpinnan antureita varten. Tämä toteutettiin ottamalla sähköt nykyiseltä keskukselta, joka on varikolla sijaitsevassa hallissa. Tältä keskukselta otettiin 25 A:n lähtö käyttöön, ja asennettiin AMCMK 4 x 25 +10 -kaapeli pumppaamolle. Pumppaamolle tuli siis uppopumppu pumppaamaan vettä järvestä sekä paineenostopumppu, jotta saadaan vesilinjastoon tarvittava vedenpaine. Vesilinjastolle ei suunniteltu sulanapitoa, koska linjasto tyhjenetään vedestä aina käytön jälkeen.

4 Tarvikkeet

Jakokeskukseksi valittiin ABB:n Kabeldon CDC420 -jakokaappi, jonka kylkeen asennettiin CDCA -tarvikekaappi. Jakokaappeja käytetään yleisesti jakeluverkossa, kun kyseessä on maakaapeliverkko. Jakokaappi asennetaan maahan siten, että noin kolmasosa kaapista jää maan alle. Tällä tavalla kaappi pysyy hyvin pystyssä, ja kaapelit saadaan kaapin sisään maan alla.

Jakokaapin nimen ensimmäinen numero kuvaa kiskoston nimellisvirtaa esim. tässä tapauksessa 400 A. Seuraavat kaksi numeroa kertovat jakokaapin moduulimäärän eli kuinka leveä kiskosto on. Yksi moduuli on 12,5 mm leveä, eli tässä jakokaapissa kiskosto on 250 mm leveä. Työskentelyä helpottavaksi kiskostoa ei kuitenkaan kannata suunnitella täyteen, siten että kaikki 20 moduulia olisi käytössä. Mikäli kiskosto on täynnä, viimeinen kytkin on vaikea asentaa paikoilleen. Samoin kaikki muutkin liittimet ja kytkimet olisi asennettava todella tiukasti yhteen.

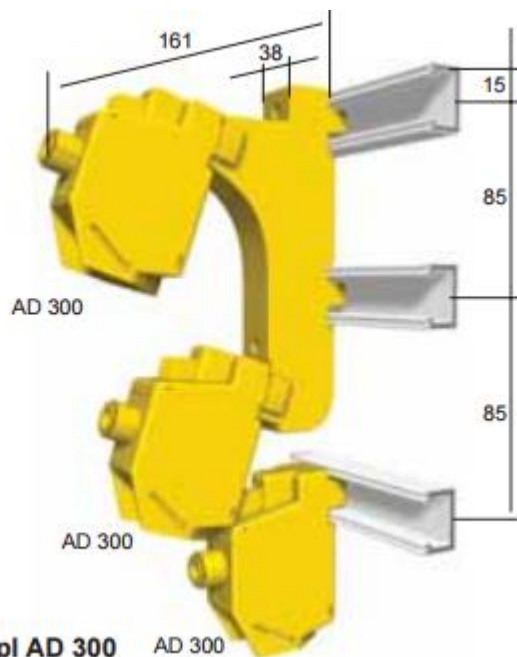
Jokaiseen jakokaappiin kuuluu asentaa merkintätanko, jotta talvella ja pimeällä jakokaapit huomataan hyvin. Jakokaappeihin on myös saatavilla erilaisia lukitusjärjestelmiä. Yleisin on perinteinen kolmioavaimella toimiva, mutta on mahdollista saada myös lukollisia malleja. Kuvassa 4 kuvattu tarkemmin jakokaapin asentaminen maahan.



Kuva 4 Jakokaapin maahan asennus [3, s.47].

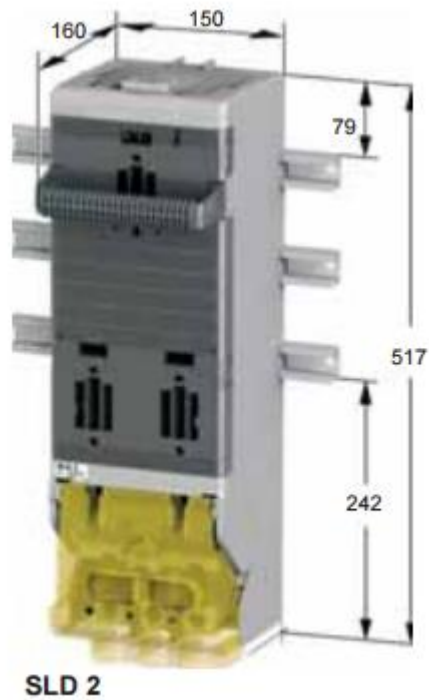
Syöttökaapelit kytketään jakokaapin kiskostoon kiskoliittimillä. Tässä projektissa käytettiin ABB:n AD300-liittimiä ja ADB 3M -liitintä (kuva 5). ADB 3M -liittimillä saadaan AD300-liittimet asennettua samalle sarakkeelle, jolloin säästetään tilaa jakokaapista. AD300-liittimiä voidaan käyttää myös ilman ADB 3M -liitintä, mutta tällöin liittimet on asennettava limittäin, jotta johtimet saadaan liittimille. AD-liittimiä on olemassa eri kaapelipoikkipinnoille, esim. AD300 soveltuu 50–300 mm² poikkipintaisille johtimille. On tärkeää valita oikeat liittimet oikeisiin käyttökohteisiin, esimerkiksi jos on kyseessä liitos, jossa kuparikaapeli liitetään alumiinikaapeliin. Tällöin on valittava oikeat liittimet, jottei korrosio tuhoa liitosta. Jakeluverkossa yleisesti käytetään sinkittyjä liittimiä.

95



Kuva 5 Kiskoliitin kytkentä ADB 3M -liittimellä, mitat milleinä [3, s. 44].

Lähdöille asennetaan jonovarokeytkimet, joihin saadaan sulakkeet. Käytimme ABB:n SLD-kytkimiä (kuva 6). Kytkimet nimetään niiden fyysisen koon mukaan, isommalla kytkimellä on myös isommat liittimet ja isompi nimellisvirta. Käytettävä sulakekoko määräytyy kytkien mukaan, esim. SLD 000 -kytkimessä on käytettävä NH 000- tai C00 -sulakkeita. Kaikissa SLD-kytkimissä on liittimet, jotka soveltuvat kupari- ja alumiinijoh- timille. Johtimet on kiristettävä asennusohjeen mukaiseen momenttiin, isommilla kaa- peleilla isompi momentti kuin pienillä. Samaan kytkimeen on mahdollista kytkeä kaksi lähtöä, kunhan kytkettyjen kaapeleiden poikkipinnat soveltuvat käytettävään kytkimeen.



