

## Voimajohtojen suunnittelu

Erot Suomen ja Ruotsin välillä standardissa  
EN 50341-1

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Mekatroniikan tuotantopainotteinen  
suuntautumisvaihtoehto  
Opinnäytetyö  
Kevät 2017  
Jari-Pekka Siivonen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

SIIVONEN, JARI-PEKKA:

Voimajohtojen suunnittelu

Erot Suomen ja Ruotsin välillä standardissa EN 50341-1

Mekatroniikan tuotantopainotteisen suuntautumisvaihtoehdon  
opinnäytetyö, 81 sivua

Kevät 2017

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyössä tutkittiin Suomen ja Ruotsin voimajohtostandardeissa olevia eroja. Työn tavoitteena oli selvittää, mihin voimajohtosuunnittelijoiden tulee kiinnittää huomiota suunnitellessaan uutta voimajohtoa toiseen maahan.

Työ tehtiin toimeksiantona Eltel Networks Oy:lle, joka tulee käyttämään julkaisua jatkossa sisäisessä kehityksessään. Tutkimus suoritettiin kvalitatiivisena käyttäen apuna alan kirjallisuutta, yritysten ohjeita, esitteitä sekä alan standardeja.

Tutkimuskohteina oli kansainvälinen voimajohtostandardi EN 50341-1, johon kansalliset standardointikomiteat tekevät omat lisäyksensä erillisissä kansallisissa julkaisuissa.

Tutkimuksesta käy ilmi, että suuria eroja maiden välillä ei ole. Kansallisia eroja kuitenkin löytyy, ja suunnittelijoiden tulee selvittää ne tapauskohtaisesti kansallisista liitteistä.

Asiasanat: voimajohto, standardi, kantaverkko, korkeajännite, siirtoverkko

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

SIIVONEN, JARI-PEKKA:

The Designing of Transmission Lines

Differences in the Finnish and Swedish standard EN 50341-1

Bachelor's Thesis in Production-oriented Mechatronics, 81 pages

Spring 2017

ABSTRACT

---

This thesis deals with the differences in Finnish and Swedish transmission line standards. The aim was to find out the aspects and key points for the designers to consider when designing a high-voltage line for another country.

The study was commissioned by Eltel Networks Ltd, which will use the publication in its internal development.

The subjects for research were the international standard EN 50341-1 for transmission lines and its national normative amendments for Finland and Sweden.

The study shows that there are no major differences between Finland and Sweden, but the designers have to check the national requirements case by case.

Key words: transmission line, standard, the main grid, high-voltage, distribution network

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Yleistä	1
1.2	Työn tavoitteet	1
1.3	Työn rajaukset	2
2	YLEISTÄ SÄHKÖNJAKELUVERKOISTA	3
2.1	Suomen kantaverkko	4
2.2	Ruotsin kantaverkko	5
2.3	Pohjoismainen yhteiskäyttöverkko	6
2.4	Sähkönjakeluverkon suunnittelu	6
2.5	Standardit	7
2.6	Eurokoodit	8
2.7	Lait ja asetukset	8
2.8	Sähköverkkojen tulevaisuus	9
3	ILMAJOHTOJA KÄSITTELEVÄ NORMI EN 50341	11
3.1	Standardin rakenne	11
3.2	Standardin liitteet	12
3.3	Kansalliset velvoittavat määrittelyt	12
4	SUUNNITTELUPERUSTEET	13
4.1	Ilmajohtojen vaatimukset	13
4.2	Mitoitusarvot	14
4.3	Yhteenveto	15
5	JOHTOJEN KUORMITUKSET	16
5.1	Tuulikuormat	16
5.2	Johtimien tuulikuormat	17
5.3	Eristimien tuulikuormat	18
5.4	Ristikko- ja putkipylväiden tuulikuormat	18
5.5	Jääkuormat	19
5.6	Lämpötilavaikutukset	21
5.7	Varmuuskuormat	21
5.7.1	Varmuuskuormien määrittely Suomessa	21
5.7.2	Varmuuskuormien määrittely Ruotsissa	22
5.8	Turvallisuuteen liittyvät kuormat	23

5.9	Kuormitustapaukset	23
5.9.1	Standardikuormitustapaukset Suomessa	24
5.9.2	Standardikuormitustapaukset Ruotsissa	27
5.9.3	Osavarmuusluvut Ruotsin standardissa	28
5.10	Yhteenveto	29
6	SÄHKÖISET VAATIMUKSET	30
6.1	Sähköiset vaatimukset Suomessa	30
6.1.1	Etäisyyksien määritykset	31
6.1.2	Ulkoiset etäisyydet	32
6.1.3	Risteävät liikenneväylät	33
6.1.4	Muut sähkö- tai tietoliikennejohdot	34
6.2	Sähköiset vaatimukset Ruotsissa	36
6.2.1	Jännitteet ja ylijännitteet	37
6.2.2	Sähköiset vähimmäisetäisyydet ylilyönnin välttämiseksi	39
6.2.3	Kuormitustapaukset etäisyyksien määrityksessä	40
6.2.4	Sisäiset etäisyydet	42
6.2.5	Ulkoiset etäisyydet	44
6.3	Yhteenveto	50
7	MAADOITUKSET	51
7.1	Maadoitukset Suomessa	51
7.1.1	Harustetut pylvää	51
7.2	Maadoitukset Ruotsissa	52
7.2.1	Korroosioon ja mekaaniseen lujuuteen liittyvät tekijät	52
7.2.2	Suunnittelu henkilöturvallisuuden kannalta	54
7.2.3	Toimenpiteet järjestelmissä, joiden tähtipiste on eristetty	55
7.3	Yhteenveto	55
8	PYLVÄÄT	56
8.1	Pylväiden vaatimukset Suomessa	56
8.1.1	Teräksiset ristikkopylvää	56
8.1.2	Puupylvää	56
8.1.3	Harustetut rakenteet	57
8.1.4	Kunnossapitovalmiudet	58
8.2	Pylväiden vaatimukset Ruotsissa	60
8.2.1	Teräksiset ristikkopylvää	60

8.2.2	Teräsputkipylväät	60
8.2.3	Puupylväät	61
8.2.4	Betonipylväät	62
8.2.5	Harustetut rakenteet	63
8.2.6	Muut rakenteet	63
8.2.7	Korroosionesto ja viimeistely	63
8.2.8	Turvallisuusvaatimukset	64
8.3	Yhteenveto	64
9	PERUSTUKSET	65
9.1	Perustusten suunnittelu Suomessa	65
9.1.1	Geoteknisen mitoituksen perusteet	66
9.2	Perustusten suunnittelu Ruotsissa	68
9.2.1	Geotekninen mitoitus	69
9.2.2	Maaperä tutkimus ja geotekninen informaatio	71
9.3	Yhteenveto	73
10	VAIHE- JA UKKOSJOHTIMET SEKÄ ERISTIMET JA VARUSTEET	74
10.1	Johtimet	74
10.1.1	Suomen määräykset johtimille	74
10.1.2	Ruotsin määräykset johtimille	75
10.2	Eristimet	76
10.2.1	Yleiset sähköiset vaatimukset	76
10.2.2	Mekaaniset vaatimukset	77
10.2.3	Tyypikoevaatimukset	78
10.3	Varusteet	78
10.3.1	Sähköiset vaatimukset	78
10.3.2	Mekaaniset vaatimukset	78
10.3.3	Materiaalien valinta ja määräytyminen	78
10.4	Laadunvarmistus, tarkastukset ja vastaanotto	79
10.5	Yhteenveto	79
11	YHTEENVETO	80
11.1	Case Eltel	80
11.2	Työn merkitys	81
	LÄHTEET	82

## MERKINNÄT

$A_{ins}$	Eristimen projektiopinta-ala varusteineen
$D$	Jään peittämien johtimien ekvivalenttihalkaisija
$D_{50Hz\ p-e}$	Pienin tarvittava ilmaväli, jolla estetään vahingollinen ylilyönti vaihejohtimien ja maan potentiaalissa olevien kohteiden välillä käyttötaajuudella
$D_{50Hz\ p-p}$	Pienin tarvittava ilmaväli, jolla estetään vahingollinen ylilyönti vaihejohtamien välillä käyttötaajuudella
$D_{el}$	Pienin tarvittava ilmaväli, jolla estetään vahingollinen ylilyönti vaihejohtimien ja maan potentiaalissa olevien kohteiden välillä jyrkillä tai loivilla transienttiylijännitteillä
$D_{pp}$	Pienin tarvittava ilmaväli, jolla estetään vahingollinen ylilyönti vaihejohtimien välillä jyrkillä tai loivilla transienttiylijännitteillä
$E_d$	Kuormitusten kokonaisvaikutuksen mitoitusarvo
$g_e$	Johtimen paino
$g_{iw}$	Jääkuorma normaaleissa tuuliolosuhteissa
$g_{wi}$	Normaali tuulikuorma jäisessä johtimessa
$I$	Jääkuorma normaaleissa tuuliolosuhteissa
$k_r$	Maastokerroin (karheuskerroin)
$L$	Eristinketjun pituus
$R_d$	Rakenteen kestävyuden mitoitusarvo
$U_n$	Nimellinen järjestelmän käyttöjännite
$V_{b,0}$	Perustuulennopeus
$X_d$	Materiaaliominaisuuden mitoitusarvo
$X_K$	Maeriaaliominaisuuden ominaisarvo
$z_0$	Maaston karheusparametri
$\gamma_I$	Jääkuorman osavarmuusluku
$\gamma_M$	Materiaaliominaisuuden osavarmuusluku
$\gamma_W$	Tuulikuorman osavarmuusluku
$\Psi_I$	Jääkuorman yhdistelmäkerroin
$\Psi_W$	Tuulikuorman yhdistelmäkerroin

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan sähkönsiirron voimajohtojen suunnittelussa käytettävien standardin EN 50341-1:2012 eroja Suomen ja Ruotsin välillä. Kansalliset velvoittavat määrittelyt löytyvät standardeista EN 50341-2-7:2015 Suomen osalta ja EN 50341-2-18:2016 Ruotsin osalta. Tutkimus suoritetaan kvalitatiivisena käyttäen apuna alan kirjallisuutta, yritysten ohjeita, esitteitä sekä alan standardeja.

### 1.1 Yleistä

Työn tilaajana on Eltel Networks Oy, joka on Euroopan johtava teknisten palvelujen toimittaja sekä tarjoaa suunnittelu-, rakentamis- ja ylläpitopalveluita sekä kokonaisvaltaisia projektitoimituksia niin sähkö-, tietoliikenne- kuin rata- ja tieverkkojen alalla myös sähköasemat mukaan lukien. Palveluihin kuuluvat suunnittelu, dokumentointi, materiaalityömitukset, rakentaminen, huolto ja viankorjaus. Pohjoismaissa yritys tarjoaa palveluita myös puolustus- ja ilmailuviranomaisille. (Eltel Networks Oy 2016b.)

Eltel on perustettu vuonna 2000. Tämän jälkeen yritys on kasvanut nopeasti, vuonna 2015 konsernin liikevaihto oli yli 1,2 miljardia euroa ja yrityksessä työskenteli 9 600 työntekijää 10:ssä eri maassa. Yrityksen suurin maantieteellinen markkina-alue on Pohjoismaat, mutta myös Baltian maissa, Puolassa, Saksassa ja Iso-Britanniassa sekä Afrikan mantereella yrityksellä on vahva asema. Yritys on listattu Tukholman pörssissä. (Eltel Networks Oy 2016a.)

### 1.2 Työn tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää Suomen ja Ruotsin kansallisten standardien väliset erot voimajohtojen suunnittelun näkökulmasta, jotta Eltel voi hyödyntää tietoja tulevien projektien toteutuksessa. Koska Euroopassa käytetään yhteistä voimajohtojen standardia, on



lähtöoletuksena, että suurin osa eroista perustuu kansallisten komiteoiden määrittelemiін ehtoihin. Suunnitteluun vaikuttavia eroja voi myös löytyä muissa rakentamiseen liittyvissä säädöksissä ja eri maiden laeissa.

Teoriaosuudessa selvitetään voimajohtojen sekä sähkönjakeluverkkojen suunnittelua ja rakennetta, vallitsevaa lainsäädäntöä sekä sitä, miten standardit ohjaavat verkkojen rakentamista. Suomen ja Ruotsin kansallisten standardien erot kuvataan mahdollisimman tarkkaan ja perustellaan, miksi ne on määritelty yleisestä normista eroavaksi.

Teoriaosuuden jälkeen esitetään case-pohjaisesti voimajohtolinjan suunnittelun vaiheet yleisellä tasolla sekä johtopäätökset standardien kohdista, joihin Eltel Networksin tulee kiinnittää erityistä huomiota Ruotsiin tehtävissä voimajohtoprojekteissa.

### 1.3 Työn rajaukset

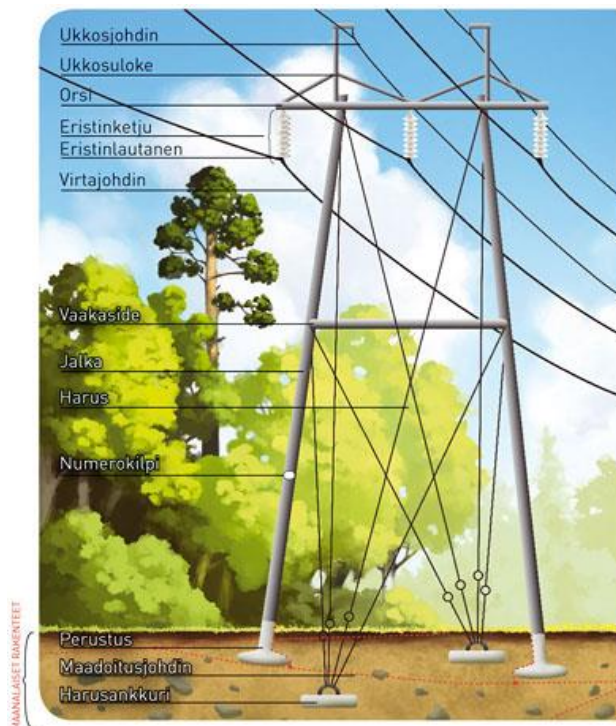
Opinnäytetyö rajataan käsittelemään vain Suomen ja Ruotsin voimajohtosuunnittelussa käytettävien standardien eroja ja alle 110 kV voimajohdot jätetään pääosin huomioimatta, koska yrityksen suunnittelu keskittyy 110 ja 400 kV voimajohtoihin. Jatkossa on mahdollista tehdä opinnäytetyö esimerkiksi Suomen ja Norjan standardeista, mikäli toiminta Norjassa laajenee suunnittelun puolelle.

## 2 YLEISTÄ SÄHKÖNJAKELUVERKOISTA

Suomessa kuluttajat ja voimalaitokset ovat yhteisessä sähköverkossa. Tämän järjestelmän etuna on voimansiirto hyvällä hyötysuhteella, taloudellisesti ja käyttövarmasti. Suomen voimansiirtojärjestelmän pohjana on Fingridin omistama kantaverkko. Kantaverkon jännitetasot ovat 400, 220 ja 110 kilovolttia. Näiden lisäksi alueverkkoyhtiöt omistavat noin puolet Suomen 110 kV:n verkosta. (Elovaara & Haarla 2011a, 54 – 61.)

Voimajohdon jännitetaso riippuu siirrettävän tehon määrästä ja siirtomatkasta. Voimajohdot voivat olla joko ilmajohtoja tai maakaapeleita, näistä ilmajohtoja käytetään useammin niiden edullisemman hinnan ja paremman huollettavuuden vuoksi.

Suurin osa voimajohtojen pylväistä on joko puisia tai teräksisiä harustettuja portaalipylväitä. Pylvään rakenne sisältää ainakin orren ja jalat, mutta tarvittaessa myös ukkosulokkeita ja vaakasiteen. (KUVA 1.). Sähköä kuljettavat johtimet kiinnitetään pylväisiin eristinketjujen kautta. (Jalonen 2007, 19 – 20.)



KUVA 1. Harustetun pylvään rakenneosat (Fingrid Oyj 2010)

## 2.1 Suomen kantaverkko

Fingridin hallitsemaan Suomen kantaverkkoon kuuluu 4 600 km 400 kV voimajohtoja, 2 200 km 220 kV voimajohtoja, 7 600 km 110 kV voimajohtoja ja 116 sähköasemaa. Suomen kantaverkko on yhteydessä Ruotsin ja sitä kautta Keski-Euroopan sähköverkkoon niin vaihto- kuin tasasähköyhteydellä. Lisäksi Suomen ja Venäjän välillä on vaihtosähköyhteys ilmateitse ja Suomen ja Viron välillä tasasähköyhteys merikaapeliteitse. (KUVA 2.) (Hautaniemi 2014, 4.)

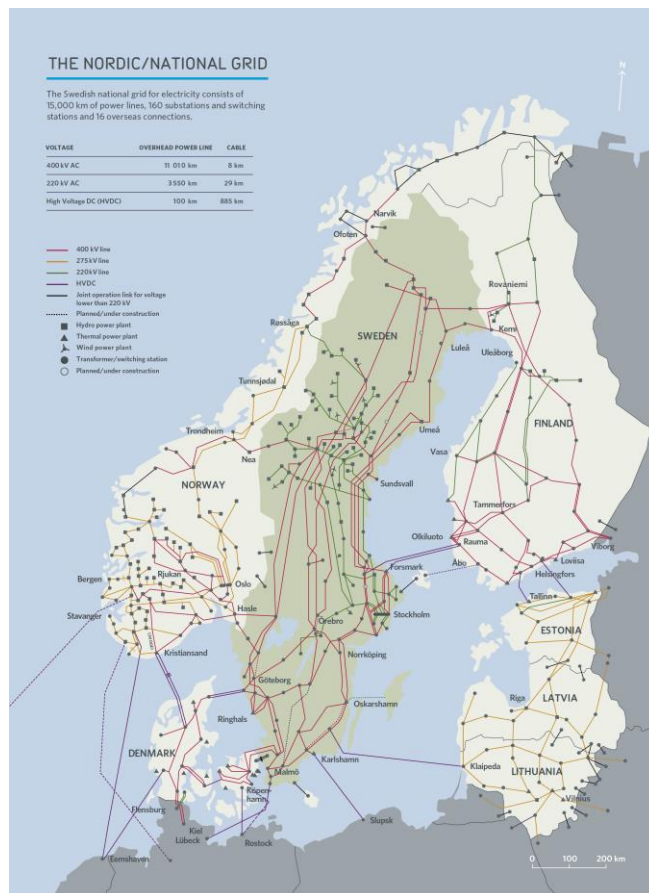


KUVA 2. Fingrid Oyj:n voimansiirtoverkko (Fingrid Oyj 2016)

Kantaverkon haltija Fingrid kehittää kantaverkkoa systemaattisesti ja laatii säännöllisesti kymmenen vuoden investointisuunnitelmia. Seuraavan jakson aikana yritys aikoo investoida kantaverkkoon yhteensä noin 1,2 miljardia euroa. Suunnitelman mukaan verkkoinvestoinnit koostuvat suurelta osin vanhojen voimajohtojen ja sähköasemien uusimisesta, mutta suunnitteilla on myös viides yhteys Ruotsiin. (Fingrid Oyj 2015.)

## 2.2 Ruotsin kantaverkko

Ruotsin kantaverkko käsittää 15 000 km voimajohtoa, 160 sähköasemaa ja 16 maiden välistä yhteyttä (KUVA 3). Ruotsin kantaverkkoyhtiö Svenska Kraftnät toimii yhteistyössä Suomen Fingridin ja Norjan Statnetin kanssa luodakseen yhden pohjoismaisen jälleenmyyntialueen. (Svenska Kraftnät 2017.)



KUVA 3. Ruotsin kantaverkko ja liitännät eri maihin (Svenska Kraftnät 2016)

### 2.3 Pohjoismainen yhteiskäyttöverkko

Vuodesta 1959 lähtien Suomi on ollut osana pohjoismaista yhteiskäyttöverkkoa, Nordeliä. Yhteiskäyttö on hyödyllistä, koska maiden välillä pystytään toimittamaan sähköä kulutuksen ja tuotannon tasaamiseksi. Tällä hetkellä Suomi on pohjoismaisessa markkinassa ainoa maa, jonka oma tuotanto ei riitä huippukulutustilanteessa oman kulutuksen kattamiseen. (Elovaara & Haarla 2011a, 62 – 65.)

### 2.4 Sähkönjakeluverkon suunnittelu

Sähkönjakeluverkon suunnittelun aikajänne voi olla pisimmillään jopa kymmeniä vuosia. Myös käytettävien komponenttien käyttöikä on pitkä, 50 – 100 vuotta. Tämä korostaa pitkäaikaisen suunnittelun merkitystä verkon suunnittelussa. Suunnitteluprosessi voidaan jakaa seuraaviin osiin:

- esisuunnittelu
- yleissuunnittelu
- rakennesuunnittelu.

Esisuunnittelun avulla pyritään hankkimaan voimajohtolle yhteiskunnallinen hyväksyttävyyys ja kokonaisuudessaan esisuunnittelu ohjaa yksityiskohtaista suunnittelua. Esisuunnitteluun kuuluvat ympäristö- ja muut selvitykset, hanke- ja tutkimuslupien hakeminen, lopullisen reitin päättäminen hankkeesta vastaavan toimesta sekä asiakas- ja viranomaisneuvottelut, luonto- ja ympäristöselvitysten sekä lupahakemusten laadinta ja erilaiset osaselvitykset. Esisuunnittelussa tehdään myös alustavat johtoaluekuvat.

Voimajohtojen yleissuunnittelu tehdään esisuunnitteluun perustuen ennen voimajohton rakennesuunnittelua ja rakentamista. Yleissuunnittelu tehdään voimassa olevien normien ja standardien mukaan. Lisäksi tulee ottaa huomioon mahdolliset asiakkaan lisävaatimukset.

Yleissuunnittelun yhteydessä tehdään johdolle sijoitussuunnittelu. Tässä määritetään johdolle muun muassa tarkka johtoreitti, tarvittava johdon poikkileikkaus, pylväspaikat, perustustasot, pylvästyypit ja pituudet,  $\Sigma Y$ :t ja tuulijänteet, niin sanotut ekvivalenttijänteet, johtimet, niiden kireydet ja vaihejärjestykset sekä kartoitetaan risteämät. Suunnitteludokumentit kootaan selkeiksi kokonaisuuksiksi (yleissuunnittelumapeiksi), jotka toimitetaan suunnittelun tilaajalle.

Rakennesuunnittelussa pylväsluettelon perusteella määritellään pylvää ja niiden varusteet sekä perustukset. Lujuuslaskelmista saadaan osien materiaalien paksuudet ja käytettävät profiilit, valmiiden työpiirustusten jälkeen pylväisiin liitetään vielä vaadittavat varusteet.

Toteutusvaiheessa projektin työsuunnittelussa määritetään projektin aikataulu ja varataan tarvittavat henkilö- ja työvälineresurssit (Lakervi & Partanen 2009, 63 – 64.)

## 2.5 Standardit

Euroopan sähköteknisen standardoinnin komitea CENELEC valmistelee standardeja, jotka auttavat edistämään maiden välistä kaupankäyntiä, luomaan uusia markkinoita ja tukemaan koko Euroopan markkinoiden kehitystä. Komitean standardit viedään käytäntöön jäsenmaiden kansallisten komiteoiden kautta.

