



Ohjeistus Profilan käyttöön ilmajohto- suunnittelussa

Joel Oikari

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2023

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma (AMK)

Oikari, Joel

Ohjeistus Profilan käyttöön ilmajohtosuunnittelussa

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2022, 30 sivua.

Sähkö ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Sähkömarkkinalaki (588/2013) velvoittaa jakeluverkkoyhtiöt kehittämään sähköverkkojaan säävarmemmaksi. Taajamissa sähköverkkoja parannetaan asentamalla sähkökaapelit maan alle ja monet verkkoyhtiöt maakaapeloivat verkkojaan myös maaseudulla. Näistä syistä ilmajohtorakentaminen on vähentynyt viime vuosina. Harvemmin asutuilla alueilla ilmajohto on kuitenkin usein järkevä ratkaisu edullisempien rakennuskustannustensa vuoksi ja niitä rakennetaan edelleen varsinkin Itä- ja Pohjois-Suomessa. Maakaapeloinnin yleistyttyä ilmajohtosuunnittelun osaajat ovat nykyään harvemmassa, joten ilmajohtosuunnittelua tekevissä yrityksissä uusille työntekijöille joudutaan usein opettamaan ilmajohtosuunnittelun perusteet.

Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä Insplan Oy:n suunnittelijoiden ilmajohto-osaamista ja suunnittelun käytäntöjä sekä koota näistä opas, jota voidaan käyttää uusien suunnittelijoiden perehdyttämisessä ja kokeneiden suunnittelijoiden muistilistana ilmajohtosuunnitteluprojekteissa. Ohjeen tavoitteena on myös yhdenäistää ilmajohtosuunnittelun käytäntöjä ja säilyttää osaamista yrityksen sisällä mahdollisesta työntekijöiden vaihtuvuudesta huolimatta.

Opinnäytetyö toteutettiin kehittämistutkimuksena. Työssä tutkittiin ilmajohtoon rakentamista koskevia määräyksiä ja suosituksia sekä ilmajohtoverkossa käytettäviä pyläs- ja orsirakenteita. Työssä tutustuttiin myös yrityksen suunnittelukäytäntöihin sekä ilmajohtosuunnittelussa käytettävän Profila-ohjelman ominaisuuksiin ja käyttöön. Lähteinä tutkimuksessa käytettiin ilmajohtostandardeja, verkostosuosituksia, alan ammattikirjallisuutta sekä yrityksen suunnittelijoiden haastatteluja. Tutkimuksessa kerättiin tärkeimpiä ilmajohtosuunnittelussa huomioon otettavia asioita, joita tarkasteltiin määräystenmukaisuuden ja käytännöllisyyden kannalta ja lopulta koottiin yrityksen sisäiseen ilmajohtosuunnitteluohjeeseen.

Avainsanat (asiasanat)

ilmajohto, ilmajohtoverkko, jakeluverkko, Profila, suunnittelu, sähköverkko

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Liite 1 on salassa pidettävä, ja se on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on Julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 17, yrityksen liike- tai ammatillisuus. Salassapitoaika on kymmenen (10) vuotta, salassapito päättyy 24.5.2033.

Oikari, Joel

Guide for planning overhead lines with Profila

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2023, 30 pages.

Degree Program in Electrical and automation engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The Electricity Market Act (588/2013) obliges distribution network companies to make their electricity networks more weatherproof. In urban areas, electrical networks are improved by installing electrical cables underground, and many network companies install underground cables also in rural areas. For these reasons, overhead line construction has decreased in recent years. However, in less populated areas, overhead lines are often a reasonable solution because of their cheaper construction costs, and they are still being built, especially in eastern and northern Finland. Because of the generalization of underground cabling, there are fewer people skilled in overhead line planning today, so in companies that do overhead cable planning, new employees often have to be taught the basics of overhead cable planning.

The goal of the thesis was to collect overhead line know-how and planning procedures of Insplan Oy's planners, and compile a guidebook that can be used for training new planners and as a checklist for experienced planners in overhead line planning projects. The goal of the guidebook is also to unify the practices of overhead line planning and to maintain expertise within the company despite possible employee turnover.

The thesis was implemented as development research, by studying the regulations and recommendations of building the overhead lines and the line support structures used in the overhead line network. The thesis also introduced the company's planning procedures and the features and use of Profila program used in overhead line planning. The sources for the research were overhead line standards, network recommendations, industry literature and interviews with the company's planners. The most principal issues to be considered in overhead line planning were collected, then examined in terms of compliance with regulations and practicality, and finally compiled into the company's internal overhead line planning guidebook.

Keywords/tags (subjects)

overhead line, overhead network, distribution network, Profila, planning, power network

Miscellaneous (Confidential information)

Annex 1 is confidential and removed from the public thesis. The basis for confidentiality is § 24, section 17 of the Public Information Act 621/1999, the business or professional secret of the company. The confidentiality period is ten (10) years, confidentiality ends on 24.5.2033.

Sisältö

1	Johdanto	3
2	Jakeluverkot	4
3	Etäisyysvaatimukset	5
3.1	Korkeusvaatimus	5
3.2	Johtoaukko	6
4	Mekaaninen mitoitus.....	8
4.1	Luotettavuusvaatimukset.....	8
4.2	Johdinjännitys.....	9
4.3	Ilmastolliset kuormitukset.....	10
5	Rakenteet.....	13
5.1	Johtimet.....	13
5.1.1	Avojohdot	14
5.1.2	PAS-johdot	14
5.1.3	Yleiskaapeli	15
5.1.4	AMKA	16
5.2	Orret.....	17
5.3	Pylväsrakenteet.....	19
5.3.1	Pylväsluokat	19
5.3.2	Pylväsrakenteet	21
6	Profila.....	25
7	Työn toteutus ja lopputulosten arviointi	27
	Lähteet	29
	Liitteet	30
	Liite 1. Ilmajohdosuunnitteluohje.....	30

Kuviot

Kuvio 1.	Johtokatu metsässä.....	7
Kuvio 2.	Päällystetty avojohto BLL-T.....	15
Kuvio 3.	AHXAMK-WM-yleiskaapeli.....	16
Kuvio 4.	AMKA-johto.....	16
Kuvio 5.	Kannatusorsia.....	17
Kuvio 6.	Tasokulmaorsi	18
Kuvio 7.	Kiristysorsi II-pylväälle.....	19

Kuvio 8. Kannatuspylväs.....	21
Kuvio 9. A-pylväs	23
Kuvio 10. Kiristyspylväs	24
Kuvio 11. Johtojen lisäys Profilaan.....	26
Kuvio 12. Ilmajohdon sivuprofiili	27

Taulukot

Taulukko 1. Johtimien minimikorkeudet maanpinnasta	5
Taulukko 2. Minimetäisyydet tien ylityksissä	6
Taulukko 3. Ilmajohdojen luotettavuustasot.....	8
Taulukko 4. Sallitut nollassääjännitykset eri johdinmateriaaleilla.	9
Taulukko 5. Maastoluokat.....	11
Taulukko 6. Jäätymislakat	11
Taulukko 7. Kuormitustapaukset	13
Taulukko 8. Standardin SFS 2662 mukaiset pylväsluokat	20
Taulukko 9. Pylväiden suurimmat sallitut pystyvoimat	20

1 Johdanto

Sähkömarkkinalaki (588/2013) velvoittaa jakeluverkonhaltijat kehittämään sähköverkkoojaan siten, että sähkön toimitusvarmuus kuluttajalle paranee (L 588/2013, 52§). Monet jakeluverkkoyhtiöt kehittävät toimitusvarmuutta maakaapeloimalla kaikki uudet ja saneerattavat johto-osuudet. Osa yhtiöistä kuitenkin rakentaa vielä ilmajohtoja haja-asutusalueilla, missä on pitkät siirtoyhteydet ja ilmajohto on teknistaloudellisesti maakaapelia kannattavampi ratkaisu. Maakaapeloinnin yleistyessä myös suunnittelijoiden ilmajohto-osaaminen käy harvinaisemmaksi ja alan yritysten on vaikea löytää osaavia ilmajohtosuunnittelijoita. Ilmajohtosuunnittelijan on tärkeää tuntea ilmajohtoon rakentamista koskevat standardit, jotta hänen suunnittelemansa johdot täyttävät niille asetetut vaatimukset. Ilmajohtoja koskevat määräykset on esitetty eurooppalaisissa CENELEC standardeissa SFS-EN 50341-1 joka sisältää yhteiset eurooppalaiset vaatimukset sekä SFS-EN 50341-2-7, joka sisältää Suomen kansalliset velvoittavat määrittelyt. Tässä opinnäytetyössä käsitellään pääasiassa standardin vaatimuksia ilmajohtoon mekaanisesta kestävyydestä ja etäisyysvaatimuksista.

Toimeksiantaja

Insplan Oy on koko Suomen alueella toimiva energia- ja infraverkkojen suunnittelu- ja asiantuntijapalveluita tarjoava yritys, joka on perustettu vuonna 2015 Porvoossa. Insplanilla on toimipiste 7 kaupungissa: Porvoossa, Turussa, Tampereella, Seinäjoella, Joensuussa, Kajaanissa ja Rovaniemellä sekä näiden lisäksi etätoimipiste 16 paikkakunnalla. Yhteensä työntekijöitä on noin 70. Yrityksen päätoimintoja ovat sähkö-, valaistus-, ja tietoliikenneverkkojen suunnittelu, rakennuttaminen ja kunnonhallinta. Suurin toimialue on sähköverkkosuunnittelu, jossa yrityksen asiakkaita ovat yleensä jakeluverkkojen haltijat tai urakointiyhtiöt. Insplan tekee paljon jakeluverkkojen maastosuunnittelua, joka sisältää johdon reitti- ja rakennesuunnittelun sekä lupien hakemisen maanomistajilta ja muilta tarvittavilta tahoilta, kuten ELY-keskukselta ja kunnalta. Suuri osa suunnittelusta tapahtuu maakaapeliverkoissa, mutta Itä- ja Pohjois-Suomen toimipisteillä tehdään paljon myös ilmajohtosuunnittelua.