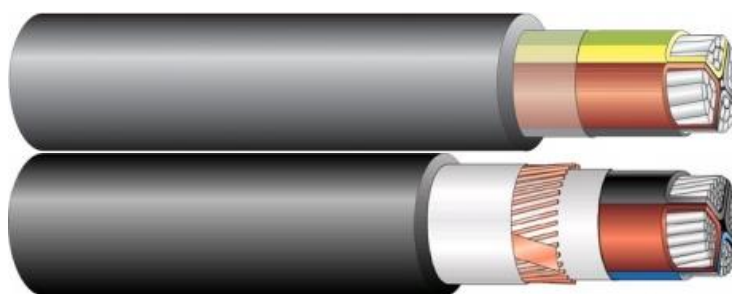
Kuva 6 SLD 2-kytkin, mitat millieinä [3, s. 42].

Ennen liittimiä itse kaapeli on kiinnitettävä rakenteeseen luotettavasti, tämä tehtiin UKRA90-kaapelikiinnikkeillä (kuva 7). Kiinnike kiinnitetään esim. jakokaapin alalaidassa olevaan kiskoon ja kaapeli kiinnikkeeseen. Tähän kaapelikiinnikkeeseen voi kiinnittää kaapeleita, joiden ulkohalkaisija on välillä 20–90 mm.



Kuva 7 UKRA90-kaapelikiinnike [4].

Kaapeleina käytettiin AXMK- ja AMCMK -maakaapeleita (kuva 8). AXMK on nelijohtiminen kaapeli, jossa johtimet ovat sektorimuotoisia. Kaapelissa ei ole konsentrista johdinta, eli sitä voidaan käyttää vain TN-C -järjestelmissä. Konsentrinen johdin on kaapelin uloimman eristeen ja johtimien välissä oleva kuparipunos. Kaapelia kytkettäessä tästä muodostetaan johdin joka toimii kaapelin maadoitusjohtimena. AMCMK on nelijohtiminen kaapeli, jossa on konsentrinen johdin, kaapelia on saatavilla myös kolmijoh-timisena. Molemmat kaapelit ovat PEX-muovieristeisiä, eli soveltuvat kiinteään asennukseen sisällä ja ulkona. Kaapeleita asennettaessa on huomioitava valmistajan antamat suositukset. Taivutussäde ei saa olla liian pieni, muuten kaapelin eristeet ja johtimet voivat vahingoittua. Putkeen asennettaessa kaapelia on myös huomioitava suurimmat sallitut vetovoimat, jottei kaapeli katkea tai hitsaannu putkeen kiinni. Myös valitseva ulkolämpötila on huomioitava. Liian kylmässä ilmassa kaapelin käsitteleminen voi vahingoittaa eristeitä ja johtimia.



Kuva 8: Ylempänä kuvassa AXMK ja alempana AMCMK kaapeli [5 ; 6].

Kaapelit asennettiin projektissa suojaputkiin koko kaapeloinnin osalta. Suojaputkina yleisesti käytetään A- ja B-lujuusluokan PVC-muoviputkia (kuva 9). A-luokan putkia käytetään raskaissa käytöissä, esim. teiden alituksissa. B-luokan putkia käytetään keskiraskaassa käytössä, esim. kevyenliikenteen väylän alituksissa. Suojaputkia voidaan käyttää myös sellaisissa kohteissa jossa se ei ole pakollista, jotta saadaan kaapeli suojattua mekaanisilta rasituksilta. Putkitettava kaapelointi on suunniteltava mahdollisimman suoraksi. Jos putkituksessa on paljon tiukkoja mutkia, muuttuu kaapelin vetäminen hankalaksi. Kaapelia vedettäessä putkeen kaapelin eriste hankaa putken seinämää. Jos putkitus ei ole suora, kaapelin vedosta aiheutuma kitka voi sulattaa kaapelin eristeistään kiinni putkeen. Kaapelia vedettäessä kitkaa voidaan vähentää käyttämällä esim. saippualluosta. [7, s. 9].



Kuva 9 Kaapelisuojaputkia [8].

5 Sähköalan säännökset

Sähkösuunnittelussa on aina huomioitava nykyiset säännökset, eli pitää etsiä standardeista hyväksytyjä asennustapoja ja laskukaavoja. Käytetyt standardit olivat SFS Käsikirja 600-1 ja D1-2012 -käsikirja rakennusten sähköasennuksista.

5.1 Kaapelin asentaminen maan alle

Maahan asennettavina kaapeleina on käytettävä kaapeleita jotka ovat mekaanisesti tarpeeksi vahvoja. Kaapelit suositellaan olevan varustettuja maadoitettavalla metallisella kosketussuojalla esim. konsentrisella johtimella. On sallittua käyttää myös metalli-vaipattomia kaapeleita esim. AXMK. Maahan asennettavaksi tarkoitettuja muitakin HD 603 -vaatimusten mukaisia kaapeleita voidaan käyttää, mikäli ne soveltuvat Suomen maastoon. [10, s.601–603].

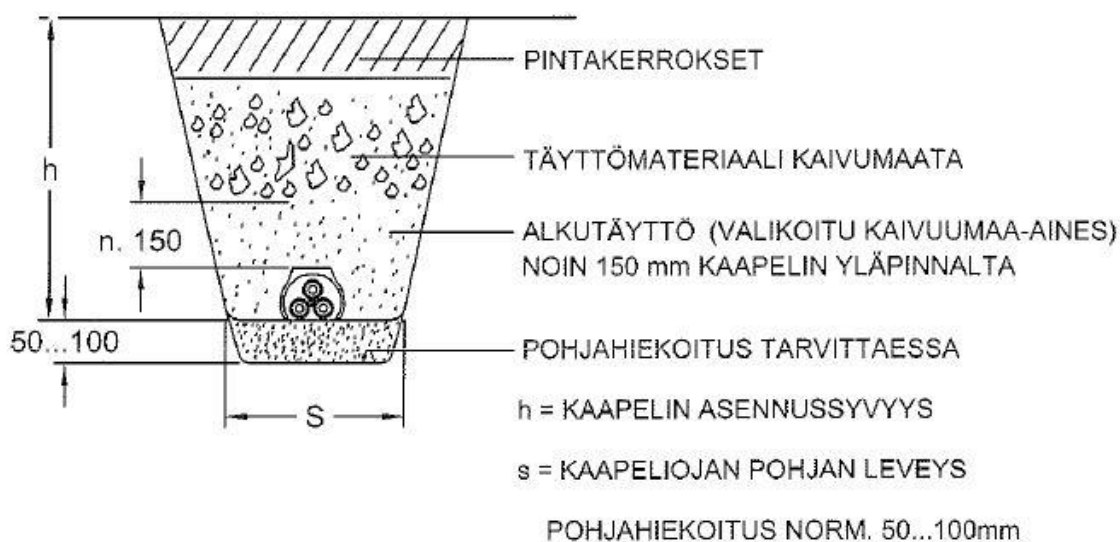
Kaapelia on käsiteltävä siten, että se ei vahingoitu asennuksen aikana eikä sitä ennen. Asennuksessa on noudatettava valmistajan antamia ohjeita mm. vetovoimista, käsittelylämpötilasta ja taivutussäteistä. Kaapeli on suunniteltava käyttämällä standardin SFS 6000-5-52 ohjeita liittyen