Euroopan unionin alueella ainoastaan standardit, jotka on tuotettu CENELECin, Euroopan standardointijärjestö CENin tai Euroopan telestandardien instituutin ETSIn kautta, on tunnustettu eurooppalaisina standardeina (CENELEC 2016).

Kansainvälisiä standardeja julkaisee Sveitsissä päämajaansa pitävä kansainvälinen sähkötekninen komitea IEC. Nykyään IEC ja CENELEC tekevät yhteistyötä, jotta vältettäisiin hukkatyötä ja vähennettäisiin standardien valmisteluun kuluva aikaa.

## 2.6 Eurokoodit

Euroopan komissio julkaisi ensimmäisen sukupolven Eurokoodit vuonna 1984. Vuonna 1989 näiden standardien valmistelu ja julkaisu siirrettiin CENille. CEN julkaisi esistandardeina ensin 62 eurokoodia, joihin jäsenmaat saivat antaa omia kansallisesti valittavia arvojaan. Vuosina 2002 – 2007 julkaistiin varsinaiset EN-standardit. Eurokoodeissa esitellään kansallisesti määrättäville parametreille suositusarvoja, mutta jäsenmaat voivat antaa omia arvojaan kansallisessa liitteessä. Suomessa eurokoodit julkaisee Suomen Standardoimisliitto SFS ry ja ilmajohtojen kannalta niistä oleellisimpia ovat teräs- ja betonirakenteisiin sekä rakenteiden kuormiin liittyvät koodit. (SFS ry 2014.)

## 2.7 Lait ja asetukset

Suomessa ilmajohtojen rakentamisessa tulee ottaa huomioon eurooppalaisen standardin lisäksi myös seuraavat lait ja asetukset:

- sähköturvallisuuslaki (1135/2016)
- sähköturvallisuusasetus (498/1996)
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen turvallisuudesta (1193/1999)
- Lunastuslaki 603/1977
- luonnonsuojelulaki ja -asetus 1096/1996 ja 160/1997
- muinaismuistolaki 17.6.1963/295
- Suurjännitesähköasennukset SFS 6001 ja Sähkötyöturvallisuus SFS 6002
- Viestintäviraston määräys M43 tietoliikenneverkon sähköisestä suojaamisesta
- Liikenteen turvallisuusviraston määräys AGA M3-6, Lentoesterajoitukset ja lentoesteiden merkitseminen
- Liikenneviraston ohje 23/2014, Ilmajohtojen sekä kaapeleiden ja putkijohtojen asettaminen ja merkitseminen vesialueella.

Nämä lait ja asetukset ovat hyvin yleisluontoisia ja tulkitsevat voimajohdot joko sähkölaitteistona, sen jännitteisinä osina tai sitten lentokoneiden, veneiden ja laivojen kohtaamina esteinä.

Ruotsissa kansalliset velvoittavat lait tai säädökset ovat seuraavat:

- ELSÄK-FS 2008:1, Ruotsin kansallisen sähköturvallisuusviraston määräykset sähköasennusten suunnittelusta ja pystytyksestä
- ELSÄK-FS 2008:3, Ruotsin kansallisen sähköturvallisuusviraston määräykset sähköasennusten valvonnasta ja kunnossapidosta
- SFS 2009:22, Ruotsin hallituksen määräys sähköasennuksista
- BFS 2011:10 – EKS, Ruotsin kansallisen rakentamisen neuvoston julkaisu Eurokoodien pakollisista määräyksistä ja niiden soveltamisesta.

Sähköturvallisuusviraston julkaisuissa ELSÄK-FS määritellään sähköön liittyviä vastuita ja vaatimuksia niin kunnossapidon kuin jossain määrin komponenttien ominaisuuksien suhteen. Maan hallituksen asetuksessa SFS 2009:22 käsitellään voimajohdon omistajan vastuita rakennusvaiheessa niin maalla kuin vesialueellakin.

Kansallisen rakentamisen neuvoston julkaisu BFS 2011:10 täydentää Eurokoodeja ja liitteissä on rakennuksiin ja rakenteisiin liittyviä määräyksiä ja arvoja. Kuten Suomessakin, nämä liittyvät voimajohtojen suunnitteluun lähinnä perustusten ja teräsrakenteiden osalta. Lumikuormat, tuuliolosuhteet ja vastaavat käsitellään erikseen ilmajohtostandardin kansallisissa määräyksissä.

## 2.8 Sähköverkkojen tulevaisuus

EU:n ilmastopolitiikan asettamat haasteet tarkoittavat sitä, että sähköverkkoihin, sähkömarkkina- ja energiahallintajärjestelmiin kohdistuu jatkossa muutos- ja kehityspaineita. Olemassa olevia verkkoja tulee laajentaa ja vahvistaa sekä kehittää jakeluverkkojen käyttövarmuutta ja suojausta. Valtioiden välistä siirtokapasiteettia on myös pystyttävä



nostamaan, sillä käytössä olevat verkot on suunniteltu kansallisten tarpeiden mukaan. On myös esitetty Euroopan laajuista yhteisverkkoa, johon voitaisiin liittää esimerkiksi merellä sijaitsevat tuulipuistot. (Elovaara & Haarla 2011b, 511.)

Sähkön merkitys tulee jatkossa kasvamaan jo kotien sähkölaitteiden lisääntymisen, mutta myös sähkökäyttöisten kulkuvälineiden määrän kasvamisen vuoksi. Tulevaisuuden sähköverkoissa on siis pystyttävä nykyistä suurempaan sähkötehon siirtoon ja verkkoja on myös pystyttävä käyttämään kovemalla teholla. (Elovaara & Haarla 2011b, 512.)

### 3 ILMAJOHTOJA KÄSITTELEVÄ NORMI EN 50341

CENELECin ilmajohtoja käsittelevä normi EN 50341 julkaistiin lokakuussa 2001 korvaamaan vanhat kansalliset standardit. Alun perin normi käsitteli vain yli 45 kV:n ilmajohdot, mutta vuonna 2012 siihen yhdistettiin myös pien- ja keskijännitejohdot. Nykyään normi kattaa kaikki vaihtosähköiset ilmajohdot yli 1kV:n jännitteillä.

Normin periaatteena on yhdistää kaikkien Euroopan maiden sähkönsiirtoverkkojen suunnittelunormit. Maakohtaiset poikkeamat eritellään kunkin maan omassa liitteessä. Nämä liitteet sisältävät A-poikkeamia, jotka perustuvat esimerkiksi kansalliseen lainsäädäntöön sekä kansallisia erikoisehtoja, jotka perustuvat esimerkiksi ilmastollisiin ja maastollisiin olosuhteisiin. (Juvani 2002, 2.)

EN 50341 -normi sisältää kaksi osaa: osassa yksi ovat yleiset vaatimukset ja yhteiset määrittelyt ja osassa kaksi kyseisen maan kansalliset velvoittavat määrittelyt. Osa kaksi on luettava yhdessä osan yksi kanssa. Mikäli kansallisissa määrittelyissä ei ole viitattu johonkin tiettyyn alakohtaan, pätee osan yksi määrittely.

Standardia ei sovelleta ilmajohtoihin, jotka sijaitsevat suljettujen sähköalueiden sisällä, sillä nämä on määritetty EN 61936-1 -standardissa. Suomessa käytetään sähköasemien ja teollisuusalueiden sisäiseen verkkoon standardia SFS 6001. Myöskään sähkörautateiden syöttöjohtojärjestelmien suunnittelu jää tämän standardin ulkopuolelle, ellei erityisesti ole toisessa standardissa vaadittu käytettävän.

#### 3.1 Standardin rakenne

Standardissa luetellaan ensin velvoittavat viittaukset, määrittelyt ja merkinnät ja esitetään sen jälkeen standardin mukaiset suunnitteluperusteet. Tämän jälkeen määritellään yleiset vaatimukset, jotka on täytettävä rakenne- ja sähkösuunnittelussa yleisen turvallisuuden,

rakentamisen, käytön, kunnossapidon ja ympäristöön liittyvien seikkojen suhteen.

Standardissa käsitellään myös rakenteellisia ja sähköisiä vaatimuksia ilmajohdon osien kuten pylväiden, perustuksien, johtimien, eristinketjujen ja varusteiden suunnittelussa, asennuksessa ja testauksessa. Samalla esitetään asiaankuuluvat mitoitusparametrit. Lopuksi käsitellään suunnittelun, valmistuksen ja rakentamisen aikaisia laadullisia vaatimuksia.

### 3.2 Standardin liitteet

CENELEC on koostanut standardin liitteisiin sekä opastavia että velvoittavia esimerkkejä, menetelmiä, ohjeita ja vaatimuksia. Liitteet sisältävät hyvin yksityiskohtaisia mallilaskelmia ja piirustuksia mitoittamisen helpottamiseksi.

### 3.3 Kansalliset velvoittavat määrittelyt

Eurooppalaisen standardin EN 50341-1 kansalliset erityismääräykset käsitellään erillisissä standardeissa, jotka ovat velvoittavia kyseiseen maahan ja opastavia muille maille. Suomen kansalliset velvoittavat määrittelyt kerrotaan standardissa EN 50341-2-7:2015 ja Ruotsin vastaavat standardissa EN 50341-2-18:2016.

Seuraavassa luvussa käsitellään näiden kahden standardin erot verrattuna varsinaiseen standardiin sekä toisiinsa mukailen standardin jaottelua. Mikäli erikseen ei mainita, pätevät samat arvot tai menetelmät molempiin maihin.

## 4 SUUNNITTELUPERUSTEET

### 4.1 Ilmajohtojen vaatimukset

Johtojen nimellisjännitteeseen ja tärkeyteen perustuvat luotettavuustasot Suomessa on määritelty taulukossa 1. Vaadittu taso on esitettävä projektispesifikaatiossa.

TAULUKKO 1. Ilmajohtojen luotettavuustasot Suomessa (SFS-EN 50341-2-7:2015)

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	<i>kaikki</i>	Erittäin tärkeät johdot, esim. kaikki 400 kV johdot

Yli 45 kV johdon kulma-, kiristys- ja päätepylväillä on pylvään osien kestävyden osavarmuusluku  $\gamma_M$  kerrottava muilla kuin asennuskuormituksilla lisäkertoimella  $\gamma_S = 1,1$ . Näissä tapauksissa mitoituksen peruskaavassa  $E_d \leq R_d$  rakenteellista kestävyttä kuvaavan termin  $R_d$  määrittämisessä lasketaan materiaaliominaisuuksien mitoitusarvo  $X_d$  kaavasta  $X_d = \frac{X_K}{\gamma_M \gamma_S}$ , jossa  $X_K$  on materiaaliominaisuuden ominaisarvo.

Perustusten tulee olla 10 % pylvästä kestävämpiä, joten pylväältä perustuksille tulevat kuormat kerrotaan kertoimella (x1,1). Yli 45 kV johtojen kulma-, kiristys- ja päätepylväillä kuormat on lisäksi kerrottava muilla kuin asennuskuormituksilla lisäkertoimella (x1,1), jolloin kokonaiskertoimeksi tulee (x1,21). Vaihtoehtoisesti voidaan perustusten lujuuskoordinaatio kohdistaa materiaalien kestävyyksien ja ominaisuuksien osavarmuuslukuihin samoilla kertoimilla.

Ruotsin voimajohtojen luotettavuusluokat esitetään taulukossa 5. Luokkaan A kuuluvat johdot, joita käytetään välittämään sähköä koko maahan, erityiset johdot sekä johdot, jotka on muuten määritelty luotettavuudeltaan tärkeimmiksi. Luokkajako voi olla muutettavissa

erikoistapauksissa, mutta Luokan B vaatimukset ovat minimivaatimukset kaikille johdoille.

Erityisen tärkeät johdot jaetaan myös kahteen erilliseen luokkaan. Luokkaan 1 kuuluvat johdot, jotka kokemukseen perustuvien oletusten mukaan laskettuna eivät aiheuta vahinkoa linjan toimintaan tai uhkaa henkilöille eikä omaisuudelle. Voimajohdot, jotka on suunniteltu kaupunkialueille ja joiden jännite on 1 – 25 kV, kuuluvat luokkaan 2. Näissä tulee olla tehokas maadoitus ja kaatuvien puiden riski tulee olla otettu huomioon suunnittelussa.

TAULUKKO 2. Ilmajohdojen luotettavuustasot Ruotsissa (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Taso	Nimellisjännite	Johdon tyyppi
1	<i>kaikki</i>	Luokan B johdot
2	<i>kaikki</i>	Luokan A johdot
	<i>kaikki</i>	Erityiset johdot, luokka 1
	$U_n = 1 - 25kV$	Erityiset johdot, luokka 2

#### 4.2 Mitoitusarvot

Kuorman mitoitusarvo  $F_d$  esitetään yleisesti kaavan 1 mukaisesti.

$$F_d = \gamma_F \times F_K \quad (1)$$

Kuorman ominaisarvo  $F_K$  on sen perusarvo, jota käytetään rajatilatarkasteluissa. Ruotsissa kuormituksen osavarmuusluku  $\gamma_F$  vaikuttaa vain laskettaessa todellisen johtimen jännityksen ja paljaan johtimen jännityksen ero lämpötilassa 0 °C. Jää- ja tuulikuormien laskemisessa osavarmuuslukua ei huomioida.

Pysyvien, muuttuvien ja satunnaisien kuormien vaikutuksen lopullinen mitoitusarvo lasketaan kaikissa tapauksissa kaavasta 2.

$$E_d = \sum \gamma_G \times G_K + \sum \gamma_Q \times Q_{nK} \quad (2)$$

Suomen standardissa ei esitetä erityisvaatimuksia mitoitusarvojen suhteen.

#### 4.3 Yhteenveto

Suuria eroja ei Suomen ja Ruotsin välillä suunnitteluperusteissa ole, tasoluokitukset on määritelty eri tavalla, joten niiden kanssa tulee olla tarkkaavainen.

## 5 JOHTOJEN KUORMITUKSET

### 5.1 Tuulikuormat

Perustuulennopeutta  $V_{b,0} = 21 \text{ m/s}$  käytetään kaikilla alueilla Suomessa. Muita arvoja voidaan käyttää, mikäli ne perustuvat paikallisiin olosuhteisiin ja luotettaviin tilastoihin. Nämä arvot on esitettävä projektispesifikaatiossa.

Suomen maastoluokat on esitetty taulukossa 3. Tyypillinen suomalainen sisämaan kumpuileva metsämaasto käsitetään luokkaan III. Mikäli mahdolliset hakkuut tai myrskyt voivat vaikuttaa tähän otaksumaan, tulee soveltaa luokkia II tai II+. Tunturialueilla tulisi soveltaa luokkaa II, ellei projektispesifikaatiossa ole toisin määritelty.

TAULUKKO 3. Maastoluokat, karheuden pituus  $z_0$  ja maastokerroin  $k_r$  (SFS-EN 50341-2-7:2015)

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 ja 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

Mikäli yksittäisen kukkulan tai harjanteen kaltevuus ylittää 5% ja sen korkeus ympäröivään tasamaahan nähden on yli 10 m, on maaston muodon vaikutus otettava huomioon. Maastoluokka ja paikallinen tuulennopeus voivat riippua tuulen suunnasta. Tarvittaessa arvioinnissa voi käyttää ilmatieteen asiantuntijoita.

Tuulenpainetta laskettaessa on otettava huomioon lämpötilan ja meren pinnasta mitatun korkeustason vaikutukset ilman tiheyteen. Perustilassa lämpötila on 0 °C ja ilman tiheys merenpinnan tasolla 1,292 kg/m<sup>3</sup>.

Ruotsissa käytetään johtimien kuormitusten laskemiseen menetelmää 3 eli tietoja, jotka on kalibroitu pitkän ja tuloksellisen ilmajohtojen suunnitteluhistorian aikana. Puuskatuulenpaineelle  $q_p(h)$  on määritetty arvot, jotka riippuvat korkeudesta maan pinnasta ja tuulioloista. Arvot esitetään taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Puuskatuulenpaineen  $q_p(h)$  arvot Ruotsissa (SFS-EN 50341-2-18:2016)

<b>Normaalit tuuliolot [N/m<sup>2</sup>]</b>	
$h \leq 25 \text{ m}$	$q_p(h) = 500$
$h > 25 \text{ m}$	$q_p(h) = 500 + 6 \times (h - 25)$
<b>Äärimmäiset tuuliolot [N/m<sup>2</sup>]</b>	
$h \leq 10 \text{ m}$	$q_p(h) = 800$
$h > 10 \text{ m}$	$q_p(h) = 800 + 6 \times (h - 10)$

## 5.2 Johtimien tuulikuormat

Molemmissa maissa johtimen tehollisena korkeutena käytetään sen painopisteen korkeutta, Ruotsissa myös muut menetelmät vertailukorkeuden määrittämiseen ovat mahdollisia laskelmien yksinkertaistamista varten. Mekaanisten johtimien jännityksen laskemiseen voidaan käyttää vertailukorkeutta 25 m, mikäli mitään muuta arvoa ei pidetä sopivampana.

Suomessa epätasaisissa maastoissa, tai mikäli projekti-specifikaatioissa niin määrätään, on korkeutena käytettävä johtimen kiinnityspistettä eristimessä. Riippuma- ja jännityslaskelmissa käytetään kunkin kiristysvälin keskikorkeutta. Mikäli kaikkien vaihe- ja ukkosjohtimien korkeuksille käytetään samaa vakioarvoa, lasketaan se ylimmän vaihejohtimen korkeuden mukaan.

Laskelmissa käytettävä jänteen pituus riippuu siitä, lasketaanko riippumaa, jännitystä vai kuorma-analyysia. Riippuma- ja jännityslaskelmissa käytetään jänteen pituutena ekvivalenttijännettä, pylvään kuorma-analyysissa puolestaan kyseisen pylvään vierekkäisten jänteiden keskipituutta.



Vaihe- tai ukkosjohtimen vastuskerroin on jokaiselle osajohtimelle 1,0.

### 5.3 Eristimien tuulikuormat

Suomen standardissa eristimen tuulikuorma lasketaan varsinaisen standardin mukaisesti kaavalla 3 käyttämällä siinä mainittuja suositusarvoja.

$$Q_{Wins} = q_p(h) \times G_{ins} \times C_{ins} \times A_{ins} \quad (3)$$

Eristinketjun projisoitu pinta-ala lasketaan kaavalla  $A_{ins} = L \times D \times \sin\alpha$ , jossa  $L$ = eristinketjun tehollinen pituus,  $D$ = eristinyksikön ulkohalkaisija ja  $\alpha$ = eristimen ja tuulen suuntien välinen kulma kuormitettuna. Viimeisessä kohdassa voidaan käyttää myös konservatiivista arvoa  $\alpha=90^\circ$ .

Ruotsissa voidaan kaavaa 3 yksinkertaistaa siten, että kaavan loppuosa  $G_{ins} \times C_{ins} \times A_{ins} = 0,16 \times L_{ins}$ , jolloin eristimien tuulikuormat voidaan laskea kaavalla 4.

$$Q_{Wins} = q_p(h) \times 0,16 \times L_{ins} \quad (4)$$

### 5.4 Ristikko- ja putkipylväiden tuulikuormat

Suomessa tuulikuormat niin ristikko- kuin putkipylväillä on laskettava jakamalla pylväs osiin eli käytetään varsinaisessa standardissa mainittua menetelmää 1, Ruotsissa voidaan myös tarkistella kutakin yksittäistä sauvaa erikseen. Rakenteellinen kerroin niin pylvään rungolle kuin orsille on 1,0. Mikäli ristikkopylväs on poikkileikkaukseltaan kolmiomainen tai sen sauvoissa on erilaisia profiilimuotoja, kuten putkipaarteita tai kulmatankovinositeitä, vastuskertoimet määritetään standardin SFS-EN 1993-3-1 mukaan.

Ruotsin standardin mukaiset vastuskertoimien määritykset esitetään taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Ristikopylväiden osien vastuskertoimet Ruotsissa (SFS-EN 50341-2-18:2016)

suorakulmainen poikkileikkaus, litteät sivut	$C_t = 3,95 - 5,79 \times \chi + 3,86 \times \chi^2$
suorakulmainen poikkileikkaus, lieriömäiset sivut	$C_t = 2,30 - 3,24 \times \chi + 2,94 \times \chi^2$
kolmiomainen poikkileikkaus, litteät sivut	$C_t = 3,40 - 4,71 \times \chi + 3,37 \times \chi^2$
kolmiomainen poikkileikkaus, lieriömäiset sivut	$C_t = 1,95 - 2,68 \times \chi + 2,76 \times \chi^2$

$\chi$  on ristikko-orren eheysaste, joka saadaan kaavasta 5.

$$\chi = A_t \times \frac{2}{h(b_1 + b_2)} \quad (5)$$

Tarkasteltaessa jokaista sauvaa erikseen, vastuskerroin  $C_m$  on 1,6 litteäsivuisille sauvoille ja 1,0 lieriömäisille sauvoille.

### 5.5 Jääkuormat

Suomessa johtimen ominaisjääkuorma riippuu suhteellisesta korkeudesta, joka määritellään johtimen ja tarkastelupaikasta 10 km säteellä olevan ympäröivän maaston keskimääräisen tason korkeuserona. Mikäli tiedossa on suurempia pitkäaikaisiin tilastoihin tai kokemukseen perustuvia parametrien arvoja, on niitä käytettävä tai ne on esitettävä projektispesifikaatiossa.

Johtimien jääkuormaparametrien arvoja esitetään taulukossa 6. Luokissa II ja III käytetään lineaarisella interpolaatiolla laskettuja väliarvoja. Samalla kiristysvälillä olevien jänteiden johdinjännitysten määrittämisessä käytetään korkeudeltaan ylimpänä olevan jänteen keskikorkeuden mukaista jääkuorman arvoa. Jäätymisloukan IV jääkuormaparametrien arviointi tulisi antaa ilmatieteen asiantuntijoiden tehtäväksi. Rakenteiden ja eristimien

jääkuormia ei tarvitse ottaa huomioon, ellei projektispesifikaatiossa ole toisin määrätty.

TAULUKKO 6. Johtimien jääkuormat Suomessa (SFS-EN 50341-2-7:2015)

Jäätymislukka	Suhteellinen korkeus [m]	Ominais-jääkuorma $I_{50}$ [N/m]	Tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	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

Ruotsissa jääkuormat lasketaan ilmajohdon luokan ja tuuliolojen mukaan. Mikäli on oletettavissa, että jääkuorma voisi olla suurempi, tulee harkita annettuja suurempien arvojen käyttöä. Taulukossa 7 esitetään laskennassa käytettävät kaavat, joissa  $d$ = johtimen halkaisija (mm),  $g_e$ = johtimen paino (kg/m) ja  $g_{wi}$ = normaali tuulikuorma johtimella, joka on jääpäälysteinen. Tuulettoman tilanteen jääkuorma  $I_0$  tulee olla arvoltaan vähintään 20 N/m.