Työn tavoitteet

Kun suunnittelutyötä tehdään eri toimipisteissä, suunnittelukäytännöt eriytyvät helposti toisistaan, mikä voi aiheuttaa laatueroja eri suunnittelijoiden tekemien suunnitelmien välille. Erilaiset

käytännöt tuovat haasteita myös tilanteissa, joissa suunnittelija vaihtuu kesken projektin esimerkiksi lomien vuoksi. Näitä ongelmia on Insplanilla ratkaistu tekemällä sisäisiä ohjeita, joilla pyritään yhtenäistämään yrityksen suunnittelukäytäntöjä. Ilmajohtosuunnitteluosalla sisäisiä ohjeita ei kuitenkaan ole juuri tehty, joten ilmajohtosuunnitteluosaaminen on ollut pitkälti yksittäisten työntekijöiden pään sisällä ja suunnittelukäytännöissä on ollut eroja eri toimipisteiden välillä. Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli luoda yrityksen sisäinen ohje ilmajohtosuunnitteluun, jota voidaan hyödyntää uusien työntekijöiden perehdyttämisessä. Tavoitteena oli selvittää yleisiä ilmajohtoja koskevia määräyksiä ja suosituksia sekä yrityksen sisäisiä käytäntöjä. Tutkimuksen aihe muotoiltiin tutkimuskysymyksiksi:

- Mitä ilmajohtosuunnittelussa täytyy ottaa huomioon?
- Minkälaisia ilmajohtosuunnittelun käytäntöjä Insplanin sisällä on?
- Miten ilmajohtosuunnittelussa hyödynnetään Profilaa?

2 Jakeluverkot

Jakeluverkko on sähköverkon osa, joka huolehtii alueellisesti sähkön siirtämisestä kuluttajille. Sähkömarkkinalaissa on määritelty jakeluverkkoyhtiöille omat vastuualueet, jonka alueella jakeluverkkoyhtiöt rakentavat ja ylläpitävät omia sähköverkkojaan. Yhtiöillä on myös velvollisuus liittää alueella olevat uudet sähkönkäyttöpaikat sähköverkkoon. (Verkostosuositus YJ14:13, 1.)

Sähkömarkkinalaki (588/2013, 51§) velvoittaa jakeluverkonhaltijat suunnittelemaan, rakentamaan ja ylläpitämään jakeluverkkoa siten, että myrsky tai lumikuorma ei aiheuta asemakaava-alueella yli 6 tunnin tai asemakaavan ulkopuolella yli 36 tunnin sähkökatkoja. Vaatimus ei kuitenkaan koske käyttöpaikkoja saarella, johon ei ole siltaa tai säännöllistä lauttayhteyttä, eikä käyttöpaikkoja, joiden sähkönkulutus on pientä ja kriteerit täyttävän verkon rakentaminen aiheuttaisi poikkeuksellisen suuret kustannukset. (L 588/2013, 52§.) Tämän velvoitteen toteuttamiseen on annettu siirtymäaikaa 2028 vuoden loppuun asti siten, että vuoden 2019 lopussa 50 % ja vuoden 2023 lopussa 75 % käyttöpaikoista on täytettävä toimitusvarmuutta koskevat vaatimukset (L 588/2013, 52§). Näiden määräysten takia jakeluverkkoyhtiöt saneeraavat vanhoja ilmajohtoverkkojaan säävarmemmiksi maakaapeloimalla tai rakentamalla uusia säävarmempia ilmajohtoja.

Maankäyttö- ja rakennuslaki oikeuttaa sijoittamaan sähköjohtoja ja maakaapeleita toisen omistamalle maa-alueelle. Lähtökohtaisesti johtojen sijoittamisesta sovitaan maanomistajan kanssa, mutta mikäli maanomistajan kanssa ei päästä sopimukseen, kunnan rakennusvalvontaviranomainen voi antaa luvan johtojen sijoittamiseen. (Verkostosuositus YJ14:13, 1.) Rakennettavat sähköverkot pyritään sijoittamaan siten, että niistä on mahdollisimman vähän haittaa ihmisille ja ympäristölle. Sen vuoksi ilmajohdot sijoitetaan usein tien viereen, jolloin siitä on vähemmän haittaa metsätaloudelle. Johtojen sijoittaminen tien varteen myös helpottaa sähköverkon rakennus- ja huoltotöitä ja siten parantaa johdon luotettavuutta.

3 Etäisyysvaatimukset

Ilmajohdoille on standardissa SFS-EN 50341-1 määritelty johtojen sisäiset ja ulkoiset minimietäisyydet, joita täytyy noudattaa ilmajohtosuunnittelussa. Sisäisillä etäisyyksillä tarkoitetaan etäisyyttä johtimien keskinäisiä tai johtimien ja rakenteiden välisiä etäisyyksiä. Ulkoiset etäisyydet ovat etäisyyksiä johtimista muihin kohteisiin. Minimietäisyys on riippuvainen johdon suurimmasta käyttöjännitteestä ja eri jännitteille on määritetty etäisyydet D_{el} , joka on minimietäisyys vaihejohtimen ja maadoitetun kohteen välillä sekä D_{pp} , joka on minimietäisyys kahden vaihejohtimen välillä. Jakeluverkoissa tarvitaan harvoin muita kuin 24 kV jännitteen arvoja $D_{el\ 24kV} = 0,22\ m$ ja $D_{pp\ 24kV} = 0,25\ m$ Ulkoiset etäisyydet määritetään yleensä muodossa $X + D_{el}$, jossa X on perusetäisyys, johon lisätään jännitteestä riippuva D_{el} . (SFS-EN 50341-1:2014, 164–170.)

3.1 Korkeusvaatimus

Johtimien vähimmäisetäisyydelle maanpinnasta on erilaisia arvoja riippuen siitä mitä johdon alapuolella on. Taulukossa 1 on minimietäisyydet perustapauksessa.

Taulukko 1. Johtimien minimikorkeudet maanpinnasta. (Etäisyysvaatimukset maasta luonnontilaisilla alueilla, n.d.)

	Vähimmäisetäisyys / -korkeus maasta h
Pienjänniteilmakaapeli, maadoitusjohdin, ukkosjohdin	4,0 m
Pj-avojohto 0,4 kV	5,0 m
Kj-avojohto, PAS-johto tai kj-ilmakaapeli 20 kV	5,6 m

Taulukon 1 arvoja voidaan soveltaa alueilla, joissa ei ole rakennuksia, teitä, rautateitä tai vesiliikenneväyliä. Arvoja voidaan käyttää myös moottorikelkkareittien kohdalla. Yksitysteiden, muiden ajoneuvolla liikennöitävien väylien, kevyen liikenteen väylien tai peltojen, joilla voidaan liikkua isoilla työkoneilla, kohdalla minimietäisyys maanpinnasta on $5,5 \text{ m} + D_{el}$. Taulukossa 2 on johtimien minimietäisyys tien pinnasta yleisten teiden kohdalla. (SFS-EN 50341-2-7:2015, 20–21.)

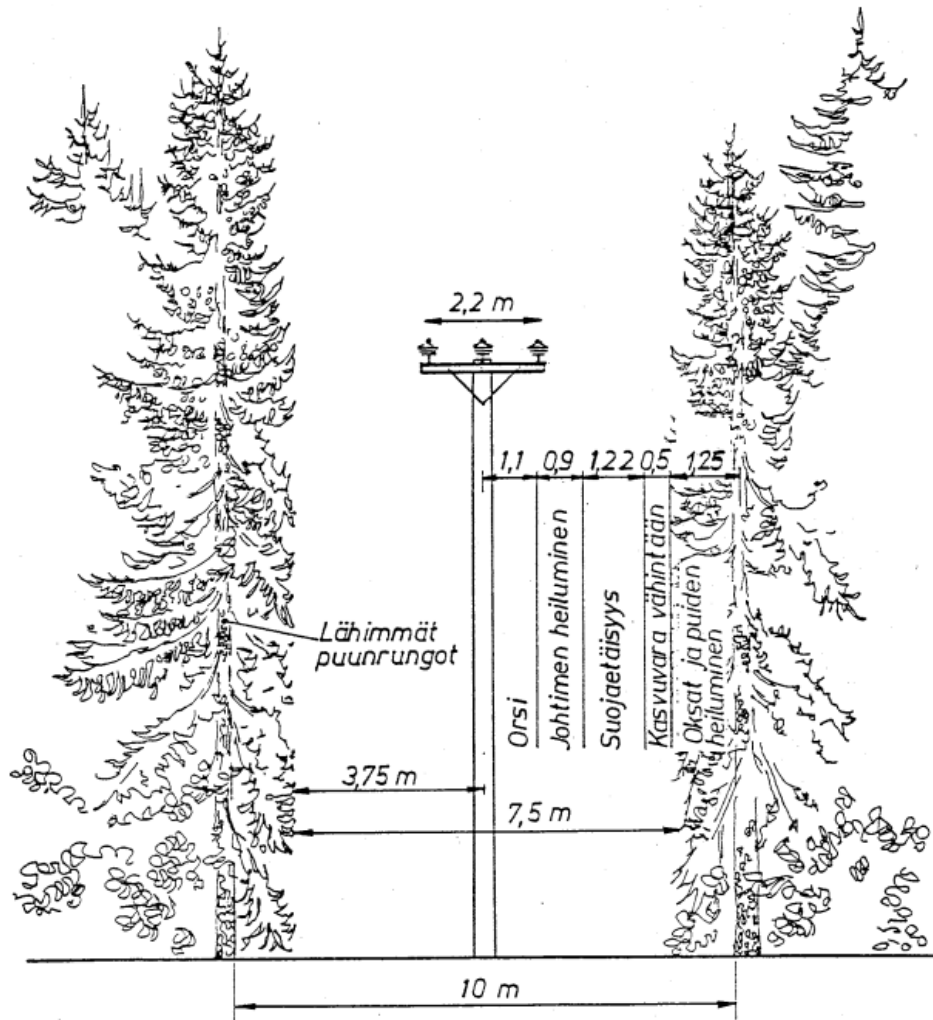
Taulukko 2. Minimetäisyydet tien ylityksissä (SFS-EN 50341-2-7:2015, 21)

Nimellisjännite [kV]	Valta-, kanta- ja seututiet sekä erikoiskuljetusten tie- ja katuverkko [m]	Muut yleiset tiet ja kadut [m]
$\leq 1 \text{ kV}$ johdin, harus, ukkosjohdin tai riippukaapeli	7,8	7,0
$\leq 45 \text{ kV}$	8,3	7,0
110 kV	8,7	7,5
220 kV	9,3	8,5
400 kV	10,8	10,0

Teiden lisäksi näitä etäisyyksiä sovelletaan kaduilla, toreilla, aukioilla, pysäköintialueilla sekä kuorma- ja purkausalueilla. Tien vieressä olevat ilmajohdon pylväät tulisi lisäksi sijoittaa vähintään kahden metrin etäisyydelle tien reunasta.