- kaapelin kuormitettavuuteen
- etäisyyteen toisiin kaapeleihin
- kaapelin asennustapaan koko reitiltä
- maan lämpöresistanssiin ja muihin ympäristön olosuhteisiin.

Lähekkäin asennettujen kaapeleiden tulee säilyttää vaadittu etäisyys toisistaan koko asennuksen matkan, lukuun ottamatta liitoskohtia. [10, s.601–603].

Kaapeli pitää suojata sen vaippaa vahingoittavilta esineiltä kaapelin vedon ja ojan täytön aikana, joko asentamalla kaapeli suojaputkeen tai käyttämällä kaapelin ympärillä hienojakoista hiekkaa tai vastaavaa ainesta. Mikäli kyseinen suojaus ei ole mahdollista, esim. asennettaessa kaapeli auraamalla, suositellaan maaperän tutkimista tai esi-aurausta. Kaapeli on asennettava maahan siten, että vetorasitusta ei jää, esim. jättämällä asennuksen muutoskohtiin riittävästi liikevaraa, jotta kaapeli pystyy vapaasti liikkumaan. Tällä tavalla estetään routimisen tai maan painumisen vaikutukset. Ennen kuin kaapelioja täytetään, on tehtävä silmämääräinen tarkistus, että kaapeli on kunnossa. Jos kaapeli on asennettu auraamalla silmämääräistä tarkistusta ei tarvitse tehdä. Kaapelin kunto tarkistetaan vielä lopuksi eristysresistanssi mittauksella ennen käyttöönottoa. Tarkistuksella varmistetaan, että kaapeli on ehjä. Kuvassa 10 kuvattu kaapeliojan poikkileikkaus. [10, s.601–603].

KAAPELIOJAN PERIAATEPOIKKILEIKKAUS



Kuva 10 Kaapeliojan periaatepoikkileikkaus, suositus asennussyvyys 0,7 m [9].

Kaapelit tulee asentaa riittävän syväälle tai suojata mekaanisesti. Tällä varmistetaan, että kaapelit kestävät mahdollisimman hyvin maan alla. Asennussyvyys riippuu kaapelista, sekä maasta johon se asennetaan. Myös kaapelin rakenne vaikuttaa vaadittuun suojaukseen. Mikäli kaapelissa on konsentrisen johdin, vika sattuu yleensä äärijohtimen ja konsentrisen johtimen välille. Tällöin vika kytkeytyy nopeasti pois, koska muodostuneessa oikosulkuvirtapiirissä on suuri oikosulkuvirta, ja tällöin kaapelinsuoja katkaisee lähdön nopeasti. Tällöin vika ei aiheuta pitkää sähköiskun vaaraa. Esimerkiksi kun kaivetaan kaivurilla maata ja samalla vahingossa rikotaan kaapelin eriste. Tällöin kauha muodostaa virtapiirin äärijohtimen ja konsentrisen johtimen välille.

Mikäli kaapelissa ei ole konsentrista johdinta, kuvailemani vian virtapiiri muodostuu äärijohtimesta kaivuriin, jolloin sähköiskun vaaraa on suuri. Tämän takia kaapeleille jossa ei ole konsentrista johdinta, on tiukemmat säännökset kaapelin suojauksesta ja asennussyvyydestä. Suositeltu yleinen asennussyvyys on 0,7 m. Kaivuussyvyydestä voidaan kuitenkin poiketa, mikäli maasto on hankala esim. kallioinen. Kaapelilla jossa on konsentrisen johdin, voidaan asennussyvyyttä määriteltäessä käyttää asennuksen tekijän harkinnan mukaista asennussyvyyttä. Mikäli asennussyvyys on alle 0,3 m, on aina käytettävä mekaanista suojaa esim. suojaputkea. Asennettaessa kaapelia alle 0,7 m:n syvyyteen, jossa ei ole konsentrista johdinta, on aina käytettävä standardin SFS 6000-8-814 taulukon 814.1 mukaista suojausta (taulukko 1). [10, s.601–603].

Taulukko 1: Kaapelin vaadittu suojaus eri asennussyvyyksillä [10, s. 603]

Taulukko 814.1: Ilman metallista kosketussuojaa olevan maakaapelin suojaus eri asennussyvyyksillä:

| | | |
|---|--|--|
| Kaapelin tai suojaputken asennussyvyys h (kaapelin asennusalustan syvyys) | Standardin SFS-EN 61386-24 Mukaisen iskunkestävyyden ja puristuskestävyyden mukaan | Standardin SFS 5608 mukaisen lujuusluokan mukaan |
| $h \geq 0,7\text{m}$ | varoituss nauha | varoituss nauha |
| $0,5\text{m} < h < 0,7\text{m}$ | L 450 | kevyt käyttö C |
| $0,3\text{m} \leq h \leq 0,5\text{m}$ piha ja puistoalueilla | N750 | raskas käyttö A |
| $0,3\text{m} \leq h \leq 0,5\text{m}$ muilla alueilla | N450 | keskiraskas käyttö B |