TAULUKKO 7. Johtimien jääkuormat Ruotsissa (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Luokka A, normaali tuuli	$I = \pi \times 2,916 + \pi \times 0,162 \times d$
Luokka B, normaali tuuli	$I = \pi \times 0,441 + \pi \times 0,063 \times d$
Molemmat luokat, ei tuulta	$I_0 = \sqrt{(I + g_e \times 9,81)^2 + g_{wi}^2} - g_e \times 9,81$

Tuulikuorman vaikutusta jäätyneeseen johtimeen tutkittaessa, tulee määrittää kolme muuttujaa:

- tuulenopeus ajanjaksona, jolloin johdin on jäätyneenä
- jääkerroksen massa
- jääkerroksen muoto eli ekvivalentti halkaisija ja vastaava vastuskerroin.

Ruotsin kansallisessa standardissa jään tiheydeksi on määritetty 917,4 kg/m<sup>3</sup>, varsinaisen ilmajohtostandardin 900 kg/m<sup>3</sup>:n sijaan. Jäätyneen

johtimen ekvivalentti halkaisijaa määritettäessä jään paksuus on normaaleissa tuulioloissa 18 mm luokalla A, 7 mm luokalla B ja 10 mm eristetyillä kaapeleilla. Tuulen pinta-alaa laskettaessa tulee tuo luku kaksinkertaistaa. Päälystetyillä johtimilla johtimen koko pinta-ala tulee ottaa huomioon laskuissa.

## 5.6 Lämpötilavaikutukset

Johtimien määrittämisessä perustila on tyyni sää ilman jäätä lämpötilassa 0 °C. Minimilämpötilat  $T_{min}$  [°C] on määritetty vastaamaan asianomaista aluetta ja kyseessä olevaan luotettavuustasoon liittyvää toistumisaikaa. Suomen osalta ne on esitetty taulukossa 8, Ruotsin lämpötilat löytyvät kuvasta 23. Sovellettava alue ja mahdolliset poikkeukset taulukon arvoista on määritettävä projektiläpötilaspesifikaatiossa.

TAULUKKO 8. Minimilämpötilat  $T_{min}$  [°C] Suomessa (SFS-EN 50341-2-7:2015)

Lämpötila- alue	Luotettavuustaso			3 vuoden arvo
	1	2	3	
Etelä-Suomi	-40	-45	-50	-30
Keski-Suomi	-45	-50	-55	-36
Pohjois-Suomi	-50	-55	-60	-42

## 5.7 Varmuuskuormat

Varmuuskuormituksia määritettäessä oletetaan kaikkien johtimien olevan paikoillaan ja ettei mahdollinen niveluloke ole kallistunut johdon suunnassa jolloin poikittais- ja pystyvoimat ovat samat kuin perustilassa. Nimellisjännitteeltään enintään 45 kV johdoilla varmuuskuormia tarvitsee soveltaa vain, jos projektiläpötilaspesifikaatiossa on niin vaadittu.

### 5.7.1 Varmuuskuormien määrittäminen Suomessa

Johdon suuntaisen varmuuskuorman arvo on minkä tahansa vaihejohtimen yhden osajohtimen tai ukkosjohtimen voima perustilassa.

Voiman vaikutuspiste on eristimen kiinnityspiste rakenteessa. Mikäli muissa kuormitustapauksissa kuin varmuuskuormituksissa esiintyy pitkittäiskuormia, sijoitetaan nämä oikeisiin paikkoihin johtimien kiinnityspisteisiin.

Eristimet ja nivelöidyt ulokkeet oletetaan tilanteen mukaisesti kallistuneiksi johdon suunnassa pitkittäisvoiman vaikutuksesta. Mikäli samaan aikaan esiintyy poikittaisvoimakomponentti, voi etenkin kulmapylväillä ilmetä merkittäviä taivutukseen ja vääntöön liittyviä lisävaikutuksia.

Mikäli projektispesifikaatiossa määritetään, voidaan kannatuspylväiden olettaa toimivan myös sarjasortumaa estävinä pylväinä.

#### 5.7.2 Varmuuskuormien määrittäminen Ruotsissa

Ruotsin kansallisessa liitteessä annetaan kaksi tapaa määrittää varmuuskuormat. Suunnittelija voi näistä valita paremmin tilanteeseen sopivan.

Perusoletuksessa kiinteästi asennettuun johtimeen, ukkosköyteen tai niihin liittyviin rakenteisiin käytetään reduktiokerrointa 0,4 huomioimaan vaakasuorat johdinvoimat yhdeltä suunnalta normaalissa jäätilanteessa ja tyynessä säässä johtimen lämpötilalla 0 °C. Kannatuspylväillä reduktiokerroin on 0,7.

Toisessa tavassa redusoidaan johtimen jännitys 100 % joko johtimelle tai ukkosköydelle kaikkein epäsuotuisimmassa asennossa, jäätömässä ja tyynessä säässä, johtimen lämpötilalla 0 °C. Määritettäessä staattista jäännöskuormaa, voidaan olettaa muissa tilanteissa paitsi risteämissä, että vierekkäiset jänteet ovat yhteneviä voimajohdon pääjanteen kanssa. Staattista jäännöskuormaa asetettaessa ei muita osatekijöitä oteta huomioon.

Kun jäännöskuorma on määritetty, sitä kasvatetaan lisäämällä osatekijät kuormitustapausten mukaisesti. Eristimien heilunnasta, tukien

kiertymisestä tai toisten johtimien yhteisvaikutuksesta johtuvat vähennykset voidaan myös tehdä. Nipussa oleville johtimille redusointi on vaikuttaa kaikille johtimille.

#### 5.8 Turvallisuuteen liittyvät kuormat

Kannatuspylväillä, joita käytetään asennuksen yhteydessä johtimien ankkurointiin, ei saa olla johtimien kaltevuus yli 25 %. Pylväs on näissä tapauksissa mitoitettava johtimien kiinnityspisteisiin sijoitettaville lisäkuormille, jotka ovat 1/3 johdinvoimien mitoitussarvoista.

Harustetuilla kiristyspylväillä voidaan käyttää tilapäistä harustusta lieventämään epätasaisten kuormien vaikutuksia johtimien asennuksen aikana. Lieventävää vaikutusta lujuuteen ei kuitenkaan saa hyödyntää enempää kuin 25% verrattuna ilman tilapäisiä haruksia olevaan tilanteeseen. Pylvään tulee kestää asennustöiden päättymisen jälkeisen tilanteen lopulliset asennusmitoituskormat sen jälkeen, kun kaikki johtimet ovat paikoillaan ja tilapäiset harukset poistettu. Lisävaatimuksia voidaan antaa projektispesifikaatiossa.

Kaikki oleelliset johtimien asennukseen liittyvät tilanteet on otettava huomioon kiristyspylväitä mitoitettaessa. Yksikään tuki ei saa myöskään aiheuttaa pysyvää muutosta rakentamisen tai kunnossapidon aikana.

#### 5.9 Kuormitustapaukset

Kuormien osavarmuusluvut ja yhdistelmäkerroimet on sijoitettava kuormiin ennen johtimien jännitysanalyysia. Johdinta käsitellään laskelmissa köysikäyränä ja laskelmat on tehtävä joko johdinvalmistajan antamien parametrien mukaista epälineaarista jännitys-venymäkäyrää tai lineaarista, johtimen kimmokerroimen alku- ja loppuarvoihin perustuvaa menetelmää käyttäen.

Yleensä riippuma- ja jännityslaskelmat tehdään kullekin kuormitustapaukselle käyttäen ekvivalenttijännemenetelmää. Laskelmien

tulee perustua perustilaan sen jälkeen, kun viruman kompensoimiseksi asetettu ylikireys on poistunut. Nimellisjännitteeltään yli 45 kV johtojen ukkosjohtimilla sekä tukieristimiin kiinnitetyillä vaihejohtimilla käytetään ekvivalenttijänteenä todellista jännepituutta.

Suuret jännepituuden vaihtelut aiheuttavat johdinjännitysten vaihtelua jänteestä toiseen ja siten myös pitkittäisvoimia. Mitä lyhyempi eristinketju on, sitä suurempi on kyseisen vaihtelun merkitys. Vaihtelu on usein merkittävää ukkosjohtimilla niiden lyhyistä pidikkeistä johtuen sekä kuormitustapauksissa, joihin sisältyy jääkuormaa. Mikäli vierekkäisten jänneiden pituuksien suhde on tarpeeksi suuri, voivat myös muut kuormitustapaukset aiheuttaa pitkittäisvoimia, jotka tulee ottaa huomioon pylväskuormissa. Tällöin tulee kannatuspylväiden kuormien laskennassa laskea vaihejohtimien jännitykset käyttäen kiristysvälin kokonaistarkastelua, jossa otetaan huomioon riittävä määrä jäniteitä tarkasteltavan pylvään molemmin puolin.

Johtimien harustavaa vaikutusta ei saa ottaa huomioon varmuuskuormilla mitoitettaessa jääkuormia sisältävien luotettavuusluokkien johtojen pylväitä.

### 5.9.1 Standardikuormitustapaukset Suomessa

Kuormitustapaukset, kuormien osavarmuusluvut ja lämpötilat on esitetty taulukossa 9. Eri pylvästyypeille sovelletaan kuormitustapauksia seuraavasti:

- Kannatuspylväille kuormitustapaukset sovelletaan taulukon mukaisesti, erikoisjääkuormat 2b-e vain jäätymisluokissa III ja IV.
- Kiristyspylväille tapaukset käsitellään kuten kannatuspylväellä, mutta asennuskuormat kaikille tapauksille mahdollisen tilapäisharustuksen kanssa ja ilman sitä. Asennettaessa johtimia jäniteisiin pylvään eri puolilla on toispuoleisissa tapauksissa tarkasteltava pylvään kannalta epäedullisinta tilannetta.

- Sarjasortumia estävät pylvääät menevät samoin kuin kannatuspylvääät, mutta varmuuskuormituksessa tulee laskea satunnainen kuorma, jossa yhden jänteen kaikki johtimet ovat irti. Muille johtimille käytetään perustilan johdinvoimia.
- Päätepylvääät tai -telineet ovat samankaltaisia kuin kannatuspylvääät, asennuskuormituksissa huomioitava toispuoleinen asennuskuormitus, jossa kaikki johtimet on asennettu vain yhdelle puolelle pylvästä.
- Kaikki askelmat on suunniteltava pistemäiselle 1,0 kN ominaiskuormalle rakenteellisesti epäedulliseen kohtaan.

TAULUKKO 9. Kuormitustapaukset, lämpötilat, yhdistelmäkerroimet ja osavarmuusluvut (SFS-EN 50341-2-7:2015)

No	Kuormitustapaus	L-tila	Tuuli	Jää	Taso 1		Taso 2		Taso 3	
		°C	$\Psi_w$	$\Psi_i$	$\gamma_w$	$\gamma_i$	$\gamma_w$	$\gamma_i$	$\gamma_w$	$\gamma_i$
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		$\alpha_i$	1,0					
2c*	Toispuolinen jää, pitkittäinen taivutus	0		$\alpha_i$	1,0					
2d*	Toispuolinen jää, vääntötaivutus	0		$\alpha_i$	1,0					
2e*	Irronnut jää yhdessä jänteessä	0		0,7	1,0					
3a	Huippujää + nimellistuuli	0	0,4	1,0	1,0					
3b	Kovatuuli + nimellisjää	0	0,7	0,35	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								

Huipputuulella tarkoitetaan perustuulennopeuteen perustuvaa, 50 vuoden toistumisaikaa vastaavaa tuulikuormaa, joka sisältää puuskan, maaston, korkeuden ja lämpötilan vaikutukset. Kova tuuli on huipputuuli kerrottuna kertoimella (x0,70), nimellistuuli puolestaan on huipputuuli kerrottuna kertoimella (x0,40).



Huippujää on laskennallinen 50 vuoden toistumisajan jääkuorma eli ominaisjääkuorma  $I_{50}$ , joka on esitetty taulukossa 6 aiemmin tässä luvussa. Huippujää yhdistettynä lumeen liittyy jään muodostumisen alkuvaiheeseen, jolloin jään ja lumen määrä ei ole ehtinyt pienentyä tuulen tai muun syyn takia. Kerroin  $\Psi_I (1,0 \leq \Psi_I \leq 3,0)$  tulee esittää projektispesifikaatiossa ottaen huomioon johdintyyppi ja paikalliset olosuhteet. Jos kerrointa ei ole annettu, on käytettävä arvoa  $\Psi_I = 1,5$ , mutta kuitenkin siten, että jääkuorman lopullinen muuttettu arvo  $\Psi_I I_{50}$  on vähintään 20 N/m. Tapaukset 2b-e on tarkistettava vain jäätymislukissa III-IV tai mikäli projektispesifikaatiossa niin vaaditaan.

Toispuoleisen jään tapauksissa on johtimen jääkuorman pienennyskertoimena käytettävä  $\alpha$ -kertoimia  $\alpha = 0,50$ ;  $\alpha_1 = 0,35$ ;  $\alpha_2 = 0,70$ ;  $\alpha_3 = 0,35$  ja  $\alpha_4 = 0,70$ . Irronneen jään tapauksessa pienennetty jääkuorma sijoitetaan vaihe- ja ukkosjohtimen kaikkiin muihin jänteisiin paitsi yhteen vaihe- tai ukkosjohtimen jänteeseen, joka on jäätön.

Niissä kuormitustapauksissa, joissa tuuli on mukana, tulee tarkastella mitoituksen kannalta pahimpia tuulen suuntia. Tämä koskee myös tapauksia, joissa on yhdistetty tuuli ja jää. Yleensä riittää, että tarkastellaan  $0, \pm 20$  ja  $\pm 45$  asteen suuntaisia tuulia, jossa kulmat ovat poikkeamia johtoa vastaan kohtisuorasta suunnasta. Mikäli muiden tuulen suuntien oletetaan vaikuttavan pylvään mitoitukseen, tulee myös ne tarkastella. Tapauksissa, joissa johdon yleistä suuntaa ei voida selvästi määrittää, on johtimien jännitysten laskennassa käytettävä kohtisuoraa tuulen suuntaa kaikissa kuormitustapauksissa.

Asennus- ja kunnossapitokuormissa voidaan projektispesifikaatiossa sallia korkeampiakin johtimen lämpötiloja, muttei kuitenkaan yli  $0^\circ\text{C}$ , mikäli työt tehdään lämpimänä ajankohtana. Poikkeamat on kirjattava suunnitteluasiakirjoihin ja piirustuksiin myöhemmin mahdollisesti tehtävien asennus- tai purkutöiden varalta.

## 5.9.2 Standardikuormitustapaukset Ruotsissa

Ruotsin standardissa määritellyt standardikuormitustapaukset ja laskettavat painot esitetään taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Standardikuormitustapaukset Ruotsissa

Tapaus		Suorat ja kulmapylväät	Päätepylväät	Puupylväiden käytönrajat	Eristetyt ilmajohdot
1a	Tuulikuormat	a)	a), f)	-	-
2a	Yhdenmukaiset jääkuormat kaikissa jänteissä	a)	a), g)	a), i)	-
2b	Yhdenmukaiset jääkuormat, poikittainen taivutus	-			
2c	Toispuoliset jääkuormat, vääntötaivutus	-			
2d	Toispuoliset jääkuormat, vääntötaivutus	-			
3	Yhdistetyt tuuli- ja jääkuormat	a), b)	a), b), h)	a), b), f)	a), b), f)
4	Minimilämpötila tuulella / ilman tuulta	-			
5a	Varmuuskuormat, vääntökuormat	a), c)	a), i)	-	-
5b	Varmuuskuormat, johdon suuntaiset kuormat	*	*	a), j)	-
6	Rakentamisen ja kunnossapidon aikaiset kuormat	d)			
6b	Asentajien aiheuttamat kuormat	e)			

Kohtia a) – j) sovelletaan taulukon 13 mukaisesti:

- a) Johtimen oma paino.
- b) Jääkuorma normaaleissa tuulioloissa.
- c) Yhtenäinen jääkuorma tuulettomissa olosuhteissa, toisen puolen johtimien jännitys redusoitu. Redusointi oletetaan ilmenevän vain yhdelle johtimelle huolimatta siitä, kuinka monta virtapiiriä pylväässä on tai kuinka monta johdinta on vaiheessa.
- d) Kohdan 5.8 (Turvallisuuteen liittyvät kuormat) vaatimukset tulee täyttyä.
- e) Pylväissä tulee huomioida lisäksi kaikkein epäsuotuisimmassa kohdassa pystysuora kuorma  $Q_k$  suuruudelta 1000 N, joka vastaa

asentajan painoa. Tätä kuormaa ei vaadita sellaisissa rakenteissa, joihin ei voi kiivetä.

- f) Tuulikuorma johtimissa ja varustetuissa rakenteissa.
- g) Toisen puolen johtimien jännitys. Päätepylväisiin lasketaan johtimen jännitykset kaikista johtimista. On myös suositeltavaa laskea yhden puolen johtimien jännitykset sähköaseman ja päätepylvään välillä.
- h) Johtimien jännitykset kaikista johtimista tai toisen puolen johtimista, riippuen siitä kumpi antaa suuremman rasituksen.
- i) Yhdenmukainen jääkuorma tuulettomassa tilassa. Lisäksi luokan A linjoilla johtimien jännitykset redusoidaan kohdan 5.7 mukaisesti kaikkien johdinten ja luokan B linjoilla yhden johtimen osalta.
- j) Toisen puolen johtimien jännitys täysin redusoitu kaikkien johtimien osalta.

### 5.9.3 Osavarmuusluvut Ruotsin standardissa

Kuormat, joihin standardikuormitustapauksissa viitataan, ovat luonteenomaisia arvoja ja ne tulee kertoa osavarmuusluvuilla  $\gamma_G$  ja  $\gamma_Q$ . Jokainen kuormitustapaus jaetaan kahteen kuormitusyhdistelmään taulukon 11 mukaisesti.

TAULUKKO 11. Kuormitustapausten tekijät (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Kuormitustapaus	Symboli	Kerroin	
		1 <sup>1)</sup>	2 <sup>2)</sup>
Pysyvät kuormitukset:			
Eristimien, pylväiden, perustusten, maaperän ja pohjaveden paino	$\gamma_G$	1,0	1,0
Johtimien paino	$\gamma_G$	1,1	1,0
Johtimen jännitys paljaille johtimille lämpötilassa 0 °C	$\gamma_G$	1,1	1,0
Vaihtelevat kuormitukset:			
- Tuuli- ja jääkuormat, lisäkuormat			
- Staattisen kuormituksen jäännöskuorma toispuoleisella johtimen jännitteen redusoinnilla.	$\gamma_Q$	1,43	1,0
- Todellisen johtimen jännityksen ja 0 °C jännityksen ero paljaalla johtimella			
Dynaamiset huolto- ja rakennuskuormat:			
- Esimerkiksi jännityskuormat tai dynaamiset kuormat kuljetuksessa	$\gamma_G$	1,8	1,3
<sup>1)</sup> Sarakkeen 1 arvoja käytetään pylväille ja haruksille. <sup>2)</sup> Sarakkeen 2 arvot pätevät johtimille, ukkosjohtimille ja eristimille. Kerroin 2 pätee myös tarkistettaessa muutoksia, sähköisiä etäisyyksiä ja betonin halkeamia.			

### 5.10 Yhteenveto

Maiden erot standardien määrityksien ja ilmaisujen suhteen tulevat hyvin esiin. Kuormitusten laskennan periaate molemmissa maissa on hyvin samankaltainen, mutta laskukaavat ja laskettavat kohteet tulee kuitenkin tarkistaa maakohtaisesti johtuen erilaisesta ilmaisutavasta.

## 6 SÄHKÖISET VAATIMUKSET

### 6.1 Sähköiset vaatimukset Suomessa

Vaihejohtimien sähköiset etäisyydet  $D_{el}$ ,  $D_{pp}$ ,  $D_{50\text{Hz } p-e}$  ja  $D_{50\text{Hz } p-p}$  esitetään taulukossa 12. Riippujohdoilla, maadoitusjohtimilla ja ukkosjohtimilla sähköisiä vähimmäisetäisyyksiä ei sovelleta. Käyttörajatiloja, kuten etäisyyksiä, laskettaessa kuormien osavarmuuslukuja ei käytetä.

TAULUKKO 12. Sähköiset vähimmäisetäisyydet  $D_{el}$  ja  $D_{pp}$  (SFS-EN 50341-2-7:2015)

Nimellisjännite [kV]	Suurin käyttöjännite [kV]	$D_{el}$ [m]	$D_{pp}$ [m]	$D_{50 \text{ Hz } p-e}$ [m]	$D_{50 \text{ Hz } p-p}$ [m]
1...10	1,1...12	0,12	0,15		
20	24	0,22	0,25		
30	36	0,32	0,40		
45	52	0,48	0,70		
110	123	0,9	1,4	0,23	0,37
220	245	1,5	2,3	0,43	0,69
400	420	2,9	3,9	0,70	1,17

Etäisyyksien määrittämisessä käytettävät kuormitustapaukset esitetään taulukossa 13. Etäisyydet määritetään myös taulukossa 11 esitetystä kolmen vuoden toistumisaikaa vastaavassa minimilämpötilassa.

Etäisyyksien on täytettävä vaatimukset kohdissa esitetyissä kuormitustapauksissa. Johtimien viruma ja kuormitusten aiheuttama johtimen pysyvä venymä on otettava huomioon, mutta yhdistettyjä jää- ja tuulikuormia ei tarvitse ottaa huomioon.

TAULUKKO 13. Kuormitustapaukset, lämpötilat ja yhdistelmäkerroimet (SFS-EN 50341-2-7:2015)

Kuormitustapaus	Lämpötila [°C]	Tuuli $\Psi_w$	Jää $\Psi_i$
Minimilämpötila, 3 vuoden arvo	$T_{min}$		
Maksimilämpötila	$T_{max}$		
Huipputuuli, 50 vuoden keskituuli	0	1,00	
Nimellistuuli, 3 vuoden keskituuli	0	0,58	
Huippujää + lumi	0		1,0...3,0

### 6.1.1 Etäisyyksien määrittäykset

Kaikkien sisäisten ja ulkoisten pystysuorien vähimmäisetäisyyksien pitää perustua joko projektispesifikaatiossa määritettyyn johtimen suurimpaan jatkuvaan käyttölämpötilaan tai taulukossa 14 esitettyihin arvoihin.

TAULUKKO 14. Johtimien maksimilämpötilat (SFS-EN 50341-2-7:2015)

Vaihejohtimet	$T_{\max} = 70 \text{ °C}$
Johtimet tai osat, joissa ei ole sähköistä kuormaa (ukkosjohtimet, maadoitusjohtimet, PE- ja PEN-johtimet yms.)	$T_{\max} = 40 \text{ °C}$

Vaiheiden väliset sekä vaiheen ja maan väliset etäisyydet lasketaan ilmajohtostandardin liitteen F mukaisesti, pienennyskerroin  $k_1=0,65$ . Johtimen riippuman laskennassa otetaan huomioon minkä tahansa kyseessä olevassa projektissa sovellettavan murtorajatilakuorman aiheuttama pysyvä venymä.

Määritettäessä eristinketjun ja muiden osien etäisyyksiä pylväällä otetaan huomioon standardin SFS-EN 50341-1 liitteen F.3. ohjeet soveltuvin osin. Kuitenkin kulmapylväillä tuulikuorman aikainen lämpötila ja painojänteestä laskettavan pystykuorman aikainen lämpötila ovat  $0 \text{ °C}$ . Johtimen koronan huomioon ottaminen voi johtaa paljon suurempiin etäisyysvaatimuksiin. Tämä on otettava huomioon projektispesifikaatiossa.