3.2 Johtoaukko

Johtimelle on korkeusvaatimuksen lisäksi määritelty minimietäisyys johdon sivuilla oleviin kohteisiin, kuten puihin ja rakennuksiin. Ilmajohdon vaatima johtoaukko riippuu käytettävästä johdintyyppistä, orren leveydestä ja jänteen pituudesta. Kuviossa 1 on havainnollistettu johtoaukkoa metssä.



Kuvio 1. Johtokatu metsässä (Verkostosuositus RJ21:92)

Standardin SFS-EN 50341-2-7 mukaan avojohdon ja puiden välisen etäisyyden on oltava $1,0 \text{ m} + D_{ei}$ eli 20kV johdoilla 1,22 m. Päälystetyllä johdolla vastaava etäisyys on $0,3 \text{ m} + D_{ei}$. (SFS-EN 50341-2-7:2015, 20) Lisäksi metsässä on huomioitava johtimien heiluminen, puiden oksat ja niiden heiluminen sekä puiden kasvuvara. Yleensä avojohdoilla käytetään metsässä 10 m johtoaukkoa rungosta runkoon. Jos johtimen jänneväli on yli 80 m johtoaukon on oltava leveämpi johtimien suuremman heilumisen vuoksi. (Verkostosuositus RJ21:92, 3–4.) Tien viereen rakennettaessa johtokatu raivataan luonnollisesti ilmajohdon pylväistä 5 m metsään päin ja toiselta puolelta tielle asti.

4 Mekaaninen mitoitus

Ilmajohtoa suunniteltaessa on sähköisen mitoituksen ja etäisyysvaatimusten lisäksi huomioitava mekaaninen mitoitus. Ilmajohto on rakennettava siten, että se kestää ilmajohdon pitoaikana ennakoitavissa olevat mekaaniset rasitukset. Ilmajohtostandardeista SFS-EN 50341-1 ja SFS-EN 50341-2-7 löytyy ilmajohdoille asetetut luotettavuus-, varmuus ja turvallisuusvaatimukset.

4.1 Luotettavuusvaatimukset

Ilmajohdoilla on erilaisia vaatimuksia luotettavuuden suhteen, sen mukaan kuinka tärkeitä ne ovat. Taulukossa 3 on määritelty ilmajohdoille vaadittavat luotettavuustasot niiden nimellisjännitteen ja tärkeyden perusteella.

Taulukko 3. Ilmajohtojen luotettavuustasot (SFS-EN 50341-2-7:2015, 6)

Taso	Nimellisjännite	Johdon tyyppi
1	$U_n \leq AC\ 45\ kV$	Tavalliset johdot
	$U_n > AC\ 45\ kV$	Tilapäiset tai vähemmän tärkeät johdot
2	$U_n \leq AC\ 45\ kV$	Erikoisjohdot
	$U_n > AC\ 45\ kV$	Tavalliset johdot
3	kaikki	Erittäin tärkeät johdot, esim. kaikki 400 kV johdot

Jakeluverkkojen suunnittelussa käytetään yleensä luotettavuustasoa 1, mutta joissakin tärkeissä johdoissa voidaan vaatia suurempaa luotettavuustasoa. Luotettavuustaso vaikuttaa kuormitusten laskennassa käytettäviin varmuuskertoimiin. (Ilmajohtotekniikan peruskäsitteitä 2014, 10.)

Ilmajohtoon ja sen rakenteisiin vaikuttavat kuormitukset jaetaan aikariippuvuuden mukaan Pysyviin kuormituksiin (G), Muuttuviin kuormituksiin (Q) ja Satunnaisiin kuormituksiin (A). Pysyviä kuormituksia ovat pylväiden, johtimien ja varusteiden painot sekä 0°C lämpötilassa vaikuttava johtimen jännitys. Muuttuvia kuormituksia taas ovat säätilojen muutoksista johtuvat kuormituksen vaihtelut, kuten tuuli- ja jääkuormat, sekä lämpötilan vaihtelun aiheuttama johtimien venymä ja kiristyminen. Satunnaisiin kuormituksiin kuuluu poikkeustilojen aiheuttamat kuormitukset, kuten johtimen katkeaminen, poikkeukselliset luonnonilmiöt tai asennuskuormitukset. (SFS-EN 50341-2-7:2015, 84.)

4.2 Johdinjännitys

Johtimen korkeus maanpinnasta on pienempi pylväiden välissä kuin pylväiden kohdalla. Johtimen kiinnityskohtien korkeuden ja pylväiden välissä olevan johtimen matalimman korkeuden erotusta kutsutaan *riippumaksi*. Tämä tulee ottaa huomioon suunnittelussa, jotta standardin määrittämät vähimmäisetäisyydet täyttyvät johtimen koko matkalla. Johtimen riippumaan voidaan vaikuttaa *jänneväliillä*, eli peräkkäisten pylväiden etäisyydellä, sekä *johdinjännityksellä*, eli sillä kuinka kireälle johdin asennettaessa vedetään. (Verkostosuositus RJ 1:14, 3–5.)

Käytettäessä pienempää johdinjännitystä johtimet riippuvat alempana pääsevät heilumaan enemmän, jolloin on käytettävä pidempiä pylviä ja avojohdon johtimet on asennettava kauemmaksi toisistaan, taikka lyhennettävä jänneväliä. Suurempi johdin jännitys taas aiheuttaa enemmän rasi- tusta johtimille, pylväille ja kalusteille, minkä vuoksi tarvitaan vahvempia pylväsrakenteita. Liian suuri jännitys voi myös aiheuttaa ajan myötä johtimien säikeiden katkeamista. (Verkostosuositus RJ 1:14, 5–7.) Taulukossa 4 on standardin suosittelemat nollasääjännitykset eri johdinmateriaa- leille.

Taulukko 4. Sallitut nollasääjännitykset eri johdinmateriaaleilla. (Verkostosuositus RJ 1:14)

Johdin	Nollasääjännitys N/mm ²
Al1/STyz (=Al/Fe, ACSR, myös eräät päällystetyt KJ -johdot)	45 (...60)
Al2/STyz (= AlMgSi/Fe)	45 (...60)
Al1 (=Al, AAC)	27
Al2 (=AlMgSi, myös eräät päällystetyt KJ -johdot)	30 (...50)
Riippujohdot, kun kannatin on Al2 (esim. AMKA, AXKA)	45
Riippujohdot, kun kannatin on ST (KJ -riippujohdot)	180
Kuparijohtimet	100

Yleensä johtimet asennetaan näiden arvojen mukaan, mutta joissakin erikoistapauksissa kannattaa harkita johtimien asentamista pienempään jännitykseen (Verkostosuositus RJ 1:14, 7). Taulukon 4 ohjeavot johtimien jännitykselle on ilmoitettu 0°C lämpötilassa. Asennuksen tapahtuessa muussa

kuin tässä lämpötilassa, johtimet asennetaan lämpötilaa vastaavaan kireyteen. Johtimien asennuksessa käytettävistä köysivoimista eri lämpötiloissa on olemassa valmiiksi laskettuja taulukoita. Kun johdin kiristetty paikalleen, se venyy jonkin verran ensimmäisen vuoden aikana. Tätä johtimen venymistä sanotaan johtimen virumaksi. Viruman vuoksi johdin kiristetään asennusvaiheessa hieman haluttua jännitystä tiukemmalle. Johtimen valmistajalta saadaan ohjearvot viruman kompensointiin. (Verkostosuositus RJ 1:14, 8.)

4.3 Ilmastolliset kuormitukset

Kun johtimet on asennettu maastoon, ne ovat alttiita erilaisten säätilojen vaikutuksille sekä johtimen kuormituksesta aiheutuille lämpötilan muutoksille. Verkon suunnittelussa on otettava huomioon säätilojen aiheuttamat muutokset johtimien jännityksissä siten, että rakenteet kestävät eikä sähköiset vähimmäisetäisyydet alitu ennakoitavissa olevien säätilojen vaikutuksesta (SFS-EN 50341-1:2014, 272).

Tuuli

Tuuli aiheuttaa johtimiin ja rakenteisiin sekä johdon suuntaisia, että poikittaisia dynaamisia kuormituksia. Tuuli aiheuttaa kuormituksen lisäksi johtimien heilumista, mikä on otettava huomioon johtimien etäisyyksissä. Johtimeen kohdistuvan tuulikuorman suuruuteen vaikuttaa tuulennopeus, johtimen korkeus, paksuus, muoto, jänneväli, tuulen suunta ja maaston muodot. Maaston muotoja kuvataan standardissa maastoluokalla, joka määrittää tuulen vaikutuksen laskennassa käytettävät maastokertoimen ja karheuden arvot. Taulukossa 5 on käytettävät maastoluokat ja niiden määritelmät. (SFS-EN 50341-1:2014, 98–102.)

Taulukko 5. Maastoluokat (SFS-EN 50341-2-7:2015, 8)

Maasto- luokka	Kuvaus	z_0 [m]	k_r
0	Avomeri, ulkosaaristo ja avoimet rannikkoalueet	0,003	0,180
0+	Harva sisäsaaristo ja suojaiset rannikkoalueet	0,003	0,167
I	Tiivis sisäsaaristo, isot järviolueet sekä laajat peltoaukeat	0,010	0,169
II	Perusmaasto: Alueet, joilla matalaa kasvillisuutta ja yksittäisiä esteitä (puita, rakennuksia)	0,050	0,189
II+	Sisämaan vaihteleva maasto (metsiä, metsäaukeita, peltoja, järviä, yksittäisiä rakennuksia tai rakennusryhmiä)	0,095	0,195
III	Alueet, joilla säännöllistä kasvillisuutta tai yksittäisiä esteitä (rakennuksia, kyliä, taajamia, pysyviä metsiä)	0,300	0,214
IV	Kaupungit eli alueet, joilla vähintään 15 % on yli 15 m korkeiden rakennusten peittämä). Tätä luokkaa ei sovelleta Suomessa.	1,000	0,233
<p>HUOM. 1 Tyypillinen suomalainen sisämaan kumpuileva metsämaasto voidaan katsoa kuuluvaksi luokkaan III. Mikäli mahdolliset hakkuut tai myrskyt voivat vaikuttaa tähän otaksumaan, tulisi soveltaa luokkia II tai II+.</p> <p>HUOM. 2 Tunturialueilla tulisi soveltaa luokkaa II, ellei projektispesifikaatioissa ole toisin määrätty.</p> <p>HUOM. 3 Vakioiden z_0 and k_r taulukkoarvot on merkitty <i>kursiivilla</i>, kun ne poikkeavat standardissa SFS-EN 1991-1-4 esitetystä arvoista.</p>			

Taulukossa olevia karheuden pituuden (z_0) ja maastokertoimen (k_r) arvoja käytetään tuulikuorman laskennassa tarvittavan tuulen määrittelyyn. (SFS-EN 50341-1:2014, 98–102)

Jää

Johtimien jäätyminen lisää johtimien painoa, mikä aiheuttaa rakenteisiin staattisia pystysuuntaisia voimia ja lisää johdinjännitystä. Jääkerros lisää myös johtimen paksuutta, mikä lisää myös tuulen vaikutusta johtimeen. Johtimeen kertyvän jääkuorman paino riippuu johtimen suhteellisesta korkeudesta verrattuna maastoon 10 km säteellä (SFS-EN 50341-2-7:2015, 10). Jääkuorman laskennallisen arvon määrittämistä varten standardissa on jäätymisluokat. Taulukossa 6 on eri jäätymisluokkien määritelmät.