Jokaisen maan alle asennetun kaapelin yläpuolelle tulee asentaa varoituss nauha. Varoituss nauha tulee olla vähintään 0,2 m ylempänä kaapelin yläpinnasta. Jos kaapelioja on leveä suositellaan, että varoituss nauhoja laitetaan useita vierekkäin tai käytetään varoi-

tusverkkoa. Jos kaapeli joudutaan asentamaan maan tai kallion pinnalle, on kaapeli asennettava luotettavasti kiinnitetyllä mekaanisella lisäsuojalla. Kallion pintaan asennettun kaapelin suojana suositellaan käytettäväksi betonivalua suoja-putken päälle. Mikäli asennuksessa kaapeli nousee maan pinnalle, on se suojattava:

- muototeräksellä

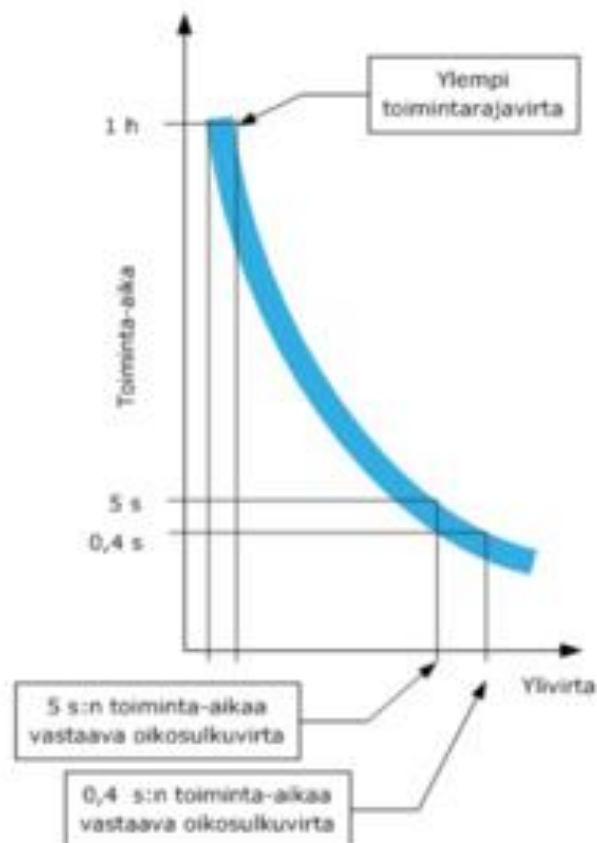
- vähintään standardin SFS-EN 61386-1 mukaisella lujuusluokan 4 suoja-putkella

- raskaan käytön suoja-putkella tai vastaavalla.

Suojaus on tehtävä vähintään 1,5 m:n korkeudelle asti ja liikenneväylän varrella kahden metrin korkeudelle maan pinnasta. Suojauksen pitää ulottua myös 0,2 m maan alle. Mikäli samaan kaapeliojaan asennetaan sähkö- ja telekaapeleita, tulee niiden välinen etäisyys olla operaattorin määrittelemä. Maahan tai veteen asennettavien kaapeleiden sijainnista on laadittava kartta. Kaapelin sijainti on kiinnitettävä kartassa esiintyviin pysyviin maaston kiintopisteisiin tai koordinaatistoon. [10, s.601–603].

5.2 Sulakesuojaus

Sulakesuojauksen tarkoituksena on suojata virtapiiriä ylivirralla. Käytännössä siis suojataan kaapelin eristykset, jatkokset, liittimet ja johtimia ympäröivät rakenteet ylivirran aiheuttamilta termisiltä ja mekaanisilta vaikutuksilta. Ylikuormitussuojaus katkaisee virtapiirin, mikäli piiri ottaa enemmän virtaa kuin se on mitoitettu kestämään. Oikosulkusuojaus katkaisee virtapiirin vikatilanteissa esim. kahden vaiheen välinen oikosulku. Yleisesti molempiin suojauksiin käytetään yhteistä suojalaitetta sulaketta tai johdonsuojakatkaisijaa. Oikosulkusuojaus mitoitetaan verkosta saatavan oikosulkuvirran ja virtapiirin tarvitseman virran mukaan. Ylikuormitussuojaus mitoitetaan valitsemalla suojalaitte sen toimintakäyrän mukaan. [10, s.127–135].



Kuva 11 Sulakkeen toiminnan kuvaaja [11].

Kuvassa 11 sininen viiva esittää sulakkeen toimintarajaa. Kun tietty virta on kulkenut yli sallitun ajan sulakkeen läpi, sulake toimii ja katkaisee virtapiirin. Kuvassa on esitetty erikseen yleisimmät sulakkeen toiminta-ajat.

Ylikuormitussuojan on täytettävä seuraavat kaksi ehtoa:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_Z$$

I_B on piirin suunniteltu virta

I_Z on johtimen jatkuva kuormitettavuus

I_n on suojalaitteen mitoitusvirta

I_2 on virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa. [10, s.130].

Nämä kaksi ehtoa eivät silti anna täydellistä suojausta kaikissa tapauksissa, esim. jos ylivirta on pitkän aikaa pienempi kuin I_2 . Tämän takia oletetaan, että virtapiirit on suunniteltu hyvin, jotta kyseistä ei tapahdu liian usein. Ylikuormitussuojat on mitoittettava asennetun kaapelin heikoimman kohdan mukaan, eli esim. pienimmän johdin poikkipinnan tai huonoimman asennustavan mukaan. Ylikuormitussuojaa ei vaadita kaikissa asennuksissa. Mikäli on kyseessä jakeluverkko, joka muodostuu maahan asennetuista kaapeleista tai ilmajohdoista, joiden ylikuormitus ei aiheuta vaaraa ei ylikuormitussuojaa vaadita. [10, s.127–135].

Oikosulkusuojauksen mitoittaminen aloitetaan laskemalla virtapiirin päässä oleva verkon antama prospektiivinen oikosulkuvirta. Kun se on laskettu, voidaan katsoa taulukosta suojalaitteen esim. sulakkeen sallittu maksimi nimellisvirta. Yhtä oikosulkusuojaa voidaan käyttää suojaamaan rinnankytkettyjä lähtöjä. Tällöin pitää huomioida, että suojaus toimii, vaikka vika sattuisi yhden rinnankytketyn lähdön vaikeimmassa paikassa. Huomioitava on myös, että vikavirta voi tulla vikakohtaan rinnankytketyn lähdön kummasta tahansa päästä. Myös oikosulkuvirran jakautuminen on huomioitava mitoittamista tehtäessä. Mikäli suojaus ei onnistu yhdellä suojalaitteella, laitetaan jokaiselle lähdölle oma oikosulkusuojaus. Oikosulkusuojausta mitoittaessa on myös huomioitava, että jos prospektiivinen oikosulkuvirta on suuri, niin asennus kestää hetkellisen suuren oikosulkuvirran. Tällainen suuri oikosulkuvirta voi esiintyä esim. jos kohde on lähellä muuntamoaa tai sähköasemaa. Yleisesti käytössä olevat oikosulkusuojan toiminta-ajat ovat 0,4 sekuntia ja 5,0 sekuntia. Viiden sekunnin toiminta-aikaa käytetään esim. pääsulakkeilla ja nousujohdoilla. 0,4 sekunnin toiminta-aikaa käytetään esim. kiinteistön pistorasialähdöissä ja vastaavissa. Tässä projektissa käytettiin viiden sekunnin toiminta-aikaa, koska kyseessä on palonkestävästi asennetut maakaapelilähdöt, joissa ei ole suoranaisia kuluttajalaitteille tarkoitettuja pistorasioita tai vastaavia. [10, s.127–135].