Vaihe- ja ukkosjohtimien välinen minimietäisyys on oltava  $D_{el}$  tilanteessa, jossa on sekä huippujää- että lumikuormitus ylemmässä vaihe- tai ukkosjohtimessa, kun alempi johdin on jäätön.

Mikäli päällystetyillä johtimilla varustetuilla johdoilla käytetään erikseen testattuja rakenteita, voidaan niillä soveltaa kolmasosaa pienempiä etäisyyksiä paljaisiin johtimiin verrattuna. Tällöin perustelut on esitettävä projektispesifikaatiossa.

## 6.1.2 Ulkoiset etäisyydet

Suomessa ei sovelleta lainkaan standardin SFS-EN 50341-1 kohdassa

5.9.1. esitettyä kappaletta  $D_{el}$  ja  $D_{pp}$  -arvoista.

*Nimellisjännitteeltään yli 1 kV ja korkeintaan 45 kV vaihtojännitettä olevilla johdoilla etäisyyksien  $D_{el}$  ja  $D_{pp}$  asianmukaisten arvojen on oltava riippumattomia johdon jännitteestä. Näillä jännitteillä on ulkoisiin etäisyyksiin maahan ja risteäviin kohteisiin käytettävä arvoa  $D_{el} = 0,60$  m ja risteäviin toisiin ilmajohtoihin arvoa  $D_{pp} = 0,70$  m. Nämä perusetäisyydet on otettu huomioon taulukoissa 5.11–5.16.*

Pienjänniteriippukaapelin, ukkosjohtimen tai mekaanisen johdon etäisyyden maasta pitää olla vähintään 4,0 m. Seinään päättyvässä johdossa etäisyys maasta saa olla 3,5 m. Yksityistien, tontin alueella sijaitsevan ajoneuvolla liikennöitävän tien tai yleiseen tiehen liittyvän jalkakäytävän tai muun kevyen liikenteen väylän kohdalla sekä pelloilla, joilla voidaan liikkua isoilla työkoneilla, etäisyys maan pinnasta tulee olla vähintään  $5,5 \text{ m} + D_{el}$ .

Ilmajohdon etäisyyden tavallisiin puihin pitää olla vähintään  $1,0 \text{ m} + D_{el}$  ja hedelmäpuihin  $4,0 \text{ m} + D_{el}$ .

Ilmajohto ei saa ulottua lämmitetyn rakennuksen minkään osan ylle. Jos avojohtimen tai päällystetyn johtimen vaakasuora etäisyys lämmitettyyn rakennukseen on alle  $3,0 \text{ m} + D_{el}$ , sen pystysuoran etäisyyden pitää olla vähintään  $4,0 \text{ m} + D_{el}$ . Vaakasuoran etäisyyden parvekkeeseen ja ikkunaan pitää kuitenkin olla vähintään  $5,0 \text{ m} + D_{el}$ .

Lämmitettäväksi rakennukseksi katsotaan myös lämmittämätön rakennus, mikäli se sijaitsee samassa rakennusryhmässä kuin lämmitetty rakennus. Avokatosta ei kuitenkaan pidetä rakennuksena. Lämmittämättömän rakennuksen kohdalla noudatetaan ilmajohtostandardin osan 1 vaatimuksia. Ilmajohdon vaakasuora etäisyys avovarastoon, jossa säilytetään pitkiä ja helposti siirrettäviä tavaroita, pitää olla vähintään  $3,0 \text{ m} + D_{el}$ .

Avojohtolin ei saa päätyä rakennukseen kytkinlaitosrakennuksia lukuun ottamatta.

Räjähdyksivaarallisessa ulkotilassa ilmajohto ei saa sijaita eikä kulkea sellaisen yli. Johdon on oltava sivusuunnassa niin etäällä, ettei johdin joudu räjähdysvaaralliseen tilaan pylvään kaatuessa tai kulmapylvästä irrotessaan. Mikäli johto joudutaan sijoittamaan lähemmäksi kuin pylvään pituuden etäisyydelle, tulee estää pylväiden kaatuminen ja johtimien irtoaminen erityistoimenpitein.

Etäisyys antenneista, ukkosenjohdattimista, tievalaisimista, lipputangoista, mainostauluista ja vastaavista rakenteista pitää olla varsinaisen standardin EN 50341-1 taulukon 5.11 mukainen, mutta kuitenkin vähintään 3,0 m.

### 6.1.3 Risteävät liikenneväylät

Maantien, rautatien tai vesiliikenneväylän lähellä olevan tai niitä risteävän johdon etäisyydet on määritelty Suomen osalta kansallisissa velvoittavissa määrittelyissä. Teiksi luetaan kadut, torit, aukiot, pysäköintialueet sekä kuormaus- ja purkausalueet. Ilmajohdon pylvään etäisyys näistä tulisi olla vähintään 2,0 m. Muutoin merkitykselliset etäisyydet on määritelty taulukossa 15. Maastoliikennelain mukaisiin moottorikelkkareitteihin sovelletaan etäisyyksiä, jotka koskevat kaukana rakennuksista sijaitsevia alueita.

TAULUKKO 15. Ilmajohdon vähimmäisetäisyydet tien pinnasta. (SFS-EN 50341-2-7:2015)

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



Jos ilmajohdon vaakasuora etäisyys rautatiekiskoon tai sähköistetyin radan rakenteeseen on alle  $5,0 \text{ m} + D_{el}$ , pitää pystysuoran etäisyyden johtimien ja kiskonharjan välillä olla vähintään  $7,0 \text{ m} + D_{el}$ . Mikäli kyseessä on sähköistetty tai sähköistettäväksi tarkoitettu rata, jonka ajojohdin on ilmassa, pitää etäisyyden olla vähintään  $11,5 \text{ m} + D_{el}$ .

Vesiväylien osalta on suositeltavaa, että ilmajohdon rakentaja selvittää mahdollisimman varhain vesiliikenteen kannalta tarpeellisen johtokorkeuden vesiväylillä. Tietoja alusten suurimmista mastokorkeuksista antaa Liikennevirasto, joka myöskin ilmoittaa kantansa ilmajohdon merkitsemistarpeesta lausuntojensa yhteydessä.

#### 6.1.4 Muut sähkö- tai tietoliikennejohdot

Suurjännitejohto on sijoitettava pienjännite- ja tietoliikennejohdon yläpuolelle. Ylempänä sijaitsevan johdon alimpien vaihejohtimien etäisyyden alemman johdon kaikkiin osiin pitää olla vähintään  $1,0 \text{ m} + D_{pp}$ , jossa  $D_{pp}$  määräytyy suuremman jännitteen perusteella. Pylväiden, riippukaapelien ja maadoitus- ja ukkosjohtimien välisiä etäisyyksiä ei ole rajoitettu. Tarvittaessa ne pitää kuitenkin sijoittaa erilleen toisistaan mekaanisen vahingoittumisen ja johdosta toiseen siirtyvien liiallisten maadoitusjännitteiden rajoittamiseksi.

Jos risteävät johdot sijaitsevat yhteisessä pylväässä, etäisyydet määritetään suurimman jännitteen mukaan. Tällöin eri virtapiirien vaihejohtimien kiinnityskohtien välin tulee täyttää aiemmin esitetyt vaatimukset, mutta sähköinen etäisyys  $D_{pp}$  kerrotaan luvulla 1,15, jos virtapiireissä on sama jännite ja luvulla 1,50, jos virtapiireissä on eri jännite. Eri virtapiireihin kuuluvien vaihejohtimien välisen etäisyyden on kuitenkin oltava vähintään  $1,5 \text{ m} + D_{pp}$ .

Suurjännite- ja tietoliikennejohdon yhteispylväsrakenteessa on johtojen haltijoiden laadittava yhteisrakenteita koskeva kirjallinen sopimus, mikäli johtojen haltija ei ole sama. Tietoliikennekaapelissa on oltava

suojamaadoitettu yhtenäinen metallivaippa, joka mitoitetaan kestävästi suurjännitejärjestelmän yksivaiheinen maasulkuvirta.

Suurjänniteavojohdon vaihejohtimen etäisyys yhteisiin pylväisiin kiinnitetystä tietoliikennekaapelista on oltava vähintään  $2,0 \text{ m} + D_{pp}$ .

Yksittäistä risteämäpylvästä lukuun ottamatta johtimien kiinnityskohtien välin on täytettävä lisäksi jänteen ja pylvään sisäisten etäisyyksien vaatimukset, kun perusetäisyyden  $D_{pp}$  arvoa on korotettu 50%.

Puupylväessä on suurjänniteavojohdon ja tietoliikennejohdon kannattimen välillä oltava vähintään 1,0 m puuta enintään 45 kV jännitteellä ja 2,0 m puuta enintään 110 kV jännitteellä. Ellei tämä vaatimus täyty, on suurjännitejohdon eristinkiinnikkeet suojamaadoitettava ja osien välillä oltava puuta vähintään 100 mm. Pienjännitteisien riippukaapelin etäisyys metallia sisältävästä tietoliikennekaapelista ja maadoitus- tai ukkosjohtimesta on oltava vähintään 0,3 m silloinkin, kun jääkuorman oletetaan olevan vain ylemmässä johdossa. Suurjännitekaapelin etäisyys tietoliikennejohdosta määritetään projektikohtaisesti.

Avojohtimon etäisyys rinnakkaisen suurjännite-, pienjännite-, tietoliikenne- tai mekaanisen johdon kaikista osista pitää olla vähintään  $2,5 \text{ m} + D_{pp}$ , missä  $D_{pp}$  määräytyy suuremman jännitteen mukaan. Eri johtojen vaihejohtimien välisen keskinäisen etäisyyden tulee olla vähintään 15 % suurempi kuin johtojen suurin sisäinen vaiheväli.

Suurjännitejohdon kulkua pitkiä matkoja samansuuntaisena pienjännite-, tietoliikenne- tai mekaanisen johdon kanssa saattavat rajoittaa induktiivisen tai kapasitiivisen kytkennän aiheuttamat jännitteet. Standardi SFS 5717 antaa ohjeita kaasuputkien sijoituksesta ilmajohtojen läheisyyteen ja päinvastoin, mutta sitä voidaan soveltaa myös muun tyyppisiin putkistoihin. Viestintäviraston määräyksessä M 43 määritellään raja-arvot sallituille tietoliikennejohtojen johtimiin indusoituneille jännitteille, jotka aiheutuvat joko sähköjohdon kuormitusvirrasta tai maasulkuvirrasta.

## 6.2 Sähköiset vaatimukset Ruotsissa

Jännitteen ryömintämatkat eristinketjuissa on valittu IEC/TS 60815 standardin mukaan. Taulukko 16 määrittää ryömintäetäisyydet pystysuuntaiseksi asennetuille vaiheiden lasi- ja posliinieristimille eri saastumisen tasoille. Määritelmät pätevät kaikille jännitetasoille ja kaikille maadoituksille.

V-eristinketjuille taulukon arvoja voidaan pienentää 10-20 % ja vaakasuoraan asennetulle eristimelle sateen pesevällä vaikutuksella on suuri merkitys. Mikäli hyvää, luonnollista sadevaikutusta ei ole odotettavissa, ryömintämatka tulee olla yhtenevä taulukon kanssa. Mikäli vaaditaan hyvin pitkä ryömintämatka, tulee eristinketju olla normaalia isompi. Näissä tapauksissa erityisiä kaaria tai elektrodeja tulee asentaa vähentämään lyhyen ylijännitteen maksimia.

TAULUKKO 16. Lasi- ja posliinieristimien ryömintämatkat, vaiheesta maahan -jännite  $U_s/\sqrt{3}$  (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Saasteluokka	Tyypillisiä ympäristöjä	Ryömintämatka [mm/kV]
Erittäin kevyt	> 50 km mereltä tai kuiva maa > 10 km ihmisen aiheuttamasta saasteen lähteestä	22,0
Kevyt	- 10-50 km mereltä tai kuiva maa - 5-10 km ihmisen aiheuttamasta saasteen lähteestä	27,8
Keskitaso	- Johto alle 1 km saastuttavasta teollisuudesta - Metsällä suojattu johto 10-20 km alueella länsirannikosta (Norjan raja-Falsterbo) - Johto 10 km alueella etelärannikosta (Falsterbo-Öölannin pohjoiskärki)	34,7
Raskas	- Johto saastuttavan teollisuuden alueella - Johto maaseudulla 40 km sisällä länsirannikosta - Johto muunlaisessa maastossa 10 km länsirannikosta	43,3
Erittäin raskas	- Johto alle 0,5 km päässä alueesta, missä paljon saastuttavaa teollisuutta - Erittäin tärkeä johto muutaman kilometrin sisällä länsirannikosta	53,7

Ryömintämatka vaiheesta vaiheeseen tulee olla vähintään 175 % valitusta vaiheesta maahan -matkasta samoissa ympäristöolosuhteissa.

## 6.2.1 Jännitteet ja ylijännitteet

Ylijännitteiksi Ruotsin sähköverkossa lasketaan tilapäiset ylijännitteet  $U_V$ , syöksyjännitteet  $U_{SK}$  ja transienttiylijännitteet  $U_{SL}$ . Vaaditut arvot esitetään taulukossa 17 ja ne koskevat vaiheesta maahan -jännitteitä.

TAULUKKO 17. Ylijännitteet maadoitetuissa sähköverkoissa (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Suurin verkon käyttöjännite $U_s$ [kV]	Tilapäinen ylijännite $U_V$ [kV <sub>rms</sub> ]	Transienttiylijännite $U_{SL}$ [kV <sub>peak</sub> ]	Syöksyjännite $U_{SK}$ [kV <sub>peak</sub> ]
12	28	-	75
24	50	-	125
36	70	-	170
52	95 <sup>1)</sup>	-	250
72,5	140 <sup>2)</sup>	-	325 <sup>2)</sup>
145	230	350	550
170	275	425	650
245	360	650	850
420	-	950	1175
1) Voidaan käyttää tietyissä olosuhteissa korkeintaan jännitteelle $\leq 55$ kV			
2) Tälle tasolle maksimi käyttöjännite on 84 kV			

Vaadittu jännitteenkesto voidaan saavuttaa eristimien, puisen etäisyyden tai ilmavälin avulla. Tilapäisen ja transienttiylijännitteen suojaus voidaan tehdä vain vaihe-eristimillä. Syöksyjännitteeltä suojautuminen voidaan saavuttaa yhdistelmällä vaihe-eristimiä, haruseristystä ja puista etäisyyttä.

Ukkosista johtuvien vikojen taajuus jännitetasolla  $\leq 72,5$  kV riippuu vahvasti syöksyjännitteen eristyksestä, suurempi syöksyjännite tarkoittaa matalampaa vikataajuutta. On siis mahdollista, että eri johdoilla on eri määrä ukkosvikoja samoissa ukkostiheyksissä.

Edustavat tilapäiset ylijännitteet kahden vaiheen välillä tulee olla vähintään 175 % edustavista ylijännitteistä vaiheesta maahan. Samoin edustavien transienttijännitteiden vaiheesta vaiheeseen tulee olla vähintään 140 % suurempi kuin vaiheesta maahan johdoilla 145 kV – 245 kV ja 150 % johdoilla, joilla on korkein verkon käyttöjännite 420 kV. Edustava syöksyjännite kahden vaiheen välillä tulee olla vähintään 115 % verrattuna vaiheesta maahan, huomioiden erityinen kuormitus eristimellä kahden

vaiheen välillä, jos käyttöjännite yhdessä vaiheessa on vastakkainen toisen vaiheen ylijännitteen kanssa.

Edustavan syöksyjännitteen kesto eri eristinmateriaaleista, kuten posliini, lasi, puu ja ilma, koottujen eristimien kohdalla on pienempi kuin eristimien eri pituuksien summa. Puiset pylväät ja orret voivat olla osa johdon eristimestä. Syöksyjännitteen oletettu kesto on vähintään 0,1 kV/mm puun pituudesta. Tämä arvo sopii niin kyllästetyille kuin kyllästämättömälle puulle.

Kun vaiheesta maahan -eristin koostuu vaihe-eristimestä yhdistettynä haruseristimeen, ylimääräisen jännitteen kesto haruseristimeen tulee olla komposiittieristimelle 0,3 kV/mm ja lautaseristimelle 40 kV. Johdolla, jossa pylväiden materiaali antaa merkittävän osuuden vaiheesta maahan -syöksyjännitteen kestolle, on syöksyjännitteen kesto kahden vaiheen välillä yleensä vähemmän kuin 115 % vaiheesta maahan -jännitteen kestosta. Näissä tapauksissa syöksyjännitteen kesto vaiheiden välillä määrittää johdon jännitteen keston.

Kun syöksyjännitteen kesto määritetään vaiheesta vaiheeseen -eristyksen avulla, vastaava impulsinkesto jännite vaiheesta maahan johdetaan vaiheesta vaiheeseen -jännitteenkestosta jaettuna kertoimella (x1,15). Johdon pylväälle tai lautaseristimille vaiheesta vaiheeseen -syöksyjännitteen saavutetun keston voidaan olettaa olevan 80 % eristimien kahden vaiheen ylijännitteen keston yhteenlasketusta summasta. Eristinketjuille vaiheesta vaiheeseen -syöksyjännitteen keston voidaan olettaa olevan 70 % kahden vaiheen ylijännitteen keston yhteenlasketusta summasta.

Johdoille tai johtojen osille, joissa käytetään puisia pylväitä, verkoille joissa maadoitusimpedanssi on matala tai metalliset orret ilman maadoitusta, todennäköisyys vaiheesta vaiheeseen -oikosululle ukkosen aikana on hyvin korkea, kun

- eristys orren ja maan välillä pylvästä ja/tai harusta pitkin on pidempi kuin  $3,2 \times L_1$ , jossa  $L_1$  tarkoittaa valokaaren pituutta ilmassa [mm].
- saavutettu väli puun rakenteellisiin osiin ylittää kohdassa 6.2.3 mainituilla kuormitustapauksilla E, F ja G pituuden  $1,1 \times L_1$ .

### 6.2.2 Sähköiset vähimmäisetäisyydet ylilyönnin välttämiseksi

Vähimmäisetäisyydet voidaan laskea taulukon 18 esimerkkien mukaisesti, lyhyemmät etäisyydet tulee varmistaa testeillä, jotka täyttävät taulukossa 20 mainitut vaatimukset.

TAULUKKO 18. Sähköiset vähimmäisetäisyydet (SFS-EN 50341-2-18:2016)

<b>Ilmavälin [mm] laskeminen ylilyönnin välttämiseksi</b>	
$L_1 = U_V/0,33$	( $L_1 > 100$ )
$L_1 = (U_{SK} - 20)/0,47$	( $L_1 > 100$ )
$L_1 = U_{SL}/0,41$	( $1000 < L_1 < 2500$ ), kun $U_s > 145 \text{ kV}$
<b>Eristimien ilmavälin laskeminen ilman valokaarisuojausta</b>	
$L_2 = (U_V/0,28) + 50$	( $150 < L_2 < 785$ )
$L_2 = (U_V/0,22) - 50$	( $785 < L_2 < 2500$ )
$L_2 = (U_{SK}/0,52) - 40$	( $150 < L_2 < 2500$ )
$L_2 = U_{SL}/0,46$	( $1000 < L_2 < 2500$ ), kun $U_s > 145 \text{ kV}$
<b>Eristimien ilmavälin laskeminen valokaarisuojauksella</b>	
$L_2 = U_V/0,31$	( $150 < L_2 < 625$ )
$L_2 = (U_V/0,25) - 150$	( $625 < L_2 < 2500$ )
$L_2 = (U_{SK}/0,52) - 40$	( $150 < L_2 < 2500$ )
$L_2 = U_{SL}/0,46$	( $1000 < L_2 < 2500$ ), kun $U_s > 145 \text{ kV}$
$U_V$ = hetkellinen ylijännite [ $\text{kV}_{\text{rms}}$ ] $U_{SK}$ = syöksyjännite $1,2/50 \mu\text{s}$ [ $\text{kV}_{\text{peak}}$ ] $U_{SL}$ = transienttiylijännite $250/2500 \mu\text{s}$ [ $\text{kV}_{\text{peak}}$ ] $L_1$ = ilmaväli [mm] $L_2$ = eristinketjun valokaaren etäisyys [mm]	

### 6.2.3 Kuormitustapaukset etäisyyksien määrittämisessä

Ilmavälit pylväisiin tulee saavuttaa taulukossa 19 määritellyillä yhdistelmillä tuulta, jääkuormaa ja lämpötiloja. Johdoille, joiden korkein käyttöjännite on 145 kV, käytetään tapauksia C, D, E ja F. Tapaukset E ja F viittaavat olosuhteisiin myrskyjen aikana. Kaikissa kuormitustapauksissa ilmavälien tulee täyttää vaatimukset huolimatta tuulensuunnasta.

TAULUKKO 19. Kuormitustapaukset (SFS-EN 50341-2-18:2016)

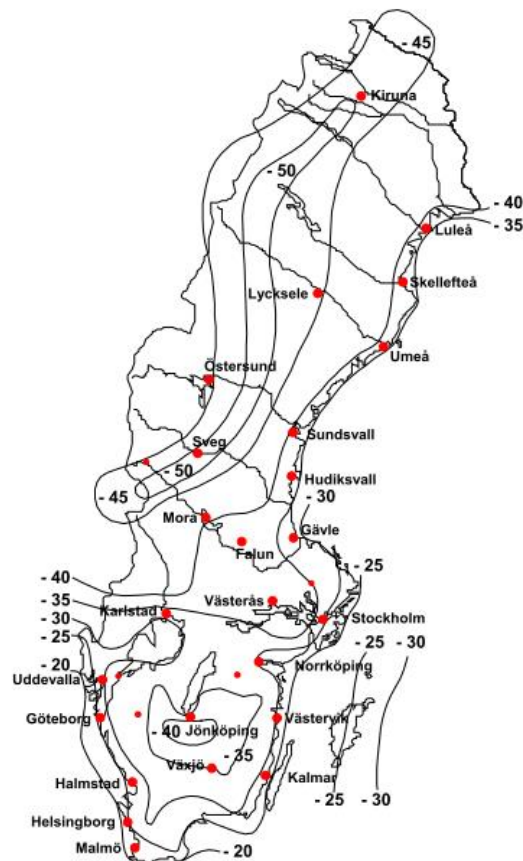
Tapaus	Paino	Jää	Tuuli	Lämpötila	Johdon viruma
A	oma paino	jääkuorma normaalilla tuulella	normaali tuuli	0 °C	esijännitys ennen johdon virumaa
B	oma paino	jääkuorma normaalilla tuulella	normaali tuuli	0 °C	lopullinen asema johdon viruman jälkeen
C	oma paino	paljas johdin	normaali tuuli	+15 °C	lopullinen asema johdon viruman jälkeen
D	oma paino	paljas johdin	normaali tuuli	minimilämpötila tuulella	esijännitys ennen johdon virumaa
E	oma paino	paljas johdin	30% normaalista tuulesta	+15 °C	esijännitys ennen johdon virumaa
F	oma paino	paljas johdin	30% normaalista tuulesta	+15 °C	lopullinen asema johdon viruman jälkeen
G	oma paino	paljas johdin	ei tuulta	+15 °C	lopullinen asema johdon viruman jälkeen
H	oma paino	paljas johdin	ei tuulta	minimilämpötila, suunnittelulämpötilat	esijännitys ennen johdon virumaa

Suunnittelussa käytettävä minimilämpötila riippuu maantieteellisestä sijainnista ja on -50 °C:sta -25 °C:seen tyynessä ilmassa. Maantieteelliset alueet esitetään kuvassa 4. Tuulisissa olosuhteissa minimilämpötila on tästä 20 °C korkeampi.