Taulukko 6. Jäätymisluokat (SFS-EN 50341-2-7:2015, 11)

Jäätymisluokka	Suhteellinen korkeus [m]	Ominaisjääkuorma I_{50} [N/m]	Tiheys [kg/m ³]	Vastuskerroin	Jään tyyppi
I	0...50	10	500	1,15	huurre
II	50...100	10...25	500	1,15	huurre
III	100...200	25...50	500	1,15	huurre
IV	> 200	>50	500	1,15	huurre

Ilmajohdon mitoituksessa käytettävä jääkuorma lasketaan jäätymisluokissa 2 ja 3 lineaarisella interpoloinnilla luokan raja-arvoista. Luokassa 4 jääkuorman arvioinnissa on käytettävä ilmatieteen asiantuntijoita. (SFS-EN 50341-2-7:2015, 11)

Pakkanen

Pakkasella johtimet kutistuvat, mikä lisää johdinjännitystä ja siten rasiitusta kulma ja päätepylväillä. Johtimien kiristyminen voi myös aiheuttaa rakenteisiin ylöspäin vetävää voimaa notkopylväillä, jotka ovat viereisiä pylväitä alempana (Verkostosuositus RJ 1:14, 7). Liian suuren negatiivisen pysäytyvoiman vuoksi pylväspituuksia voidaan joutua kasvattamaan tällaisissa kohdissa.

Helle

Korkeissa lämpötiloissa johtimien lämpölaajenemisen seurauksena johdinjännitys pienenee ja riippuma kasvaa, jolloin on varmistuttava siitä, että johtimen korkeusvaatimukset täyttyvät myös helteellä (Verkostosuositus RJ 1:14, 8–10). Lisäksi johdinjännityksen pienenemiseen mahdollistaa johtimien suuremman sivuttaissuuntaisen liikkeen. Tällöin täytyy varmistua myös siitä, että johtimien keskinäiset etäisyydet täyttävät johtimien heilussa tuulessa.

Kuormitustapaukset

Johtimien ja rakenteiden kuormituksen laskeminen jokaisessa mahdollisessa säätilassa on mahdotonta, joten standardissa on määritelty tietyt kuormitustapaukset, jotka ovat potentiaalisesti kuormittavimpia. Taulukossa 7 on esitetty standardin määrittämät kuormitustilanteet, jotka on huomioitava rakenteiden mitoituksessa.

Taulukko 7. Kuormitustapaukset (SFS-EN 50341-2-7:2015, 16)

No	Kuormitustapaus	L-tila	Tuuli	Jää	Taso 1		Taso 2		Taso 3	
		°C	Ψ_w	Ψ_I	γ_w	γ_I	γ_w	γ_I	γ_w	γ_I
1a	Huipputuuli	0	1,0		1,0		1,2		1,4	
1b	Minimilämpötila	T_{min}								
2a	Huippujää + lumi	0		1,0...3,0		1,0		1,25		1,5
2b*	Toispuolinen jää, poikittainen taivutus	0		α_i		1,0		1,25		1,5
2c*	Toispuolinen jää, pitkittäinen taivutus	0		α_i		1,0		1,25		1,5
2d*	Toispuolinen jää, vääntötaivutus	0		α_i		1,0		1,25		1,5
2e*	Irronnut jää yhdessä jänteessä	0		0,7		1,0		1,25		1,5
3a	Huippujää + nimellistuuli	0	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,25	1,0	1,5
3b	Kova tuuli + nimellisjää	0	0,7	0,35	1,0	1,0	1,2	1,0	1,4	1,0
4	Asennus, kunnossapito	-20					$\gamma_P = 1,5$			
5	Varmuus- ja satunnaiset kuormat	0					$\gamma_A = 1,0$			
		Oman painon osavarmuusluku on $\gamma_G = 1,0$ kaikissa tapauksissa.								

Kaikkien epäedullisimpien ilmasto-olosuhteiden esiintyminen samaan aikaan on erittäin epätodennäköistä, minkä vuoksi eri kuormitustekijöiden yhteisvaikutusta laskettaessa käytetään yhdistelmäkertoimia, jotka on taulukossa merkitty kirjaimella Ψ . Esimerkiksi yhdistelmässä kova tuuli + nimellisjää (T+J), lasketaan yhteen 70 % huipputuulikuormasta ja 35 % huippujääkuormasta.

Erikoistapauksissa voidaan käyttää pienennettyjä kertoimia: nimellistuulelle ja -jälle kerrointa 0,25 ja kovalle tuulelle kerrointa 0,45. kirjaimella γ merkitään osavarmuuslukuja, joita käytetään asennuksen sekä 2- ja 3-tason johdoissa kuormituksen kertoimena, jolloin rakenteilta vaadittavat lujuudet kasvavat.

5 Rakenteet

5.1 Johtimet

Maastosuunnittelussa ei yleensä valita johdintyyppejä vaan verkkoyhtiö on valinnut käytettävät johtimet ja ne löytyvät projektin lähtötiedoista, joten tässä työssä ei käsitellä johtimen valintaan liittyviä kysymyksiä. Tässä esitellään kuitenkin yleisimmin käytettävät johtimet ja niiden ominaisuuksia, sillä rakenne- ja reittisuunnittelua tehdessä on hyvä tietää, minkälaisia johdinvaihtoehtoja on olemassa ja miten johtimen valinta vaikuttaa rakenteiden valintaan.

5.1.1 Avojohdot

Avojohdot ovat paljaita metallijohtimia, joiden eristys perustuu riittävään ilmaväliin. Avojohtimen materiaalina on yleensä alumiini, jossa on teräsvahvistus, mutta myös muita alumiiniseoksia sekä pelkästään alumiinista valmistettuja johtimia käytetään. Alumiini sopii hyvin ilmajohtojen materiaaliksi, sen keveyden, hinnan ja sähkönjohtavuuden vuoksi. Alumiinin huono puoli tässä käyttötarkoituksessa on heikohko vetolujuus verrattuna esimerkiksi teräkseen. Tämän vuoksi alumiinijohtimissa on yleensä seostettuna muita metalleja tai teräsvahvistus. Yleisimmät avojohtoina käytettävät johdot ovat ACSR 34/6 Sparrow, ACSR 54/9 Raven, ACSR 84/14 Piegon, joissa on teräslankasydän ja sydämen ympärille kiedottuja alumiinilankoja. Johdon nimessä oleva luku tarkoittaa, että esimerkiksi Sparrow (34/6) johdossa terässydämen poikkipinta-ala on 6 mm² ja sen ympärille kiedottujen alumiinilankojen poikkipinta-ala on 34 mm². (Monni 2010, 163–164.)

5.1.2 PAS-johdot

PAS on suomalaisen Prysmian SAX-W päällystetyn ilmajohdon tuotenimi, mutta sitä käytetään myös yleisnimityksenä kaikista päällystetyistä suurjänniteavojohtoista. Päällystetyt avojohdot ovat päällystämättömien johtojen tavoin tehty alumiinista tai alumiiniseoksesta. SAX-W johdon lisäksi muita Suomessa käytössä olevia päällystettyjä ilmajohtoja on esimerkiksi ruotsalainen BLL-T, jonka erottaa sen vihreästä väristä. Kuviossa 2 näkyy BLL-T johdon rakenne.



Kuvio 2. Päälystetty avojohto BLL-T

BLL-T johtoja valmistetaan sekä alumiinista teräsvahvistuksella että seosalumiinista. Kuvion 2 johto on teräsvahvisteinen alumiinijohto, jonka keskimäinen lanka on terästä ja sen ympärillä alumiinilangat. Lankojen ympärillä oleva musta vaippa on puolijohtava kerros ja sen ympärillä on harmaa PE-muovinen kerros sekä vihreä UV-stabiloitu HDPE-päälyste. (Monni 2010, 193.)

Ilmajohtostandardin määritelmän mukaan päälystetyt johdot ovat suojattuja satunnaiselta kosketukselta muihin johtoihin ja maadoitettuihin osiin, mutta eivät kosketussuojattuja. Päälysteen vuoksi PAS-johdolla ei tarvita niin suuria välejä vaihejohtojen välille, joten niitä käytettäessä ilmajohto sopii pienempään tilaan ja PAS-johdoilla saa helposti asennettua samoihin pylväisiin kaksi KJ-linjaa. PAS-johto ei myöskään ole herkkä puiden tai oksien kosketuksille, jolloin näistä johtuvat käyttökeskeytykset vähenevät huomattavasti metsäisillä osuuksilla päälystettyä johtoa käytettäessä. (Monni 2010, 192–193.) Rakentamiskustannuksiltaan PAS-johto on jonkin verran päälystämättömiä avojohtoja kalliimpaa (Verkostosuositus KA 2:10, 15, 18–19)

5.1.3 Yleiskaapeli

Tilanteissa, joissa tila ei riitä avojohdolle voidaan käyttää ilmakaapelia, jossa kaikki johtimet on suojattu kaikilta vaiheiden keskinäisiltä ja vaiheiden ja madotettujen osien välisiltä vuotovirroilta. Yleensä tällaisiin asennuksiin käytetään Multi-Wiski yleiskaapelia, joka voidaan asentaa maahan veteen tai ilmaan. (Monni 2010, 204.) Yleiskaapelin rakentaminen on kuitenkin huomattavasti kalliimpaa, kuin päälystettyjen tai päälystämättömien avojohtojen ja riippuen kaivuolosuhteista mahdollisesti maakaapelointiakin kalliimpaa (Verkostosuositus KA 2:10, 15, 18–19). Kustannusten vuoksi Yleiskaapelin käyttö ilmajohtona rajautuu lähinnä erikoistapauksiin, kuten tilapäisissä ratkaisuissa, vanhan verkon osittaisissa muutostöissä, tai luontokohteissa, jotka pyritään säilyttämään mahdollisimman koskemattomana (Monni 2010, 204). Kuviossa 3 näkyy AHXAMK-WM-kaapelin rakenne.