Sulakesuojaus on myös suunniteltava toimimaan selektiivisesti, eli suunnitellaan sähköverkko niin, että vikatilanteiden sattuessa mahdollisimman pieni alue sähköverkosta kytkeytyy pois. Tämä onnistuu mitoittamalla sulakkeet syöttösuunnasta katsoen laskevaan suuruusjärjestykseen. Esim. tässä projektissa muuntamalla on 400 A:n sulake, pääkeskuksella 315 A:n sulake, keskuksen lähdöillä on 200 A:n tai 160 A:n sulakkeet ja jakokeskuksella on 63 A:n sulakkeet. Näin suojattuna vika- tai ylikuormitustilanteessa sähkökatkeavat mahdollisimman pieneltä alueelta kerrallaan. Jos vika tapahtuu

jakokeskuksella, niin sen jakokeskuksen 63 A:n sulakkeet palavat, ja kaikki muut jakokeskukset ovat vielä käytettävissä.

5.3 Maadoitukset

Maadoitusjärjestelmän tarkoituksena on saada aikaan johtava yhteys matalampaan potentiaaliin. Lisäksi sen pitää johtaa maasulkuvirrat ja suojajohtimien virrat maahan, ja olla tarpeeksi vankkarakenteinen kestäämään vallitsevat olosuhteet. Maadoitusverkko toteutettiin tässä projektissa maadoituselektrodeilla, joita sijoitettiin jokaiseen jakokeskukseen, pääkeskukselle ja pumppaamolle. Maadoituselektrodi on yleensä paljas kuparijohdin, joka kytketään esim. jakokeskuksen maadoituskiskoon ja asennetaan maahan samaan ojaan maakaapeleiden kanssa. Mikäli maadoituselektrodi on kuparia, on sen pienin sallittu poikkipinta-ala 16 mm^2 . Tällä poikkipinnalla kupari on tarpeeksi vahva kestäämään korroosion ja vikavirrat.

Maadoitusverkon tehokkuus riippuu myös maastosta. Mikäli maadoitusolosuhteet tai maan johtavuus on huono pitää lisätä maadoituselektrodeja, tai jollain muulla tavalla vahvistaa maadoitusverkkoa. Tällainen voi olla tarpeen esim. kun rakennetaan uutta muuntamoita. Maadoitusverkon tehokkuus ei myöskään saa heiketä minkään maadoituselektrodin resistanssin muutoksen takia. Muutos voi johtua esim. korroosiosta, kuivumisesta tai jäätymisestä. Elektrodien asennussyvyyttä ja rakennetta suunniteltaessa on otettava huomioon maasto ja suunniteltava maadoitusverkko siten, että maaperän negatiiviset vaikutukset minimoidaan. Huomioitava on myös elektrolyyttinen korrosio, mikäli maadoitusjärjestelmässä käytetään eri metalleja. Maadoituselektrodia ei myöskään saa upottaa suoraan vesistöön, mikäli on olemassa vaara, että vesistö kuivuu tai elektrodi tulee muuten näkyviin. Liitokset maadoitusverkossa on tehtävä puristusliittimillä tai muulla luotettavalla mekaanisella liitoksella. Alumiinijohtimia ei saa käyttää maadoituselektrodina, koska alumiini ei kestä korroosiota tarpeeksi hyvin. [10, s. 300–310].

Jokaisessa asennuksessa jossa käytetään suojaavaa potentiaalintasausta, on oltava päämaadoituskisko tai -liitin (kuva 12). Näihin kytketään suojaavat potentiaalintasausjohtimet, maadoitusjohtimet ja suojajohtimet. Kaikkia suojajohtimia ei tarvitse kytkeä suoraan päämaadoituskiskoon. Kytkentä voidaan tehdä esim. yhteiseen kiskoon, josta

on yhteys päämaadoituskiskoon. Jokainen päämaadoituskiskoon liitetystä johtimesta on oltava irrotettavissa yksitellen. [10, s. 300–310].



Kuva 12 Pääkeskuksen päämaadoituskisko.

Maadoitusjärjestelmän kaikkien suojajohtimien on kestettävä suojalaitteiden toimintajan aikana muodostuvat prospektiiviset vikavirrat. Suojajohtimen poikkipinta-ala määräytyvät kuvan 13 mukaan tai laskukaavalla 1. [10, s. 300–310].

Taulukko 54.2 Suojajohtimien minimipoikkipinnat (jos niitä ei ole laskettu kohdan 543.1.2 mukaisesti)

| Äärijohtimen poikkipinta S mm ² kuparia | Vastaavan suojajohtimen minimipoikkipinta mm ² kuparia | |
|---|--|---|
| | Suojajohdin on samaa materiaalia kuin äärijohtin | Suojajohdin on eri materiaalia kuin äärijohtin |
| $S \leq 16$ | S | $\frac{k_1}{k_2} \times S$ |
| $16 < S \leq 35$ | 16^* | $\frac{k_1}{k_2} \times 16$ |
| $S > 35$ | $\frac{S}{2}^*$ | $\frac{k_1}{k_2} \times \frac{S}{2}$ |

jossa

k_1 on äärijohtimen materiaalista ja eristyksestä riippuva kertoimen k arvo, joka on esitetty taulukossa A.54.1 tai SFS 6000-4-43 taulukoissa

k_2 on kertoimen k arvo, joka on esitetty taulukoissa A.54.2...A.54.6.

* PEN-johtimen poikkipinnan pienentäminen on sallittu vain noudattamalla nollajohtimen mitoituksen sääntöjä (ks. SFS 6000-5-52).