Maksimilämpötila tuulettomassa säässä on vähintään +50 °C, kun oletetaan että johdin ilman lämpötilan ja auringon säteilyn seurauksena lämpenee +35 °C:ksi ja samanaikaisesti sähkövirran nousu ei merkittävästi ylitä +15 °C:tta. Talvella, kun lämpötila ja auringon säteily ovat matalampia, suurempi sähkövirta on mahdollinen ilman johdon

maksimilämpötilan ylitystä. Eristetyillä kaapeleilla maksimilämpötila tyynessä säässä on  $+65\text{ °C}$  tai korkeampi, mikäli valmistaja sen sallii. Tuulisessa säässä johdon maksimilämpötila on  $+15\text{ °C}$ .

Jääkuorman lämpötila on  $0\text{ °C}$ .



KUVA 4. Ruotsin minimilämpötilat maantieteellisesti (SFS-EN 50341-2-18:2016)

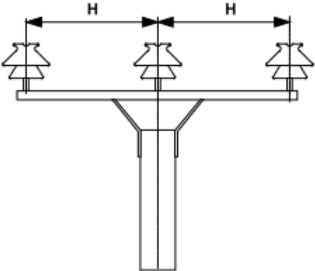
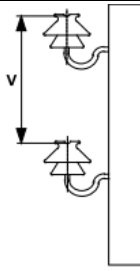
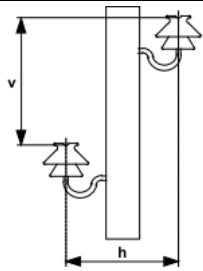
Oikosulun lämpötilalla tarkoitetaan maksimilämpötilaa, joka voi ilmetä oikosulussa, mikäli johdin on maksimikäyttölämpötilassaan  $+70\text{ °C}$  juuri ennen oikosulkua. Johtimen lämpötila oikosulun aikana riippuu johtimen materiaalista, poikkipinnasta, vian kestosta ja oikosulkuvirran suuruudesta.



### 6.2.4 Sisäiset etäisyydet

Jännevälin sisäiset etäisyydet yhtenevissä olosuhteissa tulee määrittää taulukossa 20 esitettyjen kaavojen mukaisesti riippuen siitä, miten johtimet on asennettu. Annettuja kaavoja tulee käyttää normaaleissa olosuhteissa. Mikäli johtimilla on matala jännitys, tai johdinten kokoonpano on erilainen jännettä rajaavissa pylväissä, tulee erityinen tarkastelu tehdä etäisyyksiin. Lisäksi johdinten kiinnityspisteiden välinen etäisyys vahvistettujen johtojen luokalla 2 tulee olla vähintään  $0,6 + 0,007 \times U_s$  (m).

TAULUKKO 20. Jännevälin sisäiset etäisyydet, yhtenevät olosuhteet (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Vaakasuora johdinten kokoonpano	Pystysuora johdinten kokoonpano	Vaihteleva johdinten kokoonpano											
$H = 0,45 \times \sqrt{b + L} + k \times U_s$	$V = k_v \times (b_1 - b_2) + L_1 - L_2 + k \times U_s$	$h = H \times \sqrt{1 - \frac{v}{V}}$ $v = V \times \left(1 - \frac{h^2}{H^2}\right)$											
													
<p> <i>b</i> = Johtimen painuma johtimen lopullisessa asemassa (m)  <i>b</i><sub>1</sub> = Ylemmän johtimen painuma alustavassa asemassa (m)  <i>b</i><sub>2</sub> = Alemman johtimen painuma alustavassa asemassa (m)  <i>L</i> = Eristin ketjun pituus ml. kaikki jatkeet tai etäisyys johtimesta kiinnityspisteeseen V-ketjussa (m)  <i>L</i><sub>1</sub> = Ylemmän johtimen eristin ketjun pituus (m)  <i>L</i><sub>2</sub> = Alemman johtimen eristin ketjun pituus (m)  <i>k</i> = Kerroin, joka on 0,007 vaiheesta-vaiheeseen ja 0,006 vaiheesta-maahan -laskelmissa         </p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Johtimen tyyppi</th> <th colspan="2">Kerroin <i>k<sub>v</sub></i></th> </tr> <tr> <th>Kiristysryhmä tai yksittäinen eriste</th> <th>Ripustusketju ja V-ketju</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ACSR, AAC tai AAAC</td> <td>1,0</td> <td>1,1</td> </tr> <tr> <td>Kupari ja teräs</td> <td>1,2</td> <td>1,3</td> </tr> </tbody> </table>	Johtimen tyyppi	Kerroin <i>k<sub>v</sub></i>		Kiristysryhmä tai yksittäinen eriste	Ripustusketju ja V-ketju	ACSR, AAC tai AAAC	1,0	1,1	Kupari ja teräs	1,2	1,3
Johtimen tyyppi	Kerroin <i>k<sub>v</sub></i>												
	Kiristysryhmä tai yksittäinen eriste	Ripustusketju ja V-ketju											
ACSR, AAC tai AAAC	1,0	1,1											
Kupari ja teräs	1,2	1,3											

Eriävillä olosuhteilla pystysuoran kokoonpanon sisäinen etäisyys lasketaan samoin kuin taulukossa 24, mutta vaakasuora minimietäisyys lasketaan kaavalla 6.

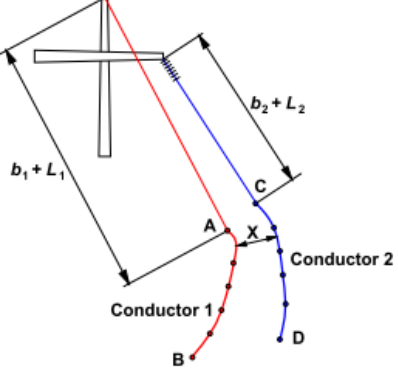
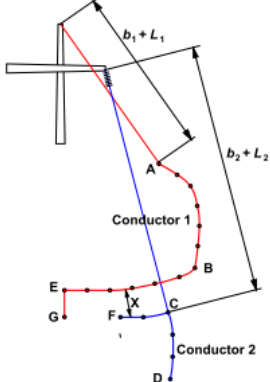
$$H = (b_1 + L_1) \times \sin \alpha_1 - (b_2 + L_2) \times \sin \alpha_2 + k \times U_s \quad (6)$$

jossa  $\alpha_1 = \arctg \times \frac{g_{wi}}{g_e \times 9,81 + g_{iw}}$  ja  $\alpha_2 = \arctg \times \frac{0,7 \times g_{wi}}{g_e \times 9,81 + g_{iw}}$ .

Vaihtelevalla johtimien kokoonpanolla tulee vielä erikseen laskea lyhin väli X käyrien A-B ja C-D välillä kuormitustapauksella 1 ja käyrien B-E-G ja C-F välillä tapauksella 2. Käyrät kuvaavat johtimien venymää ja heilahdusta johtimen painon ja kasvavien jää- ja tuulikuormien vaikutuksesta.

Taulukossa 21 esitetään huomioon otettavat muuttujat.

TAULUKKO 21. Vaihtelevien johdinkokoonpanojen johdinvälin määrittäminen (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Kuormitustapaus 1	Kuormitustapaus 2
<p>Johdin 1: oma paino ja kasvava jääkuorma A - pisteen nollasta B -pisteen 100% (<math>g_{iw}</math>) ja tuulikuorma <math>g_{w0}</math> pisteessä A pisteeseen B arvoon <math>g_{wi}</math>.</p> <p>Johdin 2: oma paino ja kasvava jääkuorma C - pisteen nollasta D -pisteen 100% (<math>g_{iw}</math>) ja tuulikuorma <math>0,7 \times g_{w0}</math> pisteessä C pisteeseen D <math>0,7 \times g_{wi}</math>.</p>	<p>Johdin 1: oma paino ja 100% jääkuorma (<math>g_{iw}</math>) pisteessä E, normaali tuulikuorma kasvaen nollasta pisteessä E pisteen B arvoon <math>g_{wi}</math>. Tuulettomalle olosuhteelle jääkuorma kasvaa arvosta <math>g_{iw}</math> pisteessä E arvoon <math>g_{i0}</math> pisteessä G. Käyrä A-B lasketaan kuormitustapauksen 1 mukaisesti.</p> <p>Johdin 2: oma paino ja normaali tuulikuorma kasvaen nollasta pisteessä F arvoon <math>0,7 \times g_{w0}</math> pisteessä C. Käyrä C-D lasketaan kuten kuormitustapauksessa 1.</p>
	
<p><math>g_{i0}</math> = jääkuorma tuulettomassa olosuhteessa (N/m)  <math>g_{iw}</math> = jääkuorma normaalissa tuulessa (N/m)  <math>g_{w0}</math> = normaali tuuli paljaalla johtimella (N/m)  <math>g_{wi}</math> = normaali tuuli jäisellä johtimella (N/m)  <math>b</math> = johtimen venymä (m)  <math>L</math> = eristinketjun pituus (m)  <math>k</math> = kerroin, joka on 0,007 vaiheesta-vaiheeseen- ja 0,006 vaiheesta-maahan -laskelmille  <math>X \geq k \times U_s</math></p>	

Pylväässä olevat etäisyydet vaiheesta maadoitukseen esitetään taulukossa 22. Kuormitustapauksilla E ja F voidaan maksimissaan 40 % ilmavälistä korvata vähintään viisinkertaisella puisella tai vastaavalla

eristyksellä. Etäisyys sähköisistä osista eri vaiheissa tulee olla vähintään 115 % taulukoissa esitetyistä arvoista.

TAULUKKO 22. Minimietäisyydet pylväässä (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Tapaus	Minimi-ilmaväli vaiheesta maadoitukseen (mm)								
	Verkot neutraalilla tai sointuvalla maadoituksella					Verkot vähäisen impedanssin maadoituksella			
	$U_s \leq 12$ kV	$U_s \leq 24$ kV	$U_s \leq 36$ kV	$U_s \leq 52$ kV	$U_s \leq 72,5$ kV	$U_s \leq 145$ kV	$U_s \leq 170$ kV	$U_s \leq 245$ kV	$U_s \leq 420$ kV
A, B, C, D ja H	-	-	-	-	-	600	650	900	1200
C ja D	90	130	190	250 <sup>1)</sup>	370	-	-	-	-
E ja F	160	220	320	480	630	1000	1200	1600	2200
G	-	-	-	-	-	-	1400	1850	2600
<sup>1)</sup> Ertysisissä olosuhteissa voidaan käyttää korkeimmalla käyttöjännitteellä $\leq 55$ kV									

### 6.2.5 Ulkoiset etäisyydet

Ruotsissa ulkoisten etäisyyksien määrittämisessä käytetään tekijää  $S$ , joka on jännitteestä riippuva etäisyys johdoista, joiden korkein käyttöjännite ylittää 55 kV.  $S$  määritetään kaavojen 7 ja 8 mukaan riippuen maadoituksesta. Verkoille, joissa on matala-impedanssin neutraali maadoitus, käytetään kaavaa 7 ja verkoille, joissa on eristetty neutraali maadoitus, käytetään kaavaa 8. Alle 55 kV käyttöjännitteelle  $S=0$ .

$$S = 0,005 \times (U_s - 55) \quad [m] \quad (7)$$

$$S = 0,007 \times (U_s - 55) \quad [m] \quad (8)$$

Taulukoissa 23-26 ilmoitetaan minimietäisyydet voimajohdoista maahan, kulkuväyliin, rakennuksiin ja vastaaviin niin kaupungissa kuin maaseudulla. Nämä etäisyydet pätevät koko maassa.

TAULUKKO 23. Minimietäisyydet maaseudulla ja vesiväylillä, jotka eivät ole laivakäytössä. (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Kuormitustapaus	Eristetty kaapeli välittömällä maadoitusuojalla	Paljas tai päällystetty johdin	Maadoitusjohdin
Maksimi johtimen lämpötila	4,5 m	6 m + S	-
Yhtäläinen jääkuorma 0 °C	-	4,5 m + S	-
Epäyhtenäinen jääkuorma 0 °C	-	4,5 m + S	-
Lämpötilat poikkeuksellisten olosuhteiden aikana <sup>1)</sup>	-	4,5 m + S	-
Lämpötilat oikosulussa	-	4,5 m + S	-
Kaikki kuormitustapaukset	-	-	4,5 m
<sup>1)</sup> Poikkeukselliset olosuhteet tarkoittavat tapahtumaa, joka ilmenee muutamia tunteja vuodessa			

TAULUKKO 24. Minimietäisyydet puihin (SFS-EN 50341-2-18:2016)

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pystysuora etäisyys</li> <li>- Vaakasuora etäisyys puun osan ja lähimmän vaihejohtimen välillä <math>U_s \leq 72,5</math> kV</li> <li>- Kaatuvan puun ja lähimmän vaiheen etäisyys johdoilla <math>U_s \geq 145</math> kV</li> </ul>	
$U_s \leq 72,5$ kV	1,0 m
$U_s \leq 145$ kV	1,5 m
$U_s \leq 245$ kV	2,5 m
$U_s \leq 420$ kV	3,5 m

TAULUKKO 25. Etäisyys maahan kaupunkialueilla (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Kuormitustapaus	Eristetty kaapeli välittömällä maadoitusuojalla	Paljas tai päällystetty johdin	Maadoitusjohdin
Maksimi johtimen lämpötila	-	7 m + S	-
Yhtäläinen jääkuorma 0 °C	-	7 m + S	-
Epäyhtenäinen jääkuorma 0 °C	-	7 m + S	-
Lämpötilat oikosulussa	-	6 m + S	-
Kaikki kuormitustapaukset	6 m	-	6 m
Sähköjohdoilla, joissa on eristetty kaapeli välittömällä maadoitusuojalla, voi olla pienempi pystysuora etäisyys, kun johto päättyy rakennukseen.			

Räjähdyksvaarallisen tilan läheisyydessä olevat johdot tulee suunnitella niin, että ne kiertävät syttyvän materiaalin turvallisen matkan päästä. Taulukossa 26 annetaan turvalliset etäisyydet syttyviin materiaaleihin ja räjähteisiin kuormitustapauksessa, jossa johtimella on maksimilämpötila eikä tuulta. Muissa olosuhteissa turvallinen etäisyys voidaan määrittää riskianalyysin ja olosuhteiden arvioinnilla.

TAULUKKO 26. Minimietäisyys räjähdysvaarallisiin ja syttyviin aineisiin (SFS-EN 50341-2-18:2016)

<b>Vaakasuora etäisyys syttyviin materiaaleihin</b>	
$12 \leq U_s \leq 72,5 \text{ kV}$	15 m
$72,5 \leq U_s \leq 170 \text{ kV}$	30 m
$170 \leq U_s \leq 245 \text{ kV}$	45 m
$U_s \leq 420 \text{ kV}$	60 m
<b>Vaakasuora etäisyys räjähteisiin</b>	
$U_s < 145 \text{ kV}$	50 m
$U_s \geq 145 \text{ kV}$	100 m

Asuinrakennuksien yli ei Ruotsissa saa voimajohtoja rakentaa, poikkeuksena sähköistämättömät, pienet rakennukset kuten työkaluvajat. Nämäkin vain, mikäli turvallisuus pystytään takaamaan. Rakennuksen koko, siirtyvien potentiaalieriskien riski, etäisyys vaihejohtimeen, nimellisjännite ja voimajohtolinjan suunnittelu tulee ottaa huomioon turvallisuussuunnitelmassa. Vaakasuora etäisyys taloihin tulee maaseudulla olla vähintään 5 m ja kaupungissa yli 55 kV johdoilla 10 m. Normaalisissa tuuleissa voimajohtojen heilahdus vaihejohtimella on niin maksimilämpötilassaan kuin 0 °C lämpötilassa 3 m + S.

Valopylväiden, lipputankojen, aitojen ja vastaavien rakenteiden, joiden päällä ei pysty seisomaan, vaaka- ja pystysuora etäisyys voimajohtoista tulee olla 4 m. Mikäli on olemassa ajoneuvolla törmäämisen vaara, etäisyys kaatuvan valopylvään ja lähimmän vaihejohtimen välillä tulee olla vähintään 1 m + S.

Etäisyydet antenneihin, mastoihin, tuulivoimaloihin ja vastaaviin tulee miettiä lentoturvallisuuden, maadoituspotentiaalieriskien ja putoavien objektien tai jään riskien suhteen. Suositeltu vaakasuora minimietäisyys voimajohtolinjasta on maston tai tornin korkeus mukaan lukien turbiinin lavat.

Teiden, rautateiden ja navigoitavien vesiväylien ylityksissä käytettävät minimietäisyydet annetaan taulukossa 27. Vesiväylien osalta korkeus riippuu siitä, ovatko viranomaiset määrittäneet normaalina käytettävän

nousuveden tason vai ei. Ruotsin lain mukaan tulee viranomaisille tehdä ilmoitus ennen pylvään tai rakenteen pystytystä.

TAULUKKO 27. Minimietäisyydet teiden, rautateiden ja vesiväylien ylityksissä (SFS-EN 50341-2-18:2016)

	Eristetty kaapeli välittömällä maadoitussuojalla	Paljas tai päällystetty johdin	Maadoitusjohdin
<b>Autotiet:</b> Päällystetyt tiet ja pysäköintialueet Muut tiet, myös metsäautotiet	6 m 6 m	7 m + S 6 m + S	6 m 6 m
<b>Rautatiet:</b> Sähköistetyt Sähköistämättömät	7 m	1) 8 m + S	7 m
<b>Vesiväylät:</b> Ei viranomaisten määrittämää etäisyyttä Viranomaisten määrittämät etäisyydet	7 m	7 m + S 2)	7 m
1) Sähköistetyn rautatien minimietäisyys määritetään tapauskohtaisesti Ruotsin kansallisen sähköturvallisuusviraston toimesta radan omistajan kuulemisen jälkeen. Suositeltu arvo rautateille, jotka ovat normaalissa käytössä, on 13,5 m. 2) $U_s \leq 170$ kV, suositeltu etäisyys on $W+1,5$ m, $170$ kV $\leq U_s \leq 245$ kV, suositeltu etäisyys on $W+2,0$ m ja $245$ kV $\leq U_s \leq 420$ kV, suositeltu etäisyys on $W+2,75$ m. $W$ = viranomaisten määrittämä normaali vedenkorkeus nousuveden aikaan.			

Etäisyydet toisiin voimajohtolinjoihin tai tietoliikenneilmajohtoihin riippuvat siitä, sijaitsevatko johdot samassa vai eri pylväissä ja onko välissä erottavaa rakennetta vai ei.

TAULUKKO 28. Minimietäisyys muihin voimajohtoihin tai tietoliikenneilmajohtoihin ilman erillistä rakennetta (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Kuormitus-tapaus	Ylempi linja $U_s > 1$ kV, Alempi linja $U_s \leq 1$ kV tai tietoliikennejohto	Molemmat linjat $U_s > 1$ kV	Ylempi linja $U_s > 1$ kV, Alempi linja maadoitusköysi
I – IV	4 m + S	2,5 m + S; vähintään 4 m	1,5 m + S
V – VI	2 m + S	0,5 m + S; vähintään 2 m	1,5 m + S
	Kuormitustapaukset I – VI, etäisyys täyttyvä epäsuotuisimmalle tapaukselle: I) Ylempi linja maksimilämpötilassa ilman tuulta – alempi linja paljas johdin +35°C ilman tuulta. II) Ylempi linja 0°C yhtäläisellä jääkuormalla ilman tuulta – alempi linja paljas johdin 0°C. III) Ylempi linja 0°C epäyhtenäisellä jääkuormalla – alempi linja paljas johdin 0°C. IV) Molemmat linjat paljaat johtimet 0°C. V) Ylempi linja oikosulku lämpötilassa – alempi linja maksimilämpötilassa ilman tuulta. VI) Ylempi linja minimilämpötilassa, johon lisätty lämpötilan nousu oikosulun vuoksi – alempi linja paljas johdin minimilämpötilassa ilman tuulta.		

TAULUKKO 29. Minimietäisyys muihin voimajohtoihin tai tietoliikenneilmajohtoihin, erillinen rakenne välissä (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Etäisyys	Ylempi linja $U_s > 1$ kV, Alempi linja $U_s \leq 1$ kV tai tietoliikennejohto	Ylempi linja $U_s \geq 1$ kV, Alempi linja $1$ kV $< U_s \leq 170$ kv	Ylempi linja $U_s \geq 1$ kV, Alempi linja $170$ kV $< U_s \leq 245$ kv	Ylempi linja $U_s \geq 1$ kV, Alempi linja $245$ kV $< U_s \leq 420$ kv
A	1 m + S	1 m + S	1 m + S	1 m + S
B	1,5 m	1,5 m	2 m	3,5 m
C	2,5 m + S	2,5 m + S	3 m + S	4,5 m + S

Samansuuntaisten johtojen etäisyydet yhteisessä pylväässä ilmoitetaan taulukossa 30. Mikäli samassa pylväässä olevien johtojen omistaja on eri, tulee tehdä kirjallinen sopimus, jossa määritetään kunnossapidon ja

sähköturvallisuuden hoidosta. Yhteispylväissä molemmilla johdoilla tulee olla yhtenäinen maadoitusjärjestelmä.

TAULUKKO 30. Samansuuntaiset johdot yhteispylväessä (SFS-EN 50341-2-18:2016)

	Johdin, $U_s > 1 \text{ kV}$	Kaapeli, $U_s > 1 \text{ kV}$	Päällystetty johdin, $U_s \leq 1 \text{ kV}$
<b>Johdin, <math>U_s &gt; 1 \text{ kV}</math></b>	kts. taulukko 25	$1 + 0,02 \times (L - 50)$ , mikäli $L > 50$ , mutta vähintään 1 m	1)
<b>Kaapeli, <math>U_s &gt; 1 \text{ kV}</math></b>	$1 + 0,02 \times (L - 50)$ , mikäli $L > 50$ , mutta vähintään 1 m	0 m	0,3 m
1) Sallittu, mikäli johdon korkein jännite on $\leq 25 \text{ kV}$ ja: - toinen johto on pienemmällä jännitteellä ja johtojen väli ylittää 2 m - johtojen paljaiden osien välissä on vähintään 1 m puuta tai paljaat osat korkeajännitelinjasta on maadoitettu - kyseessä A -luokan johdot			

Mikäli suinkin mahdollista, samansuuntaiset johdot tulisi sijoittaa eri rakenteisiin siten, ettei mahdollinen kaatuminen tai rikkoutuminen vaikuttaisi toiseen johtoon. Samansuuntaisten tai yhtenevien johtojen vaakasuora etäisyys pylvään ja lähimmän jännitteisen osan välillä tulee olla vähintään  $2 \text{ m} + S$ . Mikäli tämä ei ole mahdollista, tulee pystysuoran etäisyyden olla vähintään 4 m.