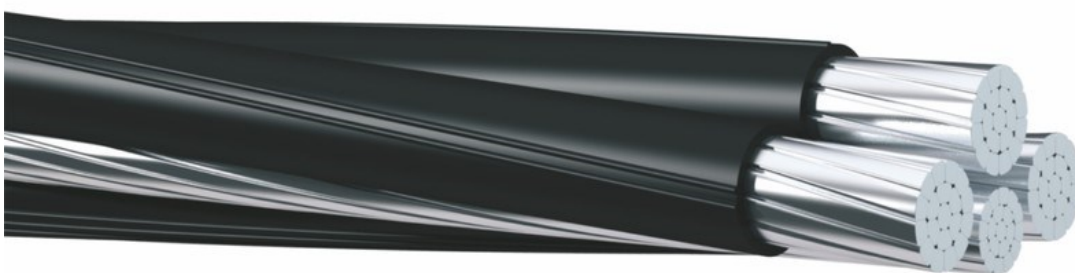


Kuvio 3. AHXAMK-WM-yleiskaapeli

AHXAMK-WM-kaapelissa on kolme vesitiivistä ja kosketussuojattua alumiinista vaihejohtinta, jotka on kiedottu päällystetyn sinkitystä teräksestä valmistetun kannatinköyden ympärille.

5.1.4 AMKA

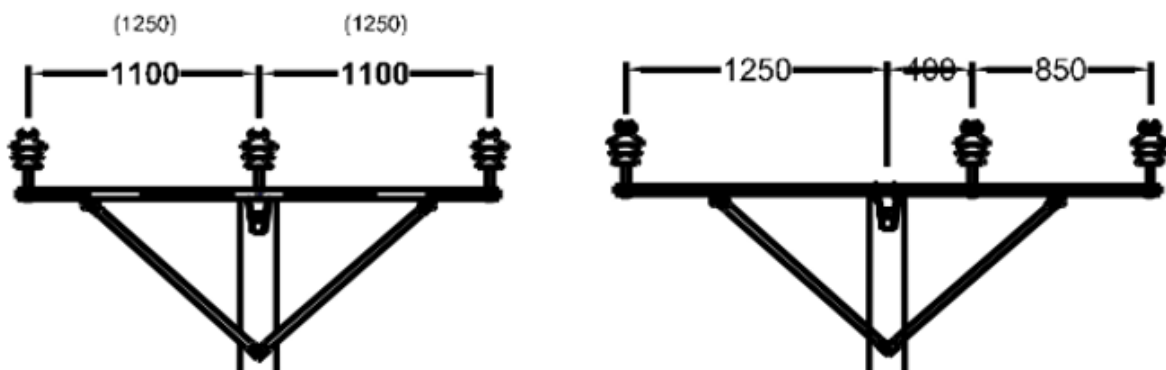
AMKA-johtoa käytetään pienjänniteilmajohtoasennuksissa. Se koostuu alumiiniseoksesta valmistetusta paljaasta kannatusköydestä, jonka ympärille on kiedottu PE-muovilla päällystetyt alumiiniset vaihejohtimet. Johto ripustetaan pylväisiin kannatinköydestään, ja sen rakenne on sellainen, että mekaaninen rasitus kohdistuu ainoastaan kannatusköyteen. Kannatusköysi toimii AMKA-asennuksessa myös PEN-johtimena. (Monni 2010, 134.) Kuvio 4 havainnollistaa AMKA-johdon rakennetta.



Kuvio 4. AMKA-johto

5.2 Orret

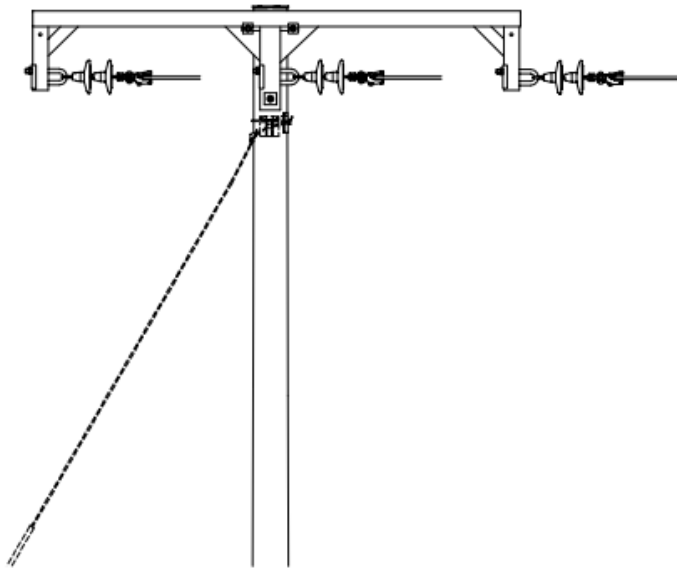
Orret ovat pylvääseen kiinnitettäviä poikittaisia rakenteita, joiden avulla avojohtimet saadaan asennettua rinnakkain. Johtojen asennuksella rinnakkain voidaan säästää pylväspituutta ja pidentää pylväsvälejä. Orsirakenteet tekevät myös helpommaksi pylväiden yhteiskäytön keski- ja pienjännitejohtojen asennukseen. Nykyään uusien 20kV avojohtojen asennuksessa käytetään aina orsirakenteita ja orret ovat pääosin teräksestä teollisesti valmistettuja taso-orsia. Ilmajohtoverkoissa on käytössä myös kolmio-orsia, missä keskimäinen johdin on muita ylempänä, mutta uudisrakentamisessa niitä ei nykyään käytetä. Todella vanhoissa ilmajohdoissa saattaa olla vielä käytössä koukkuasennuksia, joissa johto on kiinnitetty pylvään runkoon koukulla ja eristimellä. (Monni 2010, 163–165.) Nykyään koukkuasennukset ovat kuitenkin harvinaisia ja niiden osuus pienenee jatkuvasti, kun ilmajohdoja saneerataan vanhimmasta päästä. Vanhoissa linjoissa on myös erilaisia materiaaleista, kuten alumiinista ja puusta valmistettuja orsia. Taso-orsia on käytännössä kolme erilaista tyyppiä: kannatusorsi, kulmaorsi ja päätte-/kiristysorsi. kuvioissa 5, 6 ja 7 on rakennukset tavallisimmista taso-orsityypeistä.



Kuvio 5. Kannatusorsia (Verkoston vakiorakenteet, n.d.)

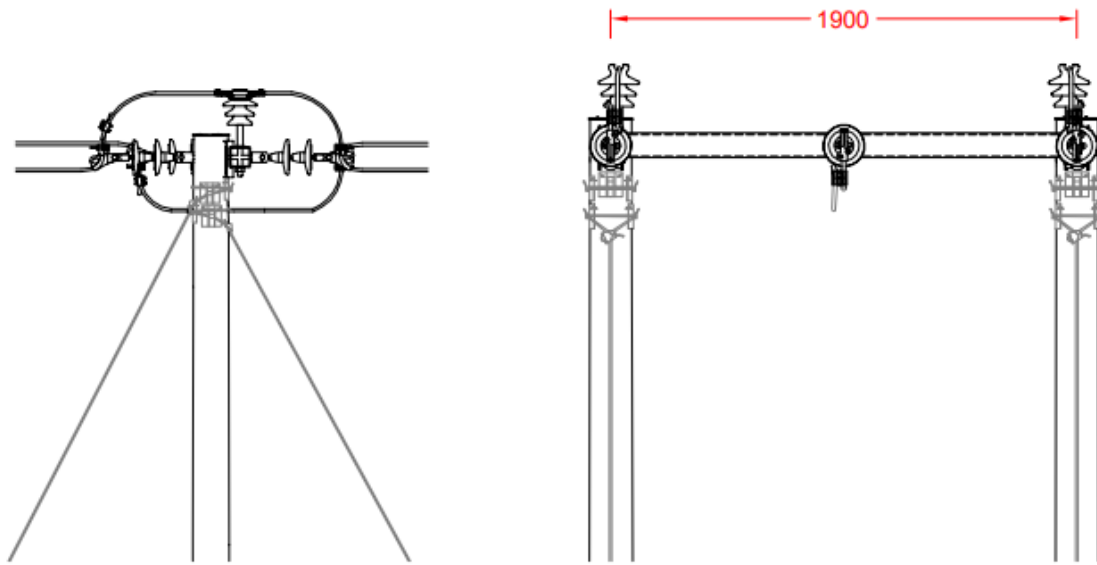
Kannatusorsi on eniten käytetty orsirakenne, sitä käytetään suoran johto-osan kannatuspylväillä sekä kulmapylväissä, jos kulma on vähäinen. Kannatusorsi riittää kulmapylväälle noin 15–30° kulmiin saakka. (Monni 2010, 166.) Tavallisesti käytetään ortta, jossa johtimet ovat 1,1 m etäisyydellä toisistaan. Mikäli tarvitaan suurempaa vaiheväliä, orresta löytyy versio, jossa johdinten etäisyys on 1,25 m. Lisäksi on olemassa epäsymmetrinen taso-orsi, jossa keskimäisen johdon kiinnityskohta

ei ole orren keskellä. Epäsymmetristä taso-ortta käytetään tilanteissa, joissa ortta ei kiinnitetä pylvään latvaan, esimerkiksi risteämäpylväillä. Johdinta ei voi kiinnittää suoraan metalliseen ortteen, joten kiinnityksessä käytetään välikappaleena tappieristintä, johon johtimet sidotaan alumiinilangalla tai esijännitetyllä kierukkasiteellä (Monni 2010, 170, 182–184). Jyrkemmissä kulmissa käytetään kuvion 9 mukaista kulmaortta.



Kuvio 6. Tasokulmaorsi (Verkoston vakiorakenteet, n.d.)