Kuva 13 Suojajohtimen minimipoikkipinnat [10, s. 305].

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k} \quad (1)$$

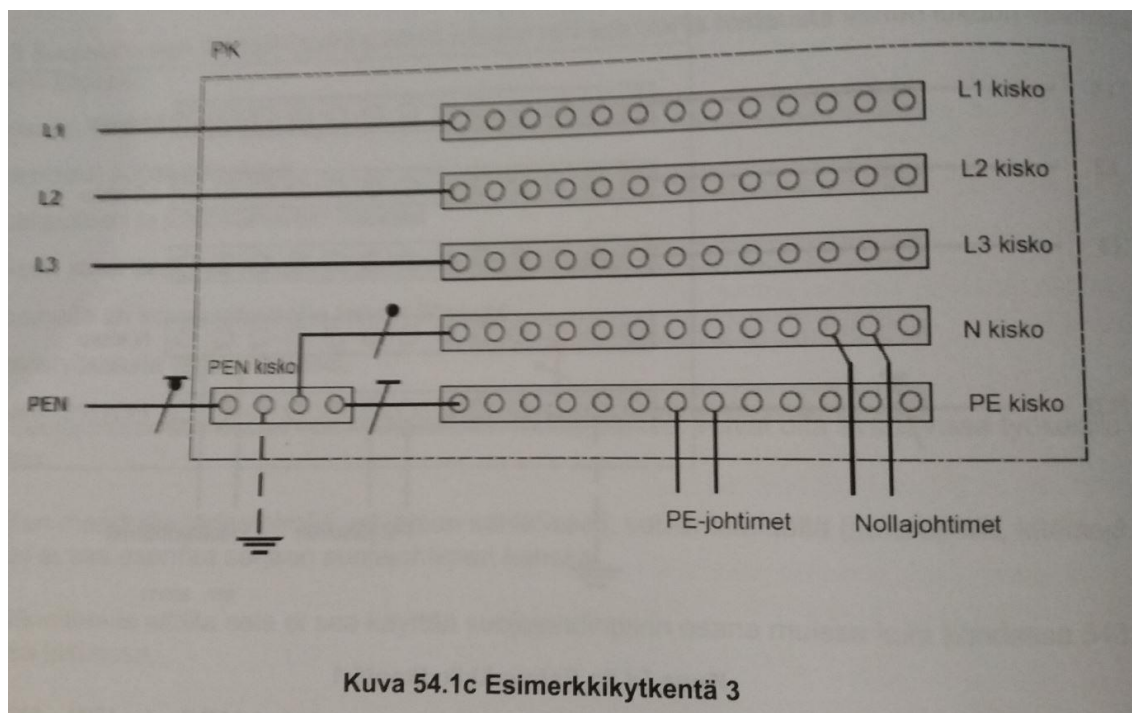
S on suojajohtimen poikkipinta-ala

I on suojalaitteen kautta kulkevan prospektiivisen vikavirran tehollisarvon, kun tapahtuu hyvin pieni-impedanssinen vika.

t on suojalaitteen toiminta-aika

k on kerroin, jonka arvo riippuu suojajohtimen eristyksestä ja muusta rakenteesta. k :n arvo lasketaan kaavalla, joka on kuvattu SFS 6001-5-54 liite 54A:ssa. [10, s. 306].

Yleisesti käytetään erillistä PE- ja N-johdinta, mutta tietyissä tapauksissa voidaan käyttää myös yhdistettyä PEN-johdinta. PEN-johdinta saa käyttää vain kiinteissä asennuksissa, ja mekaanisen kestävyuden takia käytettävän johtimen poikkipinta-alan on oltava vähintään 10 mm² kuparia tai 16 mm² alumiinia. Rakennusten ulkopuolella jakeluverkon kaltaisissa verkoissa PEN-johdinta saa käyttää edellyttäen, että kaapelin läheisyydessä ei ole johtavia yhteyksiä esim. tietoliikenneverkkoja. PEN-johtimen eristys on mitoitettava suurimman jännitteen mukaan mille se voi altistua. Tässä projektissa käytettiin PEN-johdinta, eli TN-C -järjestelmää. Sen etuna on edullisemmat kaapelit. TN-S -järjestelmässä tarvitaan viisijohdinkaapeli, ja TN-C -järjestelmässä riittää nelijohdinkaapeli. Tyypillisin maadoituskiskon asennustapa on kuvattu kuvassa 14. [10, s. 300–310].



Kuva 14 Maadoitusjärjestelmän esimerkkikytkentä keskuksessa [10, s. 310].

6 Sähköinen mitoittaminen

Laskennan apuna käytettiin Carunan Trimble NIS-verkkotietojärjestelmää. Sinne digitoitiin kaapelit ja jakokeskukset, jotta järjestelmä pystyi laskemaan niille tulevat oikosulkuvirrat. Trimbleä käytetään digitoimaan ja suunnittelemaan Carunan sähköverkkoa. Tarkat laskelmat oli kuitenkin tehtävä käsin, koska kyseessä on asiakkaan sisäinen verkko eli liittymispisteen jälkeinen verkko. Käsin laskennan kaavat haettiin standardeista.

6.1 Järjestelmän tehon tarve

Mitoitus aloitettiin, laskemalla kuinka paljon tehoa suunniteltu järjestelmä tarvitsee. Kokonaisnäennäisteho laskettiin annettujen lumitykkien ja pumppaamon tehojen mukaan. Jotta järjestelmä on hieman ylimitoitettu, eli toimii varmasti, laskettiin järjestelmä hieman isoimmilla tehoilla ja käytettiin tehokerrointa 0,8 (kaava 2).

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \quad (2)$$

S on näennäisteho, jonka yksikkö on Volttiampeeri (VA)
P on pätöteho, jonka yksikkö on kilowatti (kW)
Cos φ on tehokerroin, joka on paljas luku.

Tällä kaavalla saatiin järjestelmän kokonaisnäennäistehoksi 202,5 kVA. Tästä pitää vielä laskea järjestelmän vaativa virta, jotta voidaan mitoittaa sulakkeet järjestelmään (kaava 3).

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (3)$$

I on kokonaisvirta
S on näennäisteho
U on pääjännite, jonka yksikkö on voltti (V)
Cos φ on tehokerroin.

Tästä saadaan järjestelmän kokonaisvirrankulutukseksi 292 A. Pääsulakkeiksi valittiin seuraava isompi standardikoko 315 A (taulukko 2).