Virkistysalueiden ja voimajohtojen etäisyydet määritetään taulukossa 31. Yleisesti ottaen virkistysalueiden suoraa ylitystä ei sallita.

TAULUKKO 31. Minimietäisyydet virkistysalueisiin (SFS-EN 50341-2-18:2016)

	Johto yläpuolella, pystysuora etäisyys	Johto lähistöllä, vaakasuora etäisyys
Paikat, missä ihmiset voivat kokoontua (esim. koulut, urheilu- ja leirintäalueet, leikkikentät, uimarannat)	-	20 m
Alueet, jotka eivät normaalisti ole tarkoitettu katselijoille (esim. golfkentät)	Kts. taulukot 27-29	Ei määritetty
Ampumaradat	-	Vähintään 20 m
Huomioitavaa: - Voimajohdon ei sallita menevän koulun pihojen, urheilu- tai leirintäalueiden, uimarantojen, leikkikenttien eikä paikkojen, missä on paljon katsojia ylitse. - Voimajohto ei saa mennä ampumaradan ylitse. Johtoa suunniteltaessa tulee tehdä tarkastelu vaakasuorasta etäisyydestä ampumaradan vieressä ja sen takana sisältäen luotien pysäytys radan takana. Arvioinnissa tulee myös ottaa huomioon voimajohdon näkyvyys ampumapaikasta.		



### 6.3 Yhteenveto

Etelä-Ruotsissa ylijännitteet ja ryömintämatkat ovat ilmansaasteiden vuoksi tärkeämpiä kuin Suomessa ja niille onkin annettu omat määritteensä.

Etäisyydet sinällään ovat lähestulkoon yhtäläiset. Ne kuitenkin ilmoitetaan eri tavalla, mikä voi aiheuttaa sekaannusta.

## 7 MAADOITUKSET

### 7.1 Maadoitukset Suomessa

Siirtyvien potentiaalien osalta noudatetaan standardia SFS 6001 ja viestintäverkkoon siirtyviä potentiaaleja koskevat vaatimukset esitetään Viestintäviraston määräyksessä M 43 kuten myös sallitut arvot sähköjohtojen maasuluista aiheutuvalle tietoliikennelaitteiden kosketeltavien metallisten osien maapotentiaalın nousulle.

Kosketusjännitettä  $U_T$  määritettäessä potentiaalınohjauselektrodit voidaan ottaa huomioon joko laskelmin tai mittaamalla. Potentiaalınohjaus voi muodostua esimerkiksi yhdestä tai useammasta elektrodista, jotka on yhdistetty galvaanisesti pylvään metallisiin, kosketettavissa oleviin osiin ja upotettu maahan noin 0,5 m syvyyteen 1,00-1,25 m etäisyydelle niistä. Mikäli pylvään läheisyydessä ei saavuteta sallittuja kosketusjännitetasoja, voidaan henkilöturvallisuutta parantaa joko erottamalla pylväs eristysaineisella aidalla, joka on sijoitettu riittävän kauas pylväsrakenteesta estämään metalliosien tahattoman kosketuksen tai korvaamalla maan pintakerros eristävällä aineella kuten soralla.

#### 7.1.1 Harustetut pylvääät

Harustetuissa pylväissä harus on suojamaadoitettava tai käytettävä haruseristintä mikäli

- harus sijaitsee alle  $0,5 \text{ m} + D_{el}$  etäisyydellä jännitteisestä osasta
- harus voi koskettaa jännitteistä osaa silloin, kun se on löystynyt tai irronnut
- puurakenteissa suurjänniteavojohdon ja tietoliikennejohdon kannattimen välillä on alle 1,0 m puuta enintään 45 kV jännitteellä tai 2,0 m puuta enintään 110 kV jännitteellä. Pienjännitteisellä kaapelilla riittää 0,1 m suuruinen pituus puuta.

Haruksen maadoitus on tehtävä siinä päässä, jonka irrottua jännite ei voi päästä harukseen. Pienjännitteisellä riippukaapelilla harus voidaan maadoittaa kaapelin maadoitetun kannatusköyden ja ripustuskoukun välityksellä, mikäli harus koskettaa kannatuskoukkaa yläpuolelta. Harus ei saa päästä löystyessään vahingoittamaan kaapelin eristystä eikä harusta saa kiinnittää pienjänniteilmakaapelin yläpuolelle samalle puolelle pylvästä.

Jos käytetään haruseristintä, se on sijoitettava siten, että etäisyysvaatimus  $0,5 \text{ m} + D_{el}$  toteutuu myös haruksen löystytyä tai irrottua. Haruseristimen etäisyys maan pinnasta on normaalissa tilanteessa oltava vähintään  $3,5 \text{ m} + D_{el}$  eikä eristin saa tulla etäisyyttä  $3,0 \text{ m} + D_{el}$  lähemmäksi maan pintaa haruksen ollessa löystynyt tai irronnut alapäästään.

## 7.2 Maadoitukset Ruotsissa

Ilmajohdoilla, joilla  $U_S$  on suurempi kuin 45 kV, tulee olla suojaus sähköaseman lähistöllä. Suojaköyden pituuden (m) tulee olla vähintään 3 kertaa johdon  $U_S$ , mikäli johto on vähintään 200 m pitkä. Maadoitetut suojaköydet ukkosjohtimien päällä antavat normaalisti riittävän suojauksen sähköiskua vastaan, mikäli suojakulma on vähemmän kuin 25-30 astetta mitattuna pystysuorasta linjasta suojaköyden ja uloimman johtimen välillä. Vaihtoehtoisesti orret pystytään maadoittamaan tehokkaalla pituussuuntaisella maadoitusköydellä.

### 7.2.1 Korroosioon ja mekaaniseen lujuteen liittyvät tekijät

Maassa olevien elektrodien tulee olla erikoislevyä, johtoja, putkia tai pyöröterästä. Kuumasinkitty teräs ja kuparilla päällystetyt johdot tai langat tulevat myös kyseeseen. Minimipoikkileikkaukset ja mitat eri materiaaleilla ovat seuraavat:

- kuparilevy  $1 \text{ mm} \times 0,5 \text{ m}^2$
- kuparilanka, poikkileikkaus  $25 \text{ mm}^2$

- teräslanka, poikkileikkaus  $50 \text{ mm}^2$
- teräsputki, ulkohalkaisija  $49 \text{ mm}$
- pyöröteräs, kulmaleikkaus  $60 \times 60 \times 6 \text{ mm}$
- kuparipäällysteinen teräslanka, poikkileikkaus  $25 \text{ mm}^2$
- kuparipäällysteinen teräsputki, halkaisija  $14,6 \text{ mm}$ .

Paljailla maadoitusjohtimilla maanpinnan yläpuolinen osa tulee olla selkeästi asennettu, jotta se havaitaan helposti ja se on mahdollisimman pitkälle helppopääsyisessä paikassa. Mekaanisia tai kemiallisia vaurioita ja, mikäli mahdollista, liitoksia tulee välttää. Maadoitusjohtimet, joiden poikkileikkaus on vähemmän kuin  $50 \text{ mm}^2$ , tulee suojata mekaanista vahinkoa vastaan maan päältä  $1,5 \text{ m}$  korkeuteen ja maan alta  $0,5 \text{ m}$  syvyyteen.

Mikäli mahdollista, maadoitus tulee tehdä pultatulla virtaa kuljettavalla johtimella, jotta maadoituselektrodi voidaan kytkeä pois maadoitusjohtimesta sen oman resistanssin mittaamista varten. Johdin ei saa olla avattavissa ilman työkaluja.

Maadoitusjohtimen tulee olla kuparia, kuumasinkittyä terästä tai kuparilla päällystettyä terästä. Maanpäälliset osat voivat myös olla alumiinia tai alumiiniseosta. Maadoitus tulee suunnitella niin, ettei maksimi maadoitusvirta aiheuta vaarallista johtimen tai sen ympäristön lämpenemistä. Vähimmäismitat poikkileikkauksille annetaan taulukossa 32.

TAULUKKO 32. Vähimmäismitat maadoitusjohtimen poikkileikkaukselle (SFS-EN 50341-2-18:2016)

	Kupari $\text{mm}^2$	Teräs $\text{mm}^2$	Kupari- päällysteinen teräs $\text{mm}^2$	Alumiini tai alumiiniseos $\text{mm}^2$
Maadoitusjohdin	25	50	25	-
<b>Muut johtimet maadoitustarkoituksessa:</b>				
Maanpinnan yläpuolella	10	25	25	30
Maan sisällä	25	50	25	-

## 7.2.2 Suunnittelu henkilöturvallisuuden kannalta

Paljaat ja johtavat osat tulee aina maadoittaa. Lähistöllä olevat rakenteelliset osat, jotka vian tai induktion vaikutuksesta tulevat kosketusjännitteiseksi ja voivat olla vaarallisia ihmiselle tai vahingoittaa omaisuutta, tulee maadoittaa. Taulukossa 33 annetaan arvoja kyseisille osille.

Maadoitusvian tulee nopeasti ja automaattisesti kytkeä pois päältä voimalinjoissa, joissa ei ole matalaa impedanssia maadoitusjärjestelmissä. Ulokkeet ja orret tulee aina olla yhteydessä maahan pylväissä, joissa on enemmän kuin yksi johto.

TAULUKKO 33. Maadoitusjärjestelmän yleiskatsaus korkean impedanssin järjestelmissä (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Järjestelmän koko ja tila	Irtikytkentä-aika alle	Maksimijännite	Maadoitusvian toteaminen ja laukaisuresistanssit
<b><math>U_s \leq 25kV</math></b>			
PE ja PEN - maadoitukset matalan jännitteen verkossa, jossa yhdistetty korkea- ja matalajännitteisten verkkojen maadoitus	5 s	EPR $\leq 100$ V	X <sup>1)</sup> voimajohdot tulee varustaa korkeimmalla mahdollisella herkkyydellä olevalla maadoitussuojalla. Laukaisuresistanssi aina 5000 $\Omega$ asti.
PE ja PEN - maadoitukset matalan jännitteen verkossa, jossa on erotettu korkea- ja matalajännitteisten verkkojen maadoitus	5 s	EPR $\leq 200$ V	Muilla voimajohdoilla tulee laukaisuresistanssi olla aina 3000 $\Omega$ asti.
Suljetut sähköalueet ja tilat, joilla ihmisten voidaan olettaa olevan	5 s 2 s	EPR $\leq 400$ V EPR $\leq 300$ V	
Muut alueet	5 s 2 s	EPR $\leq 600$ V EPR $\leq 800$ V	
<b><math>U_s &gt; 25kV</math></b>			
Korkean impedanssin maadoitetut järjestelmät $U_s \leq 25$ kV tai asetettujen arvojen mukaan	5 s 2 s	150V $\leq 3000 \Omega^* I_F$ [A] 240V $\leq 3000 \Omega^* I_F$ [A]	X <sup>1)</sup> voimajohdot tulee varustaa korkeimmalla mahdollisella herkkyydellä olevalla maadoitussuojalla. Laukaisuresistanssi aina 5000 $\Omega$ asti.
1) X voimajohdot sisältävät tyypin 2 vahvistetut johdot, päällystetyt johtimet tai eristetyt kaapelit ilman välitöntä maadoitettua suojaa.			

Matalan impedanssin maadoitetuissa järjestelmissä irtikytkentä täytyy tapahtua 0,5 s sisällä.

### 7.2.3 Toimenpiteet järjestelmissä, joiden tähtipiste on eristetty

Standardin kohtaa ei Ruotsissa käytetä voimajohtoihin eli maasulun ilmaisulaitetta tai sauvaeristimiä ei tarvitse käyttää.

## 7.3 Yhteenveto

Siinä missä Suomessa määritellään tarkasti etäisyysvaatimukset maadoituksille, keskitytään Ruotsissa maadoitusjohtimen ominaisuuksiin ja vaadittuihin irtikytkentäaikoihin.

## 8 PYLVÄÄT

### 8.1 Pylväiden vaatimukset Suomessa

#### 8.1.1 Teräksiset ristikkopylväät

Teräksiset ristikkopylväät mitoitetaan ilmajohtostandardin kohdan 7.3 sekä sen liitteen J mukaisesti aina eli myös silloin, kun standardissa esitetään mitoitukselle vaihtoehdoksi standardin EN 1993 käyttöä. Liitettä J käytetään sovelletuin osin, mikäli mitoitusta ei varmisteta täyden mittakaavan kokeilla, määritetään puristettujen sauvojen nurjahduskestävyys standardin SFS-EN 1993-3-1 mukaisesti.

#### 8.1.2 Puupylväät

Nimellisjännitteeltään enintään 1 kV johdoilla puupylvään latvahalkaisijan pitää olla vähintään 130 mm ja muilla johdoilla vähintään 150 mm. Pyöreiden puuosien hoikkuus määritetään keskihalkaisijan mukaan ja sallitut enimmäisarvot ovat

- vapaasti seisovalla puupylväällä ei rajoitusta
- harustetulla puupylväällä 250
- muilla puristetuilla puuosilla 200.

Puupylvään poikkipinnan kaventuminen voidaan huomioida käyttämällä mitattuja todellisia halkaisijoita. Suunnitteluvaiheessa pylväille käytetään vähimmäismittoja, jotka löytyvät pylvästoimittajien luetteloista tai standardista SFS 2662. Tarkkojen mittojen puuttuessa voidaan olettaa halkaisijan kaventumaksi 7 mm/m, kun latvahalkaisija on yli 180 mm ja 7,5 mm/m, kun se on alle 180 mm.

Puupylväiden sisäisten voimien ja momenttien laskennassa käytetään yleisiä rakenteiden mekaniikan ja lujuusopin menetelmiä. Puumateriaalin suuren joustavuuden takia joudutaan laskelmissa yleensä soveltamaan nurjahdustaivutusteoriaa joko perinteisillä menetelmillä, jotka perustuvat

pylvään ekvivalenttiin hoikkuuteen tai tarkemmilla toisen kertaluvun FEM-menetelmillä, joissa elementtijako on riittävä ja elementtien jäykkyystermit sisältävät puristavan voiman vaikutuksen. Tällöin nurjahdustaivutus ja geometrinen epälineaarisuus ovat laskennassa mukana automaattisesti.

Suomalaisesta männystä valmistettujen puupylväiden ominaisuuslujuuden vähimmäisarvo on  $f_k = 41,8$  MPa, jota myös käytetään mitoituksessa. Puun kimmokertoimen arvo saadaan puumateriaalin toimittajalta. Mikäli muuta arvoa ei ole tiedossa, niin suomalaiselle männylle voidaan käyttää arvoa  $E = 10\,000$  MPa.

Lahoamisesta johtuva puupylvään lujuuden heikkeneminen on todettava normaalin tarkastus- ja kunnossapitotoiminnan yhteydessä. Todelliset mitatut pylvään mitat ja lahoamissyvyys liitetään pienennettyyn materiaalikertoimeen. Koska lahoaminen tapahtuu useimmiten pylvään käyttöiän loppupuolella, voidaan kuormitusten vaikutuksia pienentää kertoimella, joka ottaa huomioon kuormitusyhdistelmien esiintymistodennäköisyyden lahoamisjakson aikana. Yhdistetyillä tuuli- ja jääkuormilla kerrointa sovelletaan molempiin kuormiin. Kerroin voidaan määrittää standardin SFS-EN 50341-1 liitteen B.2 kaavasta.

Vapaasti seisovat puupylväät tulee mitoittaa niin, että käyttörajatilassa eli 3-vuoden puuskatuuli -määritelmässä latvan taipuma on enintään 10% maanpäällisen osan korkeudesta.

### 8.1.3 Harustetut rakenteet

Useasta tasosta harustetuilla pylväillä materiaalien osavarmuusluvut  $\gamma_M$  on kerrottava lisäkertoimella 1,1 jalkojen osien mitoituksessa.

Haruskokoonpanon eli haruksen ja sen kiinnikkeiden lujuus määritetään voimajohtostandardin mukaisesti ottaen huomioon kiinnikkeiden aiheuttama pienennyskerroin. Osavarmuusluvut  $\gamma_{M2}$  murtolujuuteen nähden haruksilla ja niiden kiinnikkeillä on 1,40 ja haruseristimillä 2,00.



Yhdestä tasosta harustettujen pylväiden pääkomponenttien eli jalat, orsi ja harukset voimia laskettaessa voidaan soveltaa lineaarista kimmoanalyysia. Jalkojen ja orren kokonaisstabiileetti tarkistetaan kuitenkin erillisillä analyyseilla, joissa jalan puristavan voiman aiheuttama geometrinen epälineaarisuus otetaan huomioon.

Useasta tasosta harustetuilla teräspylväillä on laskentamallin otettava huomioon myös suuret siirtymät ja kuormitettujen pisteiden sijaintien muutokset. Harusten kokoja ja niiden esikiristyksiä määritettäessä pitää olla erityisen huolellinen. Väliharustasojen kohdalla olevien taivutusmomenttien vaikutukset jalkojen jännityksiin on tarkoin otettava huomioon. Erityistä huomiota on kiinnitettävä harusten löystymistarkasteluun kussakin kuormitustapauksessa.

Mikäli laskennassa on käytetty inkrementaalista suurten siirtymien FEM-menetelmää, ei erillistä kokonaisstabiileetin tarkistusta tarvitse tehdä. Puristettujen palkkielementtien jäykkyydessä toisen kertaluvun geometrisen epälineaarisuuden vaikutukset on menetelmässä otettu jo huomioon.

Harusmateriaalin ominaislujuus ei saa ylittää arvoa 1,6 GPa ja harusten mitoituksen pitää perustua valmistajan antamiin ja kokeilla todennettuihin parametrisarvoihin kuten kimmokertoimeen, vetolujuuteen ja kaussin halkaisijaan. Halkaisijaltaan riittäviä kausseja tai vastaavia varusteita on käytettävä, mikäli haruksia taivutetaan. Harusten kiinnittämisessä käytetään kiilakiristimiä tai muita asianmukaisia kiinnittimiä, jotka perustuvat luotettaviin ja dokumentoituihin tyyppikokeisiin. Vaijerilukkoja ei saa käyttää.

#### 8.1.4 Kunnossapitovalmiudet

Nimellisjännitteeltään vähintään 110 kV johtojen kaikki pylväät varustetaan standardin ISO 3864 mukaisilla sähkön vaarallisuudesta varoittavilla kilvillä. Myös alle 110 kV suurjännitejohtojen rakennusten tai

liikenneväylien lähellä sijaitsevat pylvääät sekä suurjännite- ja tietoliikennejohtojen yhteiskäyttö-pylvääät varustetaan samoilla kilvillä.

Ilmajohdon ylittäessä vesiväylän tulee johto merkitä molemmissa liikennesuunnissa suurimman sallitun mastokorkeuden ilmoittavalla kilvellä. Yksityiskohtaiset ohjeet merkinnästä esitetään Liikenneviraston ohjeessa 23/2014, Ilmajohdosten sekä kaapeleiden ja putkijohtojen asettaminen ja merkitseminen vesialueella. Ilmailuun liittyvien varoituslaitteiden käyttö mukaan lukien valot, kilvet, pylväiden maalaus jne. on esitettävä projektispesifikaatiossa. Lentokenttien ja -reittien lähellä sijaitsevien pylväiden erikoismääräykset löytyvät Liikenteen turvallisuusviraston määräyksestä AGA M3-6, Lentoesterajoitukset ja lentoesteiden merkitseminen.

Jos suurjännitejohdon pylväs on varustettu askelmilla tai muilla vastaavilla laitteilla siihen nousemista varten eikä alimpien, enintään 2,0 m:n korkeudella maasta olevien askelmien käyttöä ole estetty esimerkiksi lukitsemalla, askelmien lähelle on kiinnitettävä johdon vaarallisuudesta varoitettava kilpi. Kuitenkin, mikäli pylväs sijaitsee paikassa, missä ihmisiä usein oleskelee tai liikkuu, ei siinä saa olla alle 2,0 m:n korkeudella maasta askelmia tai ulkonemia. Ristikkopylvääseen kuuluvia vinositeitä ei pidetä askelmina eikä ulkonemina.

Mikäli johdossa on poikkeuksellisia jännitteitä, kuten 1000 V, johdon kaikki pylvääät on varustettava kilvellä, jossa kerrotaan käytetty jännite.

Pelloilla, laitumilla, liikenneväylän varsilla tai moottorikelkkareiteillä sijaitsevat harukset tulee merkitä näkyvästi esimerkiksi keltamustilla harusmerkeillä.

## 8.2 Pylväiden vaatimukset Ruotsissa

### 8.2.1 Teräksiset ristikkopylväät

Teräksisiä ristikkopylväitä valmistettaessa tulee huomioida standardi SS-EN 1090-2 (Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus) soveltuvin osin, säännös 8.2.4 koskien tupla-aluslevyjä yksinkertaisissa taiteliitoksissa voidaan kuitenkin jättää huomiotta. Materiaalin minimipaksuus teräsosilla tulee olla 3 mm avoimilla osilla ja 2,5 mm ontoilla osilla, jotka tulee varustaa vedenpoistolla.

Ristikkopylväiden osavarmuustekijän  $\gamma_{M2}$  pitää olla 1,2 poikkileikkausten, ruuvi- ja niittiliitosten murtokestävyyden osalta. Muiden osavarmuustekijöiden kohdalla mennään Eurokoodien antamien arvojen mukaisesti. Kokonaisuutena mitoitus menee muutoin varsinaisen ilmajohtostandardin EN 50341-1 liitteen J mukaisesti, paitsi yhdestä laipasta kiinnitettyjen kulmatankojen vetokestävyys lasketaan kaavan 9 mukaan eikä ilmajohtostandardissa esitetysti.

$$N_{sd} \leq A_{net} \times \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (9)$$

Puristettujen sauvojen tulee kestää nurjahdus ristikkopylväissä. Mitoitus tulee tehdä standardin EN 1993-3-1 liitteissä G ja H annettujen sääntöjen mukaisesti.

Ruuviliitokset ristikkopylväissä tulee suunnitella ilmajohtostandardin liitteen J5 ohjeen mukaisesti. Ruuvien reiät on hyvä porata, mikäli teräs on paksumpaa kuin 13 mm. Mutterit tulee lukita joko iskemällä, talttaamalla tai muulla luotettavalla tavalla.

### 8.2.2 Teräsputkipylväät

Mikäli projektispesifikaatiossa ei toisin määrätä, osavarmuusluku  $\gamma_{M2}$  on 1,2 ruuvien reikiä sisältävissä poikkileikkauksissa ja ruuvi- sekä

hitsiliitoksissa. Ruuviliitokset suunnitellaan samoin kuin ristikkopylväiden kohdalla.

### 8.2.3 Puupylväät

Puupylväiden suositeltu materiaali on metsämänty kuten Suomessakin. Harustetut tai vapaasti seisovat pylväät, jotka on upotettu maahan tai kiinnitetty kallioon, voidaan laskea kimmoteorian mukaisella kokonaistarkastelulla. Pylvään alustavaa kiertymistä ei tarvitse huomioida, mikäli se on teoreettisen suoran linjan pylvään kärjestä pylvään tyveen sisällä. Sisäiset voimat, momentit ja kuormitukset määritetään kimmoisuusanalyysillä.