Jyrkemmissä kulmissa käytetään kulmaortta, sillä se kestää kannatusortta paremmin sivuttaista voimaa taipumatta. Kulmaorteen johtimet kiinnitetään vetoeristimen ja kulmakannatuspitimen avulla. Johtoreitin päädyissä sekä tarvittaessa välille asennettavissa kiristyspylväillä käytetään kuvion 7 mukaista kiristysortta.



Kuvio 7. Kiristysorsi II-pylväälle (Verkoston vakiorakenteet, n.d.)

Pääte- ja kiristysorissa johtimet kiinnitetään vetoeristimen ja pätekiristyspitimen avulla orren sivulle. Kiristysorseen laitetaan lisäksi tappieristimet, joilla tuetaan eri suuntiin lähtevät johdot yhdistävä johdin pylväiden kohdalta. Pääteorsia on linjan päiden lisäksi ilmajohdon haaroituskohdissa sekä ns. jakkararakenteissa, joita käytetään esimerkiksi tienlytyksissä.

5.3 Pylväsrakenteet

5.3.1 Pylväsluokat

Keski- ja pienjänniteilmajohdot rakennetaan lähes aina puupylväillä, koska puu on materiaalina edullinen ja painekyllästyksellä se saadaan kestäväksi kymmeniä vuosia (Elovaara & Haarla 2011, 264). Puun käyttö pylväsmateriaalina tuottaa kuitenkin haasteita pylvään lujuuden määrittelyyn, sillä puupylväät eivät ole niin tasalaatuisia, kuin teollisesti valmistetut pylväät. Puupylvään lujuuteen vaikuttaa puun pituuden ja paksuuden lisäksi esimerkiksi se, kuinka nopeasti puu on kasvanut: hitaammin kasvanut puu on lujempaa (Monni 2010, 31). Laskemisen helpottamiseksi pylväät on luokiteltu viiteen lujuusluokkaan.

Taulukko 8. Standardin SFS 2662 mukaiset pylväsluokat (Verkostosuositus RJ12:96, 3).

Pylväs- luokka	Ominais- suureet	Pylväspituus L/m												
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	d [cm]	13	13	13	13	13	13	13	13	13	--	--	--	--
	D [cm]	16	17	18	19	20	21	22	22.5	--	--	--	--	
	m [kg]	76	94	114	135	159	184	212	235	--	--	--	--	
2	d [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	--	--
	D [cm]	17	18	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	25	26	27	--	--	
	m [kg]	91	111	138	164	191	221	253	296	334	375	--	--	
3	d [cm]	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
	D [cm]	18.5	19.5	21	22	23	24	25.5	26.5	28	29	30	31	
	m [kg]	110	134	166	195	226	260	305	345	398	445	495	548	
4	d [cm]	--	--	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
	D [cm]	--	--	22.5	24	25	26	27	28	29	30	31.5	32.5	
	m [kg]	--	--	196	236	272	312	354	399	447	498	565	624	
5	d [cm]	--	--	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	
	D [cm]	--	--	24	25.5	27	28	29	30	31	32	33	34.5	
	m [kg]	--	--	228	273	322	368	416	467	521	579	640	719	

Taulukossa 8 on esitetty standardin SFS 2662 mukaiset minimimitat eri luokkien pylväille. taulukossa d = pylvään latvahalkaisija, D = pylvään halkaisija 1,5 m etäisyydellä tyvestä ja m = pylvään massa. Kaikille pylväsluokille on määritelty maksimikuormitukset, jotka ovat listattuna taulukossa 9.

Taulukko 9. Pylväiden suurimmat sallitut pystyvoimat (Verkostosuositus RJ12:96, 3).

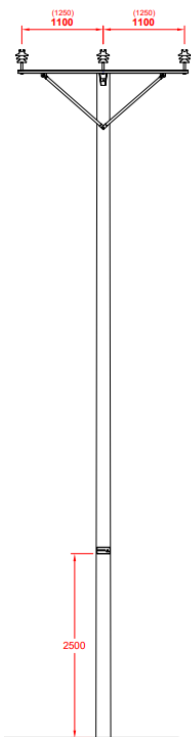
Pylväs- pituus L/m	Pylväsluokat					
	1	2	3	4	5	2x4
7	10.7	15.0	21.9	--	--	--
8	9.2	12.8	18.5	--	--	--
9	8.2	12.1	17.3	23.8	31.9	48.0
10	7.4	10.9	15.4	22.4	29.8	45.2
11	6.4	10.0	14.1	20.3	28.2	40.9
12	6.0	8.7	13.0	18.6	25.7	37.6
13	5.7	8.2	12.2	17.3	23.8	35.0
14	5.0	8.1	11.4	16.2	22.2	32.9
15	--	7.9	11.2	14.4	20.9	29.1
16	--	7.6	10.9	13.6	18.6	27.6
17	--	--	10.5	13.4	17.7	27.2
18	--	--	10.1	13.2	17.2	26.7

Taulukossa 9 on standardin SFS 2662 mukaiset pystyvoimat kilonewtoneina eri luokkien pylväille. taulukon arvoissa on huomioitu jo pylvään ja varusteiden oma paino. (Verkostosuositus RJ12:96, 3). Taulukossa on mukana myös kaksoispylväs 2x4, jossa kaksi 4-luokan pylvästä on liitetty yhteen. Tällaista rakennetta voidaan tarvita, jos pylvälle tulee niin paljon painoa, että edes 5-luokan pylväk ei kestä. (Verkostosuositus RJ11:14, 4).

5.3.2 Pylväsrakenteet

Kannatuspylväs

Suorilla johto-osuuksilla johdon ripustamiseen käytetään kannatuspylvästä, jonka tehtävä on kannatella johdinta riittävällä korkeudella maan pinnasta. Kuviossa 8 on rakennekuva tavallisesta kannatuspylvästä.



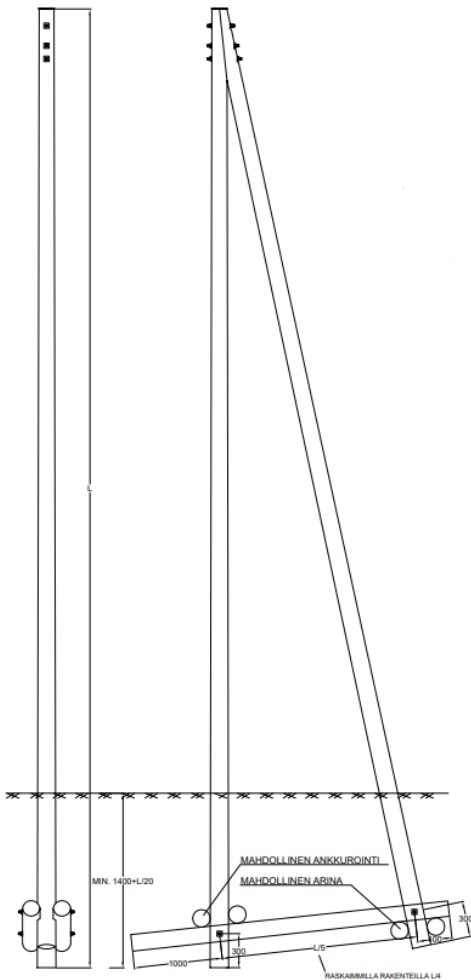
Kuvio 8. Kannatuspylväs (Verkoston vakiorakenteet, n.d.)

Kannatuspylvääseen kohdistuu pääasiassa pystysuuntaisia voimia, joten sitä ei yleensä tueta johdon suuntaisia tai sivuttaisia voimia vastaan haruksilla tai tukipyväillä. (Elovaara & Haarla 2011,

264.) Pylväs pystytetään tavallisesti upottamalla sen tyviosa maan sisään (Monni 2010, 113). Kallion ollessa niin lähellä maan pintaa, että upotus ei onnistu, pylväs asennetaan kallion päälle ja tuetaan vinotuilla tai haruksilla kolmesta suunnasta. Pehmeässä maastossa, kuten suolla pylvään tyveen kiinnitetään pyypylväistä tehty ristikko taikka teräksiset perustustuet. (Monni 2010, 129; Verkoston vakiorakenteet n.d.)

Kulmapylväs

Johtoreitin kääntyessä johdinjännitys pyrkii taivuttamaan pylvästä sisämutkan suuntaan. Sen vuoksi mutkiin tarvitaan kulmapylväs, joka on tuettu taivuttavaa voimaa vastaan. Tavallisesti pylväs tuetaan ulkokulman suuntaan asennettavilla haruksilla. Haruksia tarvitaan kulman suuruuden ja johtimen painon mukaan yksi tai useampia. (Monni 2010, 117–118.) Joissakin tilanteissa harusten asentaminen ulkokulman puolelle ei onnistu. Yleinen esimerkki tästä on tien vieressä sisämutkan puolella kulkeva johto. Tällaisessa tapauksessa pylväs voidaan tukea sisäkulman puolelta tukipylväällä. Tukipylvään kiinnittämiseen on kaksi vaihtoehtoista tapaa: A-pylväs ja niveltukipuupylväs (T-pylväs). (Monni 2010, 127–128.) Kuviossa 9 on A-pylvään rakennekuva.