Taulukko 2 Lumitykkien tehontarve.

| Laite | P [kW] | cos φ | S [kVA] | S _{kok} [kVA] | I _{kok} [A] |
|------------------------|--------|---------------|---------|------------------------|----------------------|
| Lumitykki (3 kpl yht.) | 81 | 0.8 | 101.3 | 202.5 | 292.3 |
| Pumppaamo | 81 | 0.8 | 101.3 | | |

Myös lumitykkien ja pumppaamon lähtöjen tarvitsemat virrat pitää laskea, jotta voidaan mitoittaa niihinkin sopivat sulakkeet. Lumitykki linjalle saatiin kokonaisvirraksi 97 A, joten valittiin 160 A:n sulakkeet. Pumppaamolle saatiin virraksi 146 A ja valittiin 200 A:n sulakkeet. Molemmat sulakkeet ovat astetta isommat kuin tarvitsisi, näin saadaan pidettyä verkko loppuun asti selektiivisenä, koska pumppaamon keskuksen pääsulakkeet ovat 160 A. Lumitykkilinjassa on käytössä 63 A:n sulakkeet jokaista lumitykkiä varten. Kun kaksi lumitykkiä on käytössä samaan aikaan, tulee niiden summasta yli 125 A, joten piti valita seuraava isompi standardi koko (taulukko 3).

Taulukko 3: Lumitykkien virrankulutus

| Lähtö | P [kW] | cos φ | S [kVA] | I _{kok} [A] |
|------------------------|--------|---------------|---------|----------------------|
| Lumitykki (2 kpl yht.) | 54 | 0.8 | 67.5 | 97.4 |
| Pumppaamo | 81 | 0.8 | 101.3 | 146.1 |

6.2 Oikosulkuvirta

Vaaditun oikosulkuvirran määrittää lähdön sulakkeen koko. Mitä isompi sulake on, sitä isompi oikosulkuvirta vaaditaan lähdön päässä, jotta suojaus toimii vaaditussa ajassa vian sattuessa. Oikosulkuvirran I_k :n laskemiseen käytettiin kaavaa 4.

$$I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (4)$$

I_k on oikosulkuvirta

c on kerroin, joka huomioi jännitteenaleneman liittimissä ym.

U on pääjännite

Z on virtapiirin kokonaisimpedanssi. [12, s.95].

Oikosulkuvirran laskeminen aloitetaan kysymällä verkonhaltijalta, kuinka paljon syöttävällä muuntajalla on oikosulkuvirtaa. Tällä tiedolla pystytään laskemaan syöttävän verkon impedanssin (Z_q), johon lisäämällä pääkeskusta syöttävän kaapelin impedanssin, saadaan pääkeskuksella oleva oikosulkuvirta. Tästä pystytään laskemaan jokaisen lähdön päässä olevat oikosulkuvirrat, aina lisäämällä pisteiden välisen kaapelin impedanssin. Tarkemmat laskukaavat ja laskentatulokset esitetty alla (taulukko 4 ja 5).

$$Z_q = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k}$$

$$I_{kPK} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot (Z_q + Z_{LC})}$$

$$I_{kTykkilinja} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot (Z_q + Z_{LC} + Z_{PTC})}$$

$$I_{kPumppaamo} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot (Z_q + Z_{LC} + Z_{PC})}$$

Taulukko 4 Verkon oikosulkuvirta ja impedanssi muuntamalla.

| Verkon I_k [kA] | Verkon Z_q [Ω] |
|-------------------|---------------------------|
| 13.6 | 0.0161 |

Taulukko 5 Kaapeleiden pituudet ja impedanssit.

| Nimi | Kaapeli tyyppi | Kaapelin Z [Ω /km] | Kaapelin l [km] | Kaapelin Z _{kok} [Ω] |
|------------------------|----------------|----------------------------|-----------------|--|
| Liittymiskaapeli (LC) | AXMK 4x300 | 0,155 | 0,08 | 0,012 |
| Pisin tykkilinja (PTC) | AXMK 4x240 | 0,180 | 0,38 | 0,068 |
| Pumppaamo (PC) | AXMK 4x240 | 0,180 | 0,29 | 0,052 |

Taulukko 6 Lasketut oikosulkuvirrat.

| I _k :t eri pisteissä | Impedanssi pisteessä | Impedanssi [Ω] | I _k pisteessä [A] |
|---------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Pääkeskuksella | Z _q +LC | 0.0285 | 7689.4 |
| Pisin tykkilinja | Z _q +LC+PTC | 0.0969 | 2263.4 |
| Pumppaamolla | Z _q +LC+PC | 0.0807 | 2717.6 |

Liittymiskaapelia suojaava sulakekoko on 400 A, joten pääkeskuksella vaadittu oikosulkuvirta on 2840 A. Tykkilinjan päässä vaadittu arvo on 950 A. Pumppaamolle tarvittiin 1250 A:n oikosulkuvirtaa. Näillä kaapeleilla oikosulkuvirrat ylittyvät hyvin, eli sulakkeet toimivat vaadituissa ajoissa (taulukko 6). [12, s.94].

6.3 Jännitteenalenema

Suosittelun suurin jännitteenalenema laitteelle, joka on suoraan syötetty yleisestä jakeluverkosta, on 5 %. Tähän voidaan kuitenkin lisätä 0,005 % jokaista liittymiskaapelin 100 metrin ylittävää metriä kohden. Pisimmän lumitykkilinjan suositeltu jännitteenalenema on siis 6,45 %. Pumppaamon suositeltu arvo on 5,95 %. Jännitteenaleneman laskemiseen käytettiin kaavaa 5.

$$\Delta u = I_n * \sqrt{3} * (R * \cos\varphi + X * \sin\varphi) \quad (5)$$

Δu on jännitteenalenema

I_n on nimellisvirta

R on virtapiirin resistanssi

$\cos \varphi$ on tehokerroin

X on virtapiirin reaktanssi

$\sin \varphi$ on tehokertoimesta otettu sinifunktio. [12, s.233].

Jotta laskennan saa tehtyä tehdään oletus, että muuntamalla jännitteenalenema on nolla, eli kyseessä olisi jäykkä verkko. Tilanteet lasketaan pahimmassa käyttötilanteessa. Tällöin pisimmässä lumitykkilinjassa on kaksi lumitykkiä käytössä samaan aikaan ja tykit on kytketty kahteen viimeiseen jakokeskukseen. Lisäksi pumppaamalla on kaikki pumput päällä. Tällöin järjestelmässä kulkee suurimmat virrat ja silloin esiintyvät suurimmat jännitteenalenemat. [10, s. 262].