Puuosien kestävyyttä laskettaessa lujuuden mitoitusarvon  $f_d$  äärimmäiset arvot saadaan taulukosta 34. Standardikuormitustapauksen 2a eli yhdenmukaiset jääkuormat kaikissa jänteissä, mitoitusarvo taivutukselle on 15,7 MPa ja Rajapylväs, joka on alttiina taivutuskuormille, mitoitetaan äärimmäiseen johdon suuntaiseen varmuuskuormaan 43 MPa.

TAULUKKO 34. Puupylvään mitoitusarvot (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Kuormituksen tyyppi poikkileikkauksessa	Mitoitusarvo [MPa]
taivutus	30
leikkaus	2,6
puristus, ilman nurjahduksen riskiä - kohtisuorat kuidut	4,0
puristus, ilman nurjahduksen riskiä - pitkittäiset kuidut	14,5
kimmokerroin - taipumiselle	10000
kimmokerroin - Euler -nurjahdukselle	5200

Puupylvään resistanssia vähentää lahoaminen, joka normaalisti alkaa maan tasalta. Lahoaminen voi olla eri tyyppistä ja pylväät lahoavat erilaisesti riippuen kyllästyksestä, maantieteellisestä sijainnista ja maaperästä. Taulukossa 38 mainittu mitoitusarvo taipumalle sisältyy tarkastusjaksoihin ja ottaa huomioon lahoamisen aiheuttamat muutokset.

Lahoavissa pylväissä mitoitettu taivutuksen kestävyys voi olla 33 % vahingoittumattomaan poikkileikkaukseen nähden. Nurjahduksen mitoitussarvo saadaan laskettua lisäämällä 33 % Euler-nurjahduksen kimmokertoimeen. Tätä mitoitussarvoa ei saa käyttää pylväille, jotka risteävät tien, rautatien tai muun alapuolisen johdon kanssa.

Mikäli pylvästä vahvistetaan lahoamisen vuoksi, elastisuus ja kestävyys tulee palauttaa samalle tasolle vahingoittumattoman pylvään kanssa. Jäljellä olevaa vahingoittumatonta puuta kuluneella alueella ei oteta huomioon vahvistuksen mitoituksessa.

#### 8.2.4 Betonipylväät

Betonipylväiden valmistus tulee tapahtua tehtaalla ja valmistajan tulee täyttää standardin SS-EN 13670 (Betonirakenteiden toteutus) laatuvaatimukset. Valmiin pylvään pinta tulee olla tasainen, koloja voi ilmetä valutavasta riippuen, mutta niiden alue koko pylvään pinnasta tulee olla alle  $5 \text{ cm}^2$   $100 \text{ cm}^2$  kohden ja keskimääräinen kolon syvyys tulee olla alle 3 mm. Pylväs, jossa on isompi osa koloja, voidaan hyväksyä, mikäli betonipäällyste on vähintään 10 mm lisättynä keskimääräiseen kolojen syvyyteen. Puhallusreiät voidaan korjata, mikäli lopputulos on yhtä pitkäikäinen kuin pylväs. Reikä suljetaan betonitulpalla ja vesi-sementtitahnalla.

Pylvään sisä- ja ulkopuoli tulee pinnoittaa bitumilla tai vastaavalla pylvään alaosaan aina 0,5 m maanpinnan yläpuolelle aggressiivisessa maaperässä eli maaperässä, jonka pH on vähemmän kuin 4,5 tai kalkin osuus aggressiivisessa hiilihapossa on suurempi kuin  $60 \text{ mg/dm}^3$ . Pylvään merkinnät sijoitetaan 4 m pylvään juuresta ja niistä tulee ilmetä valmistaja, valmistuspäivä, paino ja tyyppi.

Betonin lujuus tulee olla C40/50 – C50/60 eikä vesi-sementti suhde saa olla yli 0,45. Mikäli betonin lujuus tuontihetkellä on matalampi kuin lopullinen lujuus, käytetään alemmaa arvoa resistanssin ja halkeamien

määrittämiseen. Suoran linjan pylväillä maksimileveys halkeamille on 0,2 mm ja muilla pylväillä 0,1 mm.

#### 8.2.5 Harustetut rakenteet

Haruksen teräsvaijerit tulee olla Ruotsin standardin SS 424 08 06 mukaiset, kyseinen standardi antaa vaatimukset sinkki-päälysteisten teräsvaijereiden valmistamiselle. Minimissään murtolujuuden tulee olla 30 kN.

Haruksien kimmomoduuli on 180 000 MPa standardin SS 424 08 06 mukaisille teräsvaijereille ja mitoituksessa tulee ottaa huomioon haruksien sähköistymisen välttäminen. Harukset tulee asentaa niin, etteivät ne kosketa sähköistä johdinta rikkoutuessaan tai väliaikaisen löystymisen yhteydessä. Mikäli harukset asennetaan pylväaseen, jonka materiaali on eristävää, ei tarvitse erikseen maadoittaa harusta.

#### 8.2.6 Muut rakenteet

Liimapuupylväät tulee suunnitella ja valmistaa standardin EN 1995-1-1 ja Eurokoodien mukaisesti. Metsämäntyä suositellaan käytettäväksi materiaalina ja liiman tulee olla sään ja veden kestävä lämpötilasta -50 °C aina +200 °C asti. Päällimmäisessä kerroksessa tulee välttää puun sisimmän kerroksen käyttöä ja päädyt tulee suojata estämään kosteuden imeytyminen puun sisään.

#### 8.2.7 Korroosionesto ja viimeistely

Koska maalaaminen on yleisesti heikompi suojaus kuin galvanointi, on suositeltavaa lisätä materiaalin paksuutta maalatuilla osilla muutamia millimetrejä. Tämä on erityisen tärkeää meriolosuhteissa tai lähellä korroosiota kasvattavaa ympäristöä, jolloin tulee miettiä, onko maalaaminen yksistään riittävä korroosionesto.

Kuumasinkitys tulee tehdä standardin SS-EN ISO 1461 mukaisesti siten, että taulukossa 35 ilmoitetut minimipaksuudet päällysteelle saavutetaan. Mahdollinen vahinko sinkityksessä voidaan korjata joko maalaamalla kahdesti sinkkimaalilla, jossa sinkkipulveria on 92-95% kuivapainosta tai ruisku-sinkityksessä. Rikkoutunut kohta tulee ennen korjausta puhdistaa huolellisesti hiekkapuhalluksella tai vastaavalla ja kuivata sekä lämmittää ennen toimenpidettä.

TAULUKKO 35. Sinkin paksuudet korroosionestossa (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Teräksen paksuus	Fe/Zn 95		Fe/Zn 115		Fe/Zn 215	
	Pinnoitteen paikallinen paksuus	Pinnoitteen keski-määräinen paksuus	Pinnoitteen paikallinen paksuus	Pinnoitteen keski-määräinen paksuus	Pinnoitteen paikallinen paksuus	Pinnoitteen keski-määräinen paksuus
mm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
t > 6	85	95	100	115	190	215
t ≤ 6	70	85	85	95	115	140

Fe/Zn 95: Teräsosille ilmassa  
 Fe/Zn 115: Kiilatuille ankkuripulteille  
 Fe/Zn 215: Maassa oleville teräksille

Ruiskutetun sinkin paksuus ei saa olla vähempi kuin kuumasinkityn sinkkauksen. Mikäli käytetään säänkestävää terästä, tulee ruosteen vaikutus ottaa huomioon Korroosioinstituutin julkaisuista 94 ja 97.

### 8.2.8 Turvallisuusvaatimukset

Pylväät alueilla, joissa luvaton kiipeäminen ilman kiipeilyvarusteita on mahdollista, tulee varustaa kiipeilyn estävillä ratkaisuilla. Tällaisia alueita ovat paikkoja, joissa lapset ja nuoret oleilevat, kuten koulut, urheilualueet ja leikkipaikat. Kiipeilyn esto tulee olla normaalisti asennettu aina 2,5 m korkeuteen maanpinnasta.

### 8.3 Yhteenveto

Pylväiden suunnittelu tapahtuu molemmissa maissa samojen perusteiden mukaisesti, ainoastaan vaatimusten ilmaisutavassa on eroja.

## 9 PERUSTUKSET

### 9.1 Perustusten suunnittelu Suomessa

Perustusten suunnittelu ja mitoitus tehdään standardien SFS-EN 1992-1-1 (Betonirakenteiden suunnittelu) ja SFS-EN 1997-1 (Geotekninen mitoitus) sekä niiden kansallisten liitteiden mukaisesti. Lisäksi tulee noudattaa seuraavia suomalaisia julkaisuja:

- Betoninormit, BY 50
- Betonirakenteiden suunnitteluohje, BY 61
- Betonirakenteiden säilyvyysohjeet ja käyttöikämitoitus, BY 32
- Lyöntipaalutusohjeet, LPO-2005
- Pohjarakennusohjeet, RIL 121-2004
- Kansalliset rakentamismääräykset: Pohjarakenteet, RakMK B3
- Kansalliset rakentamismääräykset: Betonirakenteet, RakMK B4
- Pienpaalutusohje, PPO-2007.

Lisäohjeita voidaan antaa myös projektispesifikaatiossa. Perustusten suunnittelun osalta nyt käsiteltävänä olevan standardin SFS-EN 50341-2-7:2015 esittämät ohjeet ovat edellä mainittujen standardien sisältöä tarkentavia. Kuitenkin lujuuskoordinaatiota koskeva määrittäminen on velvoittava.

Varsinaisen ilmajohtostandardin liitteen M.2 (ylösvetokestävyyden laskenta) ja M.3 (kestävyyden määrittäminen) laskentamalliesimerkkejä ei voi suoraan soveltaa Suomessa, mutta niiden osia voidaan käyttää esimerkkeinä.

Perustusten suunnittelussa on otettava huomioon mahdolliset roudan vaikutukset. Roudan syvyyksiä esitetään julkaisussa RIL 207 tai projektispesifikaatiossa. Maan ja perustuksen oman painon sekä maanpaineen osavarmuusluvut ovat standardin SFS-EN 1997-1 mukaiset. Pohjaveden aiheuttaman nosteen vaikutus on myös huomioitava. Mikäli



pohjaveden pinnan korkeus ei ole tiedossa, on suunnittelussa käytettävä arvo annettava projektispesifikaatiossa.

Perustukset mitoitetaan rajatilamenetelmällä, joten pylväiltä tulevat kuormat on kerrottava luvulla 1,1. Nimellisjännitteeltään yli 45 kV johtojen kulma-, kiristys- ja päätepylväiden tulee olla 10 % vahvempia kuin suoran linjan pylväiden, joten niiden kuormat muilla kuin asennuskuormituksilla kerrotaan myös perustuksille lisäkertoimella (x1,1), jolloin kokonaiskertoimeksi saadaan (x1,21). Perustuksiin käytettävän betonin puristuslujuuden on oltava vähintään C25/30.

### 9.1.1 Geoteknisen mitoituksen perusteet

Perustusten mitoituksessa käytettävä geotekninen luokka määritellään kohdekohtaisesti projektispesifikaatiossa. Mikäli tarkempia tietoja ei ole, nimellisjännitteeltään enintään 45 kV johtojen perustukset kuuluvat luokkaan GL1 ja yli 45 kV johtojen perustukset luokkaan GL2.

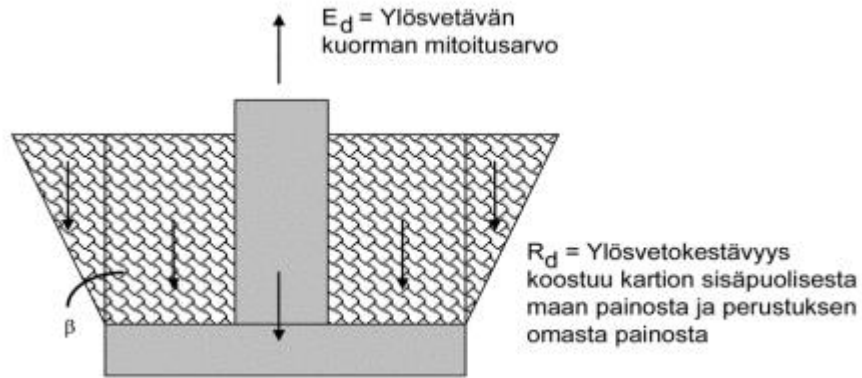
Antura-, laatta- ja paaluperustusten, ankkureiden sekä tukirakenteiden kantokyvyn mitoituksessa käytetään standardin SFS-EN 1997-1, Eurokoodi 7:n kohdan 2.4.7.3.4.3 mukaista mitoitustapaa 2. Kaikissa voimajohtopylvään kuormitustapauksissa kantokyvyn osavarmuusluku  $\gamma_R = 1,55$ , ellei projektispesifikaatiossa ole toisin määritelty.

Mikäli perustus sijoitetaan kalliolle, moreenille tai muulle karkearakeiselle maaperätyypille, ei kimmoisten siirtymien (< 30 mm) tarkastelua ole tarpeen tehdä. Opastava esimerkki luotettavuuden laskennasta kallistumalle tai kaatumiselle sekä kuormien epäkeskisyyden tarkastelusta on voimajohtostandardin liitteessä M.3.1.3.

Ylösvetokestävyys tarkistetaan kaikille kuormitustapauksille.

Osavarmuusluku on asennuskuormituksilla  $\gamma_R = 1,0$  ja muilla  $\gamma_R = 1,1$ , ellei projektispesifikaatiossa ole toisin määritetty. Perustamistavasta ja maaperästä riippuen laskentamalli voi perustua maakartiomenetelmään, joka on esitetty kuvassa 5. Kartion oletetaan alkavan perustuslaatan

yläpinnasta ja sen kaltevuuskulma pystysuorasta  $\beta = 0 - 30$  astetta riippuen maaperätyypin sisäisestä kitkakulmasta.



KUVA 40. Perustusten ylösvetokestävyys  $R_d$  (SFS-EN 50341-2-7:2015)

Harustettujen pylväiden suorakaiteen muotoisten ankkurilaattojen ylösvetokestävyys määritetään seuraavia kaavoja käyttäen. Parametreille  $k$ ,  $\Phi$  ja  $C$  käytetään arvoja, jotka johtavat varmemmalla puolella olevaan mitoitukseen. Kaava (10) määritetään maan kitkan ja kaava (11) maan koheesion kautta. Molemmissa pätee sääntö  $0,3 \times U < h < U$ . Ylösvetokestävyuden osavarmuusluku on asennuskuormituksilla  $\gamma_R = 1,0$  ja muilla  $\gamma_R = 1,1$ , ellei projektispesifikaatiossa ole toisin määritetty.

$$R_k = G + k \times h^2 \times U \times \tan\Phi \quad (10)$$

$$R_k = G + C \times h \times U \quad (11)$$

$G$  = Ankkurilaatan ja sen päällä olevan maan kokonaispaino [kN]

$U$  = Ankkurilaatan ympärysmitta ABCD [m]

$h$  = Ankkurilaatan upotussyvyys mitattuna sen alapinnasta [m]

$k$  = Maaperän kitkasta riippuva vakio. Seuraavia arvoja voidaan käyttää:

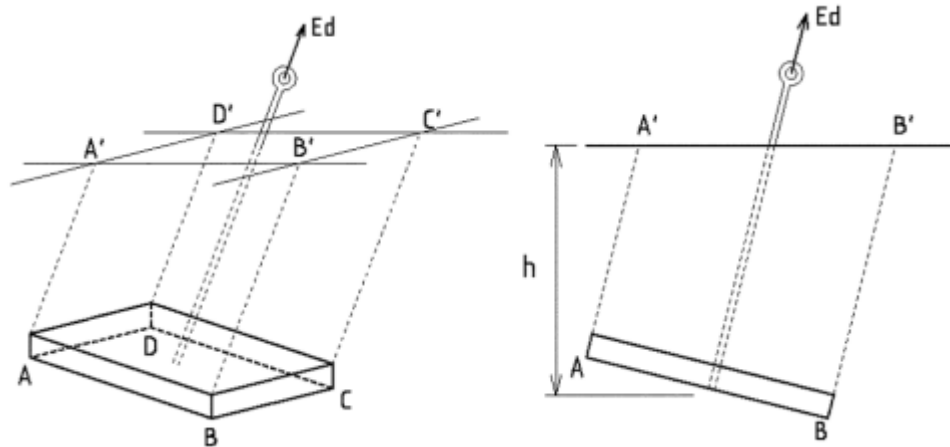
$k = 13 \dots 18$ kN/m <sup>3</sup>	louhoskivitäyte
$9 \dots 16$ kN/m <sup>3</sup>	moreeni
$11 \dots 16$ kN/m <sup>3</sup>	sora
$10 \dots 15$ kN/m <sup>3</sup>	hiekkä
$9 \dots 13$ kN/m <sup>3</sup>	hieta

$\Phi$  = Sisäisen kitkan kulma

$C$  = Tarkasteltavan maaperän koheesiosta riippuva vakio:

$C = 0 \dots 7$ kN/m <sup>2</sup>	pehmeä savi
$7 \dots 15$ kN/m <sup>2</sup>	sitkeä savi
$15 \dots 40$ kN/m <sup>2</sup>	kova savi

Kuvassa 6 esitetään kaavojen selitykset graafisesti.



KUVA 6. Harusankkurien ylösvetokestävyys  $R_d$  (SFS-EN 50341-2-7:2015)

Mikäli riittävästi koetuloksia tai kokemusta on olemassa, voidaan harusten kallioankkuripulttien tai kiinnikkeiden eli U-pulttien vetokapasiteetti laskea käyttäen ankkuripulttien kitkaa graniitti-gneissi-basaltti kallioperässä edellyttäen, ettei kallioperä ole rikkonainen.

## 9.2 Perustusten suunnittelu Ruotsissa

Eurokoodit ja yleiset vaatimukset standardeissa EN 1997-1 ja EN 1997-2 määrittelevät betoni-, teräs- ja puuperustusten rakennesuunnittelun ja kaikkia kolmea tulee käyttää yhtä aikaa suunnittelussa.

Betoniperustuksilla betonin laatuluokka tulee olla vähintään C25/30, korkeampaa laatua saatetaan vaatia, mikäli perustukset ovat paikassa, jossa betonin kuluminen on nopeampaa. Halkeamien ja muiden huoltorajojen määrittämiseen käytetään taulukon 14 sarakkeen 2

osavarmuuslukuja. Kaavoissa oletetaan olevan tyyni sää 0 °C ja johdinten jännitys esiasteella.

Teräsperustuksissa teräs tulee suojata tehokkaasti ruostetta vastaan. Korroosion todennäköisyys on suurempi maaperässä kuin ilmassa ja korroosioprosessi on huomattavasti monimutkaisempi. Ennen suojausmenetelmän valintaa tulee tutkia, millainen maaperä kohteessa on. Hyvin kuivavassa hiekassa tai sorassa todennäköisyys korroosiolle on hyvin pieni verrattuna soiseen maaperään tai pohjaveden muodostumisalueelle. Kuumasinkitys antaa riittävän suojan suurimmalla osalla maatyypeistä, aggressiivisimmissa maaperissä lisäsuojaus voidaan suorittaa esimerkiksi paksummalla sinkkipäälysteellä tai kerroksella bitumia.

Mikäli puuta käytetään pylväiden perustuksissa, tulee puu kyllästää. Poikkeus tästä on se, että puu asennetaan veteen tai maaperään, joka suojaa sitä maatumiselta. Tällaista maaperää on savi, lima tai muta, joissa on vedellä täyttyneitä huokosia estämään ilman pääsemisen puuhun.

### 9.2.1 Geotekninen mitoitus

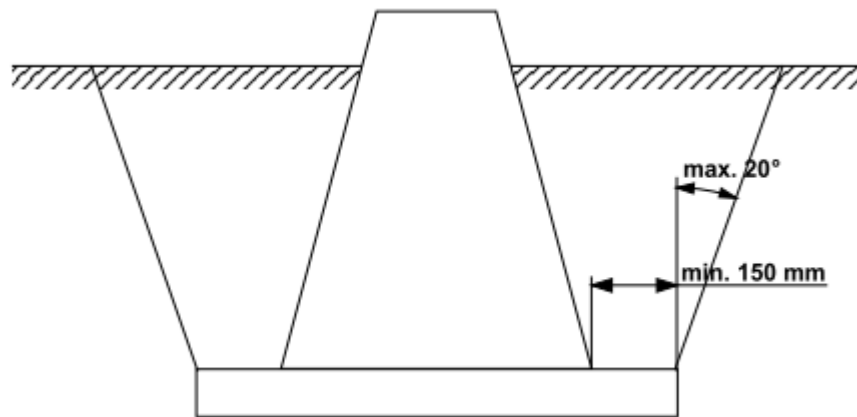
Osavarmuustekijöille käytetään taulukon 14 arvoja ja betonin erityiset painosta aiheutuvat voimat ylösvetoa ja kaatumista vastaan oletetaan olevan 23 kN/m<sup>3</sup> pohjaveden yläpuolella ja 13 kN/m<sup>3</sup> sen alapuolella.

Täytetty kaivanto ei välittömästi saa takaisin muokkaamattoman maaperän ominaisuuksia, vaikka täyttömaa pakattaisiin tiukkaan. Mikäli perustukseen kohdistuu suuria voimia ennen täyttöä, tulee se ottaa huomioon laskelmissa.

Kallioperustukset tulee suunnitella kestävänsä kuormaa, ylösvetoa, puristusta ja repimistä. Ankkurointi tulee tehdä ankkuripulteilla ja kallion lujuus tulee ottaa laskelmissa huomioon, ettei puristuskapasiteetti ylitä.

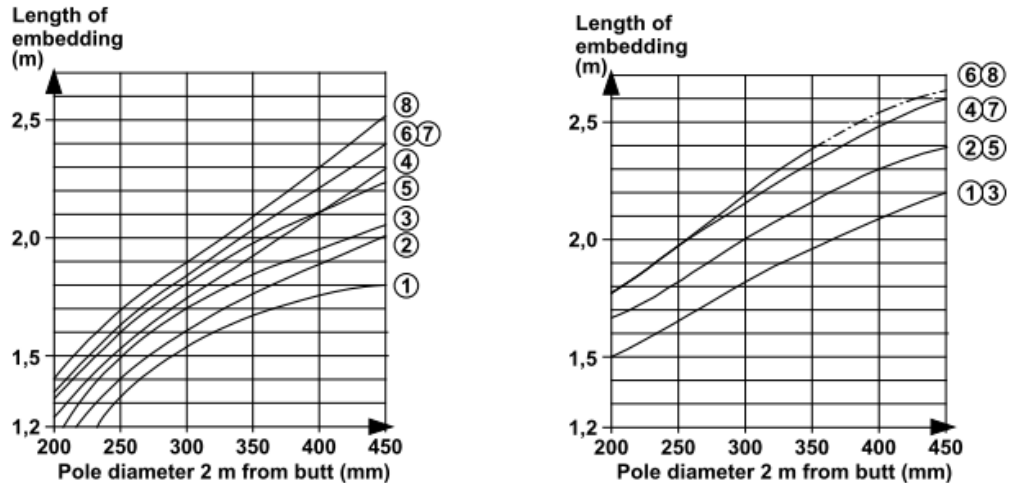
Kallioperustukset tehdään EN 1997:n mukaan, valetut perustukset tulee suunnitella niin, että ylösvedon vastus on vähintään 0,9ertainen mitoitusarvoon nähden äärimmäisissä raja-arvoissa. Pysyvää jännitystä tulee perustuksille kulma- ja päätepylväillä, joiden vastuskerroin tulee olla vähintään 1,05ertainen mitoitusarvoihin nähden.