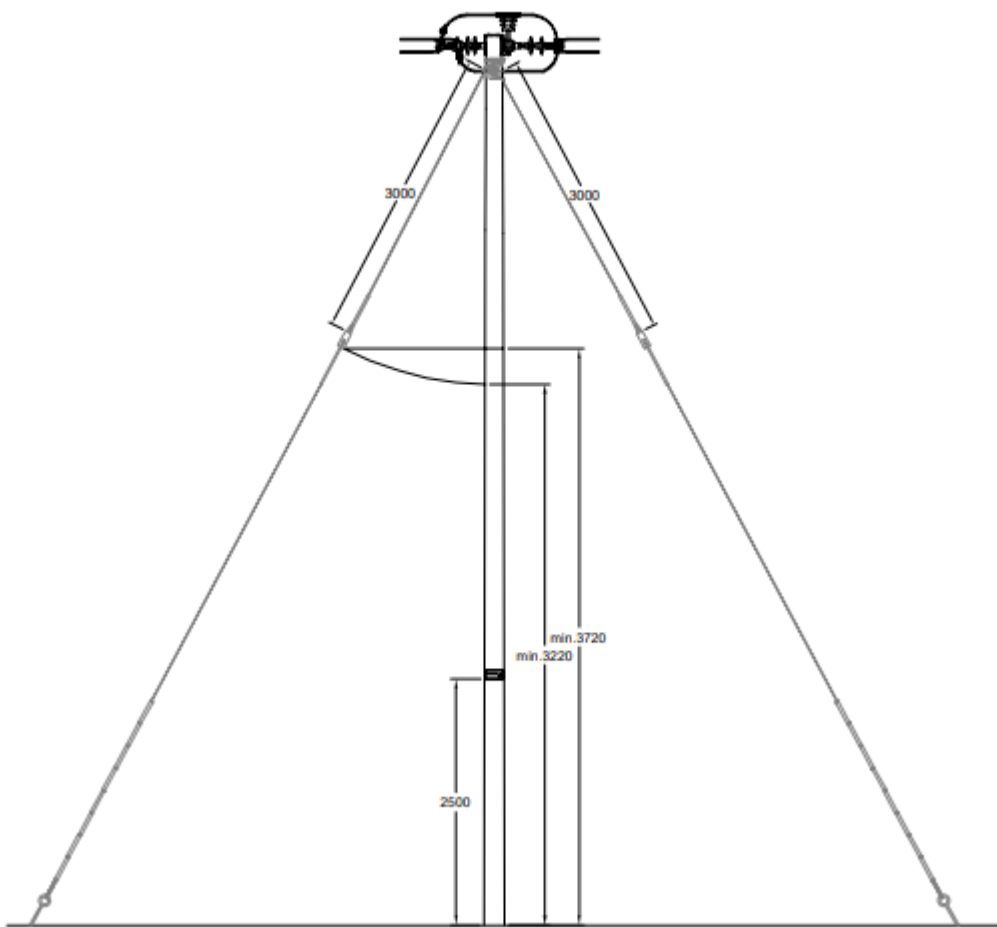


Kuvio 9. A-pylväs (Verkoston vakiorakenteet n.d.)

A-pylväessä tukipuu kiinnitetään pystypuuhun maanalaisilla sidepuilla sekä pulttaamalla pylvään latvapää yhteen. (Monni 2010, 127–128; Verkoston vakiorakenteet n.d.) Niveltukipylväs kiinnitetään pystypuuhun latvapäästä metallisella nivelellä, eikä sen tyvipäitä yleensä kiinnitetä millään toisiinsa. A- tai T-pylvästä käytettäessä johdinjännityksen aiheuttama voima painaa tukipuuta maahan päin ja pyrkii nostamaan pystypuuta ylöspäin. Loivissa kulmissa tämä ei ole ongelma, mutta jyrkemmissä kulmissa pystypuun nouseminen täytyy estää A-pylvään tyypisellä sidepuulla tai pelkästään pystypuuhun kiinnitettävällä maanalaisella poikkipuulla. (Monni 2010, 127–128.) Pystypuun ankkuroimiseen voidaan käyttää myös maahan upotettavaa haruslaattaa (Verkoston vakiorakenteet n.d.).

Päätepylväs/kiristyspylväs

Ilmajohdon johdinjännitys kohdistuu eniten päätepylväisiin, mikä pyrkii taivuttamaan päätepylväitä johdon suuntaan. Päätepylväät on siksi tuettava johdon suuntaisia voimia vastaan haruksilla. Päätepylväissä käytetään usein kaksoispylväsrakennetta, koska niihin kohdistuu suurimmat voimat, ja kaksoispylväällä saadaan rakenne kestävämmäksi. Kiristyspylväs on pylväs rakenne, jossa on ikään kuin kaksi päätepylvästä vastakkain keskellä ilmajohtoa. Kuviossa 10 näkyy kiristyspylvään rakenne.



Kuvio 10. Kiristyspylväs (Verkoston vakiorakenteet, n.d.)

Kiristyspylväs ja sen harukset on mitoitettu siten että se kestää johdinjännityksen ilman toiseen suuntaan lähtevän johdon aiheuttamaa vastavoimaa. Pidemmät johto-osuudet on jaettu useampaan kiristysväliin, joiden rajakohdassa on kiristyspylväs. Yleensä kiristyspylväitä on noin 2–4 kilometrin välein. Jos linjalla on paljon käännöksiä tai korkeuseroja, on syytä käyttää lyhempiä kiristysvälejä, kuin vähemmän mutkittelevilla osuuksilla.

6 Profila

Hitachi Profila CENELEC on ohjelmisto, jonka avulla voidaan mitoittaa ilmajohtojen pylväsrakenteet kestävästi ilmajohtostandardien mukaiset ilmastolliset kuormitukset. Profilan tietokantaan voidaan tallentaa tarvittavat tiedot käytettävien rakenteiden käytönrajoista ja sen jälkeen yksittäiseen projektiin on helppo valita halutut rakenteet valmiiksi tallennetuista. Johdon kulkureitin voi piirtää kartalle sovelluksessa, mutta tarkan sijainnin määrittäminen suoraan kartalle on käytännössä mahdotonta. Tämän vuoksi reitti kannattaa suunnitella maastossa ja tallentaa GPS-tallentimella, josta reitin tiedot voi tuoda pistetiedostona Profilaan. Maaston korkeustiedot voidaan mitata maastossa tai hakea Profilaan maanmittauslaitoksen korkeusmallista, jonka saa ladattua ilmaiseksi MML:n avoimista aineistoista. Korkeusmallia käyttämällä säästetään maastossa käytettävää aikaa, kun korkeuspisteitä ei tarvitse erikseen mitata.

Profila suunnittelu alkaa Reitin GPS-mittauksella maastossa. Johtoreitti suunnitellaan ja GPS-tallentimella mitataan koordinaatit johtoreitin alku- ja loppupisteistä, reitin varrella olevien kulmapylväiden paikoista sekä muista erityisistä kohdista, kuten tien ylityksistä, risteävistä johdoista tai maanomistajan kanssa tarkkaan sovituista pylväspaikoista. Suorilla johto-osuuksilla olevien kannatuspylväiden paikkoja ei välttämättä tarvitse mitata maastossa, vaan ne on helppo lisätä Profilassa tasavälein mitattujen pylväspaikkojen väliin. Jos pylväitä lisätään Profilassa, maaston korkeus täytyy hakea MML:n korkeusmallista, jotta pylvääät saadaan oikeaan maanpinnan tasoon. Maastomittauksen jälkeen koordinaattitiedosto ladataan Profilaan, joka luo niistä uuden johtoprofiilisuunnitelman. Erilaisille pisteille täytyy mitatessa laittaa oikeat lajikoodit, jotta pisteet luetaan oikein Profilassa. Kun pylväspaikat on saatu ladattua Profilaan, lisätään projektissa käytettävät johdinlajit. Johdinten lisäys aloitetaan ylimmästä ”ykkösjohtimesta”, joka on yleensä 20kV avojohto. Samoihin pylväisiin voi lisätä useita yhteiskäyttöjohtoja, halutuille pylväsväleille. Johtimen lisäämisen yhteydessä valitaan miltä pylväältä johdin alkaa ja mihin se päättyy. Jos projektissa on useampia kiristysvälejä, ne lisätään Profilaan erillisinä johtoina. Kuviossa 11 on johdon lisäyksikkuna.

Johtimen perustiedot

Johdintunnus (max 10): Keskikorkeus maasta: m

Johdon kulkuväli: m - m

Johdon peruskulkukorkeus pylvään latvasta (m): (johto 1): >

m Huomautusraja: m

Perustila (0-säätö)

0-sääjännitys: N/mm²

Minimilämpötilat

Lämpötila-alue:

Luotettavuustaso: 1 2 3 Käyttäjä

Tmin: °C Tmin/3v: °C

Kuormitustapaukset, lämpötilat, kuormien osavarmuusluvut ja yhdistelmäkertoimet

No	Kuormitustapaus	L-tila	Tuuli	Jää	Taso 1/tuuli	Taso 1/jää
1	Huippujääkuorma	0		1.00		1.00
2	Pakkanen	-50				
3	Pakkanen/3v	-42				
4	Helle	70				
5	Huipputuulikuorma	-20	1.00		1.00	
6	Helle/vaihevälikarkastelu	50				
7	Huippujää + keskinkertainen t...	0	0.25	1.00	1.00	1.00
8	Kova tuuli + keskinkertainen jää	0	0.45	0.25	1.00	1.00

Päällystämätön johto 'Rv63' =>

Kiristysvälin pituus L = 452... Sekv = 0.0m
 Johtimen keskikorkeus maast... 9.0m, Kt = 0.22, Zo = 0.30 => k(10m) = 0...
 Vertailutuulennopeus Vr = k*Vr... 0.77 x 21.0 = 16.2 m/s
 Puuskakerroin nopeudelle = 1.67 => Puuskatuul... 27.1 m/s
 Puuskakerroin paineelle = 2.79 => Puuskapai... 488.05 N/m²
 Maastolk III, J-kerr. Gtot = 0.80 x 0.48 x 2.79 ... 1.06
 Tuulenpaine -20 °C (Max Tuuli... 185... N/m... 1.00 x 1.00 = 185.53 N/m²
 Tuulenpaine 0 °C (J + T) qw = 172... N/m... 1.00 x 0.25 = 43.01 N/m²
 Tuulenpaine 0 °C (T + J) qw = 172... N/m... 1.00 x 0.45 = 77.41 N/m²

Tuulikuorman määrittäminen

Maastoluokka: I II III IV Käyttäjä

Jännekertoimen:

Tuuliparametrit

Korkeus merenpinnasta: m

Lämpötila tuulikuormalla: °C

Ilman tiheys: kg/m³

Tuulen nopeus: m/s

Jännekertoimen pienennyskerr.:

Tuulikuorma

Dynaaminen tuulenpaine: N/m²

Perusmitoituspaine: N/m²

Jäisen johtimen kok. halkaisija

Jääk+Tuuli: mm

Tuuli+Jääk: mm

Jääkuorman määrittäminen

Jäätymsiluokka: I II III IV Käyttäjä

<= Johdon suhteellinen korkeus ympäröivästä maastosta (r=10km) (Paina nappia => Profila laskee) => m

VIM: *** (EI TÄTÄ UUDEN SUUNNITTELUUN!) ***

Tavallinen johto Varmennettu johto

Huippujääkuorma

Jään paino: N/m

Jään paino yhd. tuulikuormalla

Jääk+Tuuli: N/m

Tuuli+Jääk: N/m

Helleriippuma & vaihevälikarkastelu

Johtimen maksimilämpötila (Tmax): °C

Vaihevälikarkastelun laskennassa käytetty johtimen jännitelisä (a): m

Helleriippuma (säätö, joka on johtimen viruttanut)

Pakkanen Jääkuorma Jääk+Tuuli Tuuli+Jääk

Yhdistelmäkertoimintaso

Normaali Pienennetty

Hae CENELEC oletukset

Yleiset CENELEC parametrit...