Ensin lasketaan jännitteenalenema pääkeskuksella, ja siitä jännitteenalenemat pisimmän lumitykkilinjan päässä, ja pumppaamalla (taulukot 7 ja 8). Laskennassa on otettu huomioon jokaisen kaapelin virta. Esimerkiksi pisimmän lumitykkilinjan päässä oleva jännitteenalenema piti laskea kolmessa osassa. Ensimmäinen osa on muuntamolta pääkeskukselle. Toinen osa on pääkeskukselta toiseksi viimeiseen jakokeskukseen ja kolmas osa on viimeisen kahden jakokeskuksen väli.

Taulukko 7 Kaapelien impedanssit eriteltynä.

| Kaapeli | Resistanssi [Ω /km] | Reaktanssi [Ω /km] |
|------------|-----------------------------|----------------------------|
| AXMK 4x300 | 0.133 | 0.079 |
| AXMK 4x240 | 0.162 | 0.079 |

Taulukko 8 Lasketut jännitteenalenemat.

| Väli | S [kVA] | I [A] | R [Ω] | X [Ω] | Δu [V] | Δu_{kok} [%] |
|-----------------------|---------|--------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|
| Muuntamo - Pääkeskus | 202.50 | 292.28 | 0.01 | 0.01 | 6.23 | |
| Pääkeskus - JK2.4 | 67.50 | 97.43 | 0.05 | 0.02 | 9.41 | |
| JK2.4 - JK2.5 | 33.75 | 48.71 | 0.01 | 0.01 | 0.97 | |
| Pääkeskus - Pumppaamo | 101.25 | 146.14 | 0.05 | 0.02 | 12.99 | |
| Muuntamo-JK2.5 | | | | | | 7.19 |
| Muuntamo-Pumppaamo | | | | | | 8.32 |

Kuten laskelmista huomataan, jännitteenalenemaa on 0,74 % prosenttia liikaa pisimmällä tykkilinjalla ja 2,37 % liikaa pumppaamalla suositukseen verrattuna. Kyseessä on kuitenkin niin pieni ero eikä suositus ole velvoittava, joten päädyttiin kyseisiin kaapeleihin. Vaikka olisi käytetty AXMK 4 x 300 -kaapelia jokaisella välillä, laskennallisesti ei silloinkaan päästäisi alle suosituksen. Mikäli olisi haluttu saada jännitteenalenema suosituksen mukaiseksi, olisi pitänyt nostaa syöttöjännitettä. Jos jännitetasoa olisi nostettu,

olisi tarvittu oma suurjänniteliittymä ja uudet lumitykit ja pumppaamo. Tämä olisi nostanut projektin kustannukset aivan liian suuriksi, jotta se olisi ollut järkevä toteuttaa.

7 Yhteenveto

Projektin suunnitelmat oli tehtävä nopeasti, koska lumitykkilinjasto haluttiin saada käyttöön jo parin kuukauden kuluttua suunnittelun aloittamisesta. Tilaajan suunnitelmat lumitykkilinjastolle kuitenkin muuttuivat suunnitelmia tehdessä. Tämä hidasti suunnittelua. Järjestelmän kokonaistoimitusajassa oli huomioitava myös keskusten ja kaapeleiden toimitusajat. Tavoitteena oli saada suunnittelu valmiiksi ajoissa, jotta rakentamisen aikataulu toteutuisi suunnitellusti, ja lumitykit saataisiin käyttöön samana talvena. Projektissa pääsin käyttämään koulussa opittuja asioita ja opin myös uutta. Standardien opiskelu ja niistä oikeiden asioiden löytäminen on suhteellisen raskasta, mutta siihenkin sain hyvää harjoitusta työtä tehdessäni. Suunnitelmat ja rakentaminen valmistuivat kokonaisuutena ajoissa, ja lumitykkilinjasto on toiminut hyvin. Kuvassa 15 näkyy tykkilumella tehty latu. Latu on hyvässä kunnossa, vaikka muualta lumet ovat jo sulaneet.



Kuva 15 Tykkilumella tehty latu.

Lähteet

- 1 How artificial snow is made. 2017. Verkkodokumentti.
<<http://www.madehow.com/Volume-4/Artificial-Snow.html>>.
Luettu 4.3.2017.
- 2 Tykkilumi. 2014. Verkkodokumentti.
<<http://www.ylojarvi.fi/vapaa-aika/liikunta-ja-ulkoilu/liikuntapaikat/ulkoliikunta/ladut-ja-kuntoradat/tykkilumi/>>.
Luettu 4.3.2017.
- 3 ABB Kabledon esite. 2012. Verkkodokumentti.
<https://library.e.abb.com/public/04669f417a032790c12573db003b0178/Kabledon_final_lores.pdf>. Luettu 4.3.2017.
- 4 Sähkönumerot. 2017. Verkkosivusto.
<<http://www.sahkonumerot.fi/1307804/>>. Luettu 4.3.2017.
- 5 Reka kaapelit. 2017. Verkkosivusto.
<<http://www.reka.fi/voimakaapelit/alumiinivoimakaapelit/axmk-voimakaapeli>>. Luettu 4.3.2017.
- 6 Reka kaapelit. 2017. Verkkosivusto.
<<http://www.reka.fi/voimakaapelit/alumiinivoimakaapelit/amcmk-voimakaapeli>>. Luettu 4.3.2017.
- 7 Pipelife esite. 2017. Verkkodokumentti.
<http://www.pipelife.fi/_media/fi/kaapelinsuojaus/Pipelife_sahkotuotteet_esite_732016_web.pdf>. Luettu 4.3.2017.
- 8 Pipelife tuotesivu. 2017. Verkkosivusto.
<http://www.pipelife.fi/fi/product_database.php?id=700>. Luettu 4.3.2017.
- 9 Headpower verkoston vakiorakenteet 7100-kaapeliojat. 2004. Ohje.
- 10 SFS-käsikirja 600-1. 2012. Sähköalan standardi.
- 11 Wikipedia artikkeli. 2014. Verkkosivusto.
<<https://fi.wikipedia.org/wiki/Sulake>>. Luettu 4.3.2017.
- 12 D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 2012. Käsikirja.