Johdinlajitiedot...

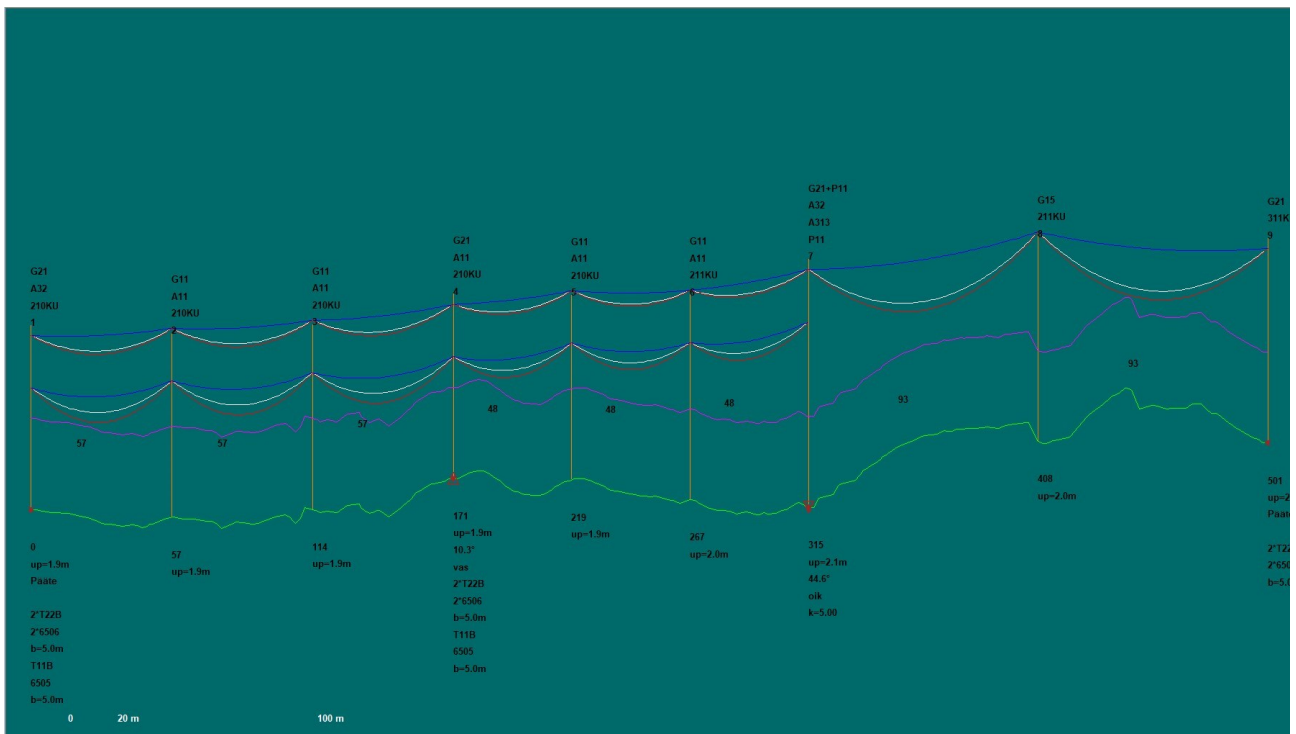
Poista johto

Peruuta

Seuraava

Kuvio 11. Johtojen lisäys Profilaan

Johtimen valinnan yhteydessä valitaan myös laskennassa tarvittavat johtimen nollasääjännitys, luotettavuustaso, minimi- ja maksimilämpötila sekä maasto- ja jäätymsiluokat. Samalla valitaan, käytetäänkö laskennassa normaaleita vai pienennettyjä yhdistelmäkertoimia. Pienennettyjä yhdistelmäkertoimia voidaan käyttää alle 45kV päällystämättömillä johdoilla, joiden luotettavuustaso on 1 ja jäätymsiluokka 1. Johtojen lisäyksen jälkeen valitaan vielä johdolle orsisarja, josta Profila valitsee automaattisesti sopivan kulma- tai kannatusorren. Kun tarvittavat tiedot on annettu Profila laskee johdon sivuprofiilin pakkasella, helteellä ja jääkuormalla sekä pylväisiin ja rakenteisiin kohdistuvat voimat. Kuviossa 12 on Profilan piirtämä johdon sivuprofiili.



Kuvio 12. Ilmajohdon sivuprofiili

Kuviossa 12 on esimerkki johdon sivuprofiilista. Kuviossa näkyy johtimelle valittu minimikorkeusvaatimus violetilla värillä sekä johdon riippumat pakkasella, helteellä ja jääkuormalla. Tästä voidaan tarkastella korkeusvaatimusten täyttymistä. Profila valitsee automaattisesti pylväsluokat ja pylväiden pituudet sekä harukset siten että korkeusvaatimukset täyttyvät, eikä pylväiden tai harusten käytönrajat ylitä. Mikäli suunnitelmassa on ongelmia, jotka eivät ratkea automaattisilla mitoituksilla, näistä tulee ilmoitukset Profilan huomautusikkunaan. Nämä ongelmat täytyy ratkoa muokkaamalla rakenteita manuaalisesti tai lisäämällä tai siirtelemällä suorien johto-osien pylviäitä.

7 Työn toteutus ja lopputulosten arviointi

Opinnäytetyö toteutettiin tutkimalla ilmajohtoja koskevia määräyksiä ja suosituksia standardeista SFS-EN 50341-1 ja SFS-EN 50341-2-7 sekä energiateollisuus ry:n verkostosuosituksista. Näiden lisäksi ilmajohdon rakenteisiin ja suunnittelukäytäntöihin tutustuttiin alan kirjallisuuden ja suunnittelijoiden haastatteluiden kautta. Näistä lähteistä poimittiin suunnittelun kannalta olennaisimmat kohdat ilmajohtosuunnitteluohjeeseen. Työ toteutettiin kehittämistutkimuksena ja siinä käytettiin laadullisia tutkimusmenetelmiä. Lähteiden luotettavuuden arvioinnissa huomioitiin tiedon ajan-

kohtaisuus ja vertailupohjana käytettiin ilmajohtostandardeja, joihin muiden lähteiden tietoja verrattiin. Ilmajohdon rakentamisessa on käytetty pitkään melko samanlaisia johtimia ja rakenteita, joten vanhempienkin lähteiden käyttö on perusteltua sikäli, kun niissä ei ole nykyisten standardien kanssa ristiriitaista tietoa. Voimassa olevia standardeja vanhempien lähteiden tarkasteluun kiinnitettiin erityistä huomiota.

Työn tavoitteena oli tehdä yrityksen sisäinen ohje, johon on kerätty ilmajohtosuunnitteluun tarvittavaa tietoa standardeista, verkostosuosituksista yrityksen sisäisistä käytännöistä ja Profilan käytöstä. Tuloksena saatiin aikaan ilmajohtosuunnitteluohje, jossa pääpaino on Profilan käytön kannalta olennaisissa tiedoissa ja Profilan käytön opastuksessa. Jatkossa ohjetta on mahdollista kehittää eteenpäin ja lisätä ohjeistusta suunnitteluprosessin muista vaiheista. Projektin aikana selvisi, että suuri osa Profilaan tallennetuista johtimien ja rakenteiden käytönraja-arvoista ovat peräisin ohjelman alkuperäisestä asennuksesta, ja osa arvoista saattaa olla virheellisiä. Tulevaisuudessa olisi tarpeellista jatkaa tutkimusta etsimällä johtojen ja rakenteiden valmistajien mukaiset käytönrajatiedot ja päivittää Profilaan tallennetut rakenteet valmistajien tietojen mukaisiksi.

Työssä havaittiin, että suuri osa ilmajohdon vaatimuksista liittyy rakenteiden mekaaniseen lujuuteen ja erilaisten säätilojen vaikutusten laskentaan. Standardin vaatimien mitoituslaskemisen käsin olisi erittäin hidasta, joten Profilaa käyttämällä voidaan säästää aikaa ja tehostaa suunnitteluprosessia. Suunnittelijan on hyvä kuitenkin ymmärtää perusteet ilmajohdon mitoitusvaatimuksista, jotta hän osaa käyttää ohjelmaa oikein. Profilaa käytettäessä on tärkeää, että mitoituksen lähtöarvot ovat oikeat, jotta saadaan luotettavat laskentatulokset.

Lähteet

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot II. Helsinki: Otatieto.

Etäisyysvaatimukset maasta luonnontilaisilla alueilla. N.d. HeadPower. Viitattu 22.5.2023.

L 588/2013. Sähkömarkkinalaki. Viitattu 22.5.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>

Monni, M. 2010. Ilmajohtoverkostotyöt. 5. kokonaan uusittu painos. Helsinki: Adato Energia.

SFS-EN 50341-1:2012. Vaihtosähköilmajohdot yli 1kV jännitteillä. Osa1: Yleiset Vaatimukset. Yhteiset määrittelyt. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 17.2.2014.

SFS-EN 50341-2-7:2015. Vaihtosähköilmajohdot yli 1kV jännitteillä. Osa2: Suomen kansalliset velvoittavat määrittelyt. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 9.11.2015.

Verkoston vakiorakenteet. N.d. HeadPower. Viitattu 22.5.2023. <https://rakenne.headpower.fi/nein/?axparams=>.

Verkostosuositus KA 2:10. Verkostotöiden kustannusluettelo. 2010. Helsinki: Adato Energia.

Verkostosuositus RJ 1:14. Ilmajohtotekniikan peruskäsitteitä. 2014. Helsinki: Adato Energia.

Verkostosuositus RJ 11:13. Rakenteet puupylväiden käytönrajat. 2013. Helsinki: Adato Energia.

Verkostosuositus RJ 12:96. Puupylväiden käytönrajat 2 taulukot ja käyrästöt. 1996. Helsinki: Adato Energia.

Verkostosuositus RJ 21:92. Ilmajohtojen johtoalueet. 1996. Helsinki: Adato Energia.

Verkostosuositus YJ14:13. Suositus sähköverkkojen sijoittamisesta yksityisteiden varsille. 2014. Helsinki: Adato Energia.

Liitteet

Liite 1. Ilmajohdosuunnitteluohje