Ylösvedovastus johdetaan perustuksen omasta painosta ja maaperästä, vedenpinnan alapuolisille perustuksille ja maaperälle tulee ottaa huomioon pohjaveden noste. Maaperästä riippuen on hyvä laskea vastus useimmilla kulmilla, maksimin ollessa kuitenkin 20 °. Kuvassa 7 esitetään perustuksen raja-arvot.



KUVA 7. Perustuksen mitat ylösvedon suhteen (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Puupylväät, jotka upotetaan kovaan maahan, eivät tarvitse erityisiä perustuksia. Pehmeässä maassa saattaa olla syytä tukea soralla tai vastaavalla pylvään ympäryks. Vapaasti seisovalla pylväällä upotussyvyys riippuu maaperästä ja pylvään halkaisijasta 2 m sen juuresta, kuten kuvassa 8 esitetään. Vasemmalla oleva kuvio koskee pylväitä, joissa tuki on tehty kivillä ja oikeanpuoleinen ilman lisätuenta. Maaperä on määritelty taulukossa 37 ja pohjaveden vaikutus taulukossa 36.



KUVA 8. Pylväiden vaadittu upotussyvyys kivillä tuennan kanssa ja ilman sitä (SFS-EN 50341-2-18:2016)

TAULUKKO 36. Upotussyvyyden lisäys puupylväille maaperässä, jossa on pohjavettä (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Perustus	Upotussyvyyden lisäys metreissä pohjaveden tason ollessa	
	0 – 0,8 m	(0,8) – 1,6 m
	maanpinnan alla	
Lisätuennalla	0,3	0,1
Ilman lisätuentaa	0,2	0,1

TAULUKKO 37. Maaperän määrittelyt kuvan 43 tapauksissa (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Maaperän laatu	Kaivettavuus	Käyrä No.
Sora- tai hiekka moreeni	kova	1
Hiekka ja kivinen, moniasteinen sora	kova	2
Hienojakoinen, hiekkainen moreeni	normaali	3
Hiekka ja pienikivinen	normaali	4
Lietteinen moreeni	pehmeä	5
Savinen sora	pehmeä	6
Savinen moreeni	pehmeä	7
Lietteinen, savinen hiekka ja kuiva, sorainen savi	pehmeä	8

### 9.2.2 Maaperä tutkimus ja geotekninen informaatio

Mikäli maaperä tutkimusta ei tehdä, voidaan käyttää taulukon 38 arvoja. Muille pehmeille maaperille voidaan harkita pienempiä arvoja. Sisäisen

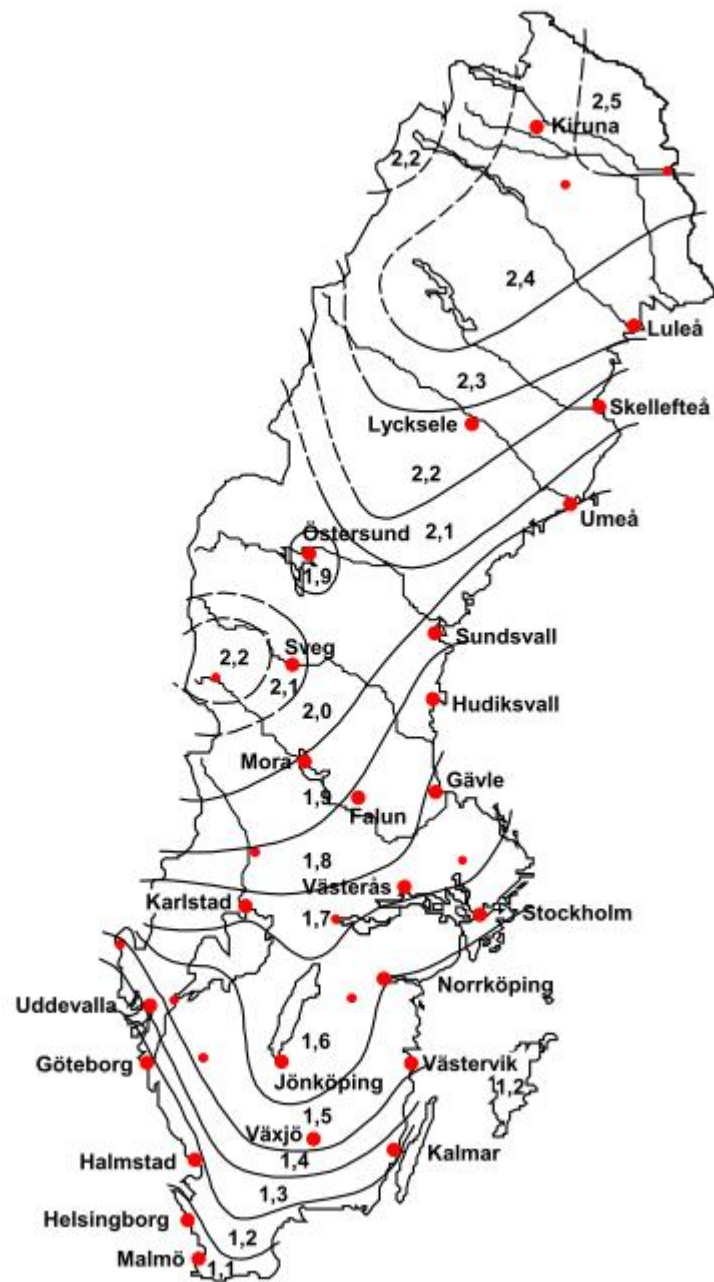
kitkan, yhtenäisyyden ja katkaistun kartion kulman arvot tulee valita testien tai käytännön osoittamien arvojen mukaisesti. Muut maaperän arvot voidaan ottaa käsikirjoista, joissa käsitellään Ruotsin olosuhteita.

TAULUKKO 38. Maaperän ominaisuuksia (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Maaperän tyyppi	Painon aiheuttama voima		Katkaistun kartion kulma perustuksille <sup>1)</sup> ylösvedon määritykseen
	luontainen kosteus kN/m <sup>3</sup>	kelluvuuden kanssa kN/m <sup>3</sup>	
Moreeni, sora, tiivis hiekka	18	11	20
Muut ei-yhtenäiset maaperät	16	9	20
Savi	16	6	0
Irttonainen savi	15	5	0
<sup>1)</sup> Minimipituus 150 mm levyn reunasta kartion reunaan, kts. kuva 42			

Perustukset tulee tehdä pakkasenkestävään syvyyteen. Tämä syvyys riippuu kylmän ilman voimakkuudesta ja kestosta, maaperästä sekä lumen paksuudesta ja kestosta. Kuvan 9 kartassa esitetään mineraalipitoisessa maassa pakkasenkestävät syvyydet ilman lumikerrosta. Lumikerroksen kanssa pakkasenkestävä syvyys on yleisesti maksimissaan 1,5 m normaalille mineraalipitoiselle maaperälle. Mudalle ja vastaavalle maa-ainekselle syvyys on matalampi, yleisesti puolet mineraalipitoisen maaperän syvyydestä.

Perustukset tulee tehdä muokkaamattomaan maaperään, mikäli tämä ei ole mahdollista, tulee perustuksen alle jäävä maaperä tiivistää huolellisesti.



KUVA 9. Ruotsin kartta pakkasenkestävistä syvyyksistä mineraaliperäisessä maaperässä ilman lumikerrosta (SFS-EN 50341-2-18:2016)

### 9.3 Yhteenveto

Ruotsissa perustusten vaatimat arvot on avattu tarkemmin, itsessään arvot ovat kutakuinkin samat molemmissa maissa.



## 10 VAIHE- JA UKKOSJOHTIMET SEKÄ ERISTIMET JA VARUSTEET

### 10.1 Johtimet

#### 10.1.1 Suomen määräykset johtimille

Suurimmat suositellut johdinlämpötilat esitetään taulukossa 48. Johtimien lämpenemisen laskennassa on otettava huomioon oikosulun tai maasulun aiheuttaman johdinlämpötilan nousu, oiko- ja maasulkusuojausten kokonaistoiminta-aika sekä automaattiset ja käsin tehdyt jälleenkytkennät. Johtimen oletettu lämpötila ennen vikaa on +40°C ja tuulen nopeus 0,6 m/s.

Johtimen perusjännitys on johdinjännitys perustilassa sen jälkeen, kun virumisen aiheuttama jännityksen pieneneminen on loppunut.

Perusjännitys valitaan sellaiseksi, ettei mikään sää- tai kuormatila aiheuta johtimeen sallittua suurempaa jännitystä. Valintaa tehdessä on otettava huomioon johtimen värähtely ja sen aiheuttamat rasitukset.

Johtimen värähtely ei yleensä aiheuta vaarallisia rasituksia, kun perusjännitys on enintään taulukon 39 mukainen. Alemmat arvot on tarkoitettu ohuille johtimille ja sellaisille kaksiaineisille johtimille, joilla teräksen osuus on pieni.

TAULUKKO 39. Johtimien suositeltavat perusjännitykset ja johdinlämpötilat (SFS-EN 50341-2-7:2015)

Johdintyyppi	Suurin perusjännitys [MPa]	Maksimilämpötila kuormitusvirralla [°C]	Maksimilämpötila oikosulkuvirralla [°C]
AL1/STyz	45...60	80	200
AL2...7/STyz	45...60	80	200
AL1	27	80	160
AL2...7	30...50	80	200
STyz	150...180	80	200
Cu	100	70	200

Kaikilla johdintyypeillä nimelliseen vetomurtolujuuteen sovellettavan osavarmuusluvun pitää olla vähintään  $\gamma_M = 1,5$ .

### 10.1.2 Ruotsin määräykset johtimille

Eristetyt ilmajohtojen kaapelit tulee valmistaa ja testata voimassa olevien Ruotsin standardien mukaisesti. Venymän ja jännityksen laskemisen tulee perustua huollettavuuden raja-arvoon rasituksessa, joka on maksimissaan 50% koko kaapelin ja siihen liittyvien varusteiden jännityksen kestoarvosta.

Kaikille johtimille minimipoikkipinta-alat annetaan taulukossa 40. Alumiini-Magnesium-Pii -johtimen materiaali tulee olla standardin SS 424 08 11 mukainen ja Al59 -johtimen materiaali standardin SS 424 08 13 mukainen.

TAULUKKO 40. Johtimien minimikoot vahvistettujen johtojen luokissa 1 ja 2 (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Korkein järjestelmän jännite $U_s$ kV	Johtimen minimipinta-ala				
	Alumiini-johdin teräs-vahvistuksella $\text{mm}^2$	Alumiini-sekoite-johdin $\text{mm}^2$	Alumiini-johdin $\text{mm}^2$	Teräs-johdin $\text{mm}^2$	Kupari-johdin $\text{mm}^2$
$\leq 24$	62	99	157	33	25
(24) – 55	62	99	157	33	35
(55) – 84	99	157	241	33	50
$> 84^1)$	157	241	329	52	120
<sup>1)</sup> Yli 84 kV verkon jännitteellä voi suurilla alueilla joutua ottamaan huomioon häiriöt radioverkossa.					

Mikäli toisin ei projektispesifikaatiossa ilmoiteta, tulee johdon normaalilla kuormalla maksimilämpötila olla 70 °C, maksimilämpötila lyhytaikaisesti joinakin päivinä vuodessa 100 °C ja verkkoviasta johtuva maksimilämpötila 100 °C.

Valokuituja sisältävät vaihe- ja ukkosjohtimet tulee olla poikkipinta-alaltaan vastaavat kuin saman materiaalin taulukossa 49 ilmoitetut johtimet, ellei asiakas toisin ilmoita.

Johtimien kuormituksen mitoitusarvoa  $f_d$  laskettaessa tulee käyttää alumiini-, alumiiniseos-, teräs- ja kuparijohtimien taulukon 41 arvoja. Vaihtoehtoisesti voidaan kimmokerroin saada standardin SS-EN 50182 mukaisista testeistä. Johtimille, joiden materiaalia ei mainita taulukossa, tulee kimmokerroin ja kuormitus määrittää saman standardin mukaisesti.

TAULUKKO 41. Kimmokerroin, ryöminnän aiheuttama pidennys ja laajennuskerroin johtimille (SFS-EN 50341-2-18:2016)

Johdintyyppi ja nauhoitus	Kimmokerroin		Korkein rasitus $\sigma_p$ , mikä pätee annetulla $E_{IL}$ -arvolla	Pysyvä viruman aiheuttama pidennys			
	Alustava, ennen jääkuormaa $E_{iL}$	Lopullinen, jääkuorman kanssa $E_p$		Osatekijä x	$\epsilon_c$	Vastaavuus lämmön nousuun	Laajennuskerroin
	MPa	MPa					
<b>Kokonaan alumiinia</b>							
7 lankaa	47 000	61 000	60	280	0,8	35	23
19 lankaa	45 000	60 000	60	280	0,8	35	23
37 lankaa	43 000	58 000	60	280	0,8	35	23
61 lankaa	40 000	56 000	60	280	0,8	35	23
<b>Alumiiniseos</b>							
7 lankaa	65 000	67 000	100	140	0,4	17	23
19 lankaa	61 000	64 000	100	140	0,4	17	23
37 lankaa	57 000	62 000	100	140	0,4	17	23
61 lankaa	53 000	60 000	100	140	0,4	17	23
<b>Alumiinijohdin teräsvahvistuksella</b>							
1+6 lankaa	59 000	80 000	135	145	0,3	16	19
7+12 lankaa	91 000	105 000	170	75	0,2	13	15
7+26 lankaa	60 000	76 000	120	160	0,4	21	19
7+32 lankaa	74 000	83 000	150	80	0,3	17	18
7+42 lankaa	47 000	60 000	100	145	0,5	24	21
7+54 lankaa	52 000	72 000	120	90	0,4	21	19
19+54 lankaa	51 000	71 000	120	85	0,4	21	19
<b>Kupari</b>							
	100 000	116 000	200	166	0	0	17
<b>Teräs</b>							
600 MPa	163 000	180 000	330	-	0	0	11
1400 MPa	180 000	180 000	770	-	0	0	11

## 10.2 Eristimet

### 10.2.1 Yleiset sähköiset vaatimukset

Eristimien tyypillisiä sähköisiä kestojäännitteitä esitetään taulukossa 42.

Suluissa näkyvät suuremmat arvot ovat ohjearvoja, joita sovelletaan, kun halutaan saavuttaa normaalia suurempi turvallisuus ja toimintavarmuus.

Suluissa olevia pienempiä arvoja voidaan käyttää, jos kytkentäylijännitettä

on tehokkaasti rajoitettu. Eristimelle, jota rasittaa pääjännite ja vaiheiden väliset kytkentäylijännitteet, pitää valita suuremmat kestojännitteet.

Suojamaadoittamattoman haruksen haruseristimen pitää kestää vaihtojännitekokeessa järjestelmän nimellisjännitteen suuruinen käyttötaajuinen jännite. Maadoitusjännitteen aiheuttama jänniterasitus saa olla enintään 60 % suojamaadoitetun haruksen haruseristimen kestojännitteestä vaihtojännitekokeessa.

TAULUKKO 42. Eristimien sähköisiä kestojännitteitä. (SFS-EN 50341-2-7:2015)

Nimellisjännite [kV]	Suurin käyttöjännite [kV]	Koejännite vaihtojännitteellä [kV]	Koejännite salamasyöksyjännitteellä [kV]	Koejännite kytkentäsyöksyjännitteellä [kV]
≤ 10	≤ 12	28	75	-
20	24	50	125	-
30	36	70	170	-
45	52	95	250	-
110	123	230	450 (550)	-
220	245	360	750 (850)	-
400	420	-	(1175) 1300 (1425)	(950) 1050 (1175)

### 10.2.2 Mekaaniset vaatimukset

Ruotsissa mitoitusarvo  $E_d$  taulukon 11 tapauksella 2 tulee olla vähemmän tai yhtä suuri kuin mitoitettu eristimen resistanssi  $R_d$ , joka lasketaan kaavan 12 mukaisesti.

$$R_d = \frac{F_{UK}}{\gamma_M} \quad (12)$$

$F_{UK}$  on määritetty mekaanisen vian kuorma eristinketjuille ja haruseristimille.  $\gamma_M$  puolestaan riippuu eristimen materiaalista ja on posliini- tai lasieristinketjulle sekä komposiitti eristinketjulle ja haruseristimille 2,5 ja 2,0 pylvään eristimille.

### 10.2.3 Tyypikoevaatimukset

Suomessa eristinyksiköiden läpilyöntikoe tehdään standardin EN 60383-1 mukaisesti koejännitteellä, joka on vähintään kaksinkertainen standardinmukaisella syöksyjännitteellä 1,2/50 ms määritettyyn 50 % ylilyöntijännitteeseen nähden em. standardin mukaisessa asennuksessa.

## 10.3 Varusteet

### 10.3.1 Sähköiset vaatimukset

Suomessa ei ole lisävaatimuksia standardiin, Ruotsissa on määritetty, että johtimen liitoksen, kiristyskiinnittimen ja jompin kiinnittimen tulee omata suurempi kantokapasiteetti kuin itse johtimen. Jännitteen pudotus virtaa kuljettavassa johtimessa ei myöskään saa olla suurempi kuin 55 % vastaavan pituisen johtimen jännitteen pudotuksesta.

### 10.3.2 Mekaaniset vaatimukset

Johtimen kiinnityksen pitää olla sellainen, ettei johdin pääse luistamaan kiinnityksestä sen katkettua viereisessä jännteessä. Mikäli johtimen liitokseen tai pidikkeeseen kohdistuu huomattavia rasituksia, pitää liitoksen murtolujuuden olla vähintään 90 % johtimen nimellismurtolujuudesta tai sitten johtimen sallittu jännitys on laskettava liitoksen lujuuden perusteella. Risteämisjänteissä pitää välttää liitoksen asentamista keskijännteeseen.

### 10.3.3 Materiaalien valinta ja määrittäminen

Suomessa johtovarusteiden materiaaleja valittaessa sovelletaan minimikäyttölämpötilaa  $-40^{\circ}\text{C}$ , ellei projektispesifikaatio edellytä vieläkin alhaisempaa lämpötilaa.

#### 10.4 Laadunvarmistus, tarkastukset ja vastaanotto

Suomessa standardi EN 50341-1:n määräykset ovat voimassa, ellei projektispesifikaatiossa ole määritelty toisin. Ruotsissa suurjännitelinjat matalan impedanssin maadoituksella tulee lisensoida Ruotsin kansallisen sähköturvallisuusviraston kautta ennen linjan käyttöönottoa. Tämä koskee verkkoja, joilla maadoitusvian arvo on yli 500 A.

#### 10.5 Yhteenveto

Suuria eroja ei varusteiden kohdalla ole annettu, Ruotsissa tekniset ominaisuudet on kirjoitettu laajemmin auki, kuten yleisestikin tämän standardin kohdalla.

## 11 YHTEENVETO

Maiden standardien välille ei suuria eroja työssä ilmennyt, paikoin hämmennystä herätti erilainen ilmoitustapa esimerkiksi etäisyyksien kohdalla. Tämä todennäköisesti selittyy eri kansallisten komiteoiden omilla, totutuilla asioiden esitystavoilla. Kansallisista eroista johtuen tulee suunnittelijan tarkastaa standardi tapauskohtaisesti.

### 11.1 Case Eltel

Voimajohtojen suunnittelussa sen maan, mihin johto suunnitellaan, standardi määrittää uusien voimajohtojen toteutuksen. Ennen voimajohdon suunnittelun aloitusta tulisi suunnittelijan tutustua kyseisen maan vaatimuksiin.

Sijoitussuunnittelussa tuotetaan pylväsluettelo, jossa näkyvät pylväiden koordinaatit, korkeudet ja pylväslaji sekä perustusten taso. Johtimien nimitykset, jännepituudet ja vaihevälit tulee olla standardin EN 50341 mukaiset ja pylväsluettelon tulee vastata johdon profiilin tietoja. Profiilien suunnittelussa annetut sää- ja kuormatilat tulee tarkistaa, että ne sopivat standardiin.

Pylvässuunnittelu tekee pylväsluettelon perusteella pylväskuvat, materiaalilistat sekä tarkistaa, että pylväät kestävät niille tarkoitetun rasituksen. Tarvittaessa ollaan yhteydessä sijoitussuunnitteluun, jossa voidaan tehdä muutoksia esimerkiksi pylväslajiin tai korkeuteen, jotta standardin vaatimukset tulee täytettyä.

Varustesuunnittelussa tarkistetaan, että pylväsluettelon ja -rakenteiden asettamat vaatimukset täytetään voimassa olevien asetusten ja määräysten mukaisesti. Tämä tarkoittaa, että muun muassa eristimet ovat oikeaa tyyppiä ja kokoa, niiden määrät eristinketjussa ovat oikeat ja että liittimet ja jatkokset täyttävät sähköiset ja mekaaniset vaatimukset.

Lentotarkastusmerkkien, varoituskilpien, lintumerkkien ja lentovaroituspallojen suunnittelu on myös varustesuunnittelun vastuulla.

Perustussuunnittelu laatii perustussuunnitelmat aliurakoitsijoille ja tarkistaa, että lujuslaskelmien kuormituskertoimet ja -tapaukset ovat standardin mukaiset. Perustussuunnittelu vastaa myös, että pylväiden perustukseen liittyvä geometria on oikein ja tulkitsee maaperätutkimusten tulokset.

Sähkösuunnittelussa laaditaan maadoitus suunnitelmat ja vaarajänniteselvitykset standardin mukaisesti ja samalla katsotaan sen mukaiset maadoitustarvikkeet ja -kuparit.

## 11.2 Työn merkitys

Opinnäytetyö tehtiin Eltel Networksin sisäiseen käyttöön, jotta jokainen voi selvittää yhdellä kertaa, mihin tulee kiinnittää huomio suunniteltaessa voimajohtoa Ruotsiin verrattuna nykyisiin työtapoihin.

Kokonaisuutena työ oli erittäin antoisa ja opin valtavasti tämän prosessin aikana. Haluan esittää kiitokseni esimiehelleni sekä kollegoilleni, joilta sain apua aina pyydettyäessä.



## LÄHTEET

### Painetut lähteet:

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011a. Sähköverkot I. Järjestemäteknikka ja sähköverkon laskenta. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press / Otatieto.

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011b. Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press / Otatieto.

Hautaniemi, O. 2014. Sähkönsiirtoon tarkoitettujen rakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto.

Jalonen, M. 2007. Voimajohdot osana sähkönsiirtoa. Fingrid Oyj:n asiakaslehti 2/2007.

Lakervi, E. & Partanen, J. 2009. Sähkönjakeluteknikka. 2. painos. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press / Otatieto.

SFS-EN 50341-1, 2014. Vaihtosähköilmajohdot yli 1kV jännitteillä. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Yhteiset määrittelyt. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

SFS-EN 50341-2-7, 2015. Vaihtosähköilmajohdot yli 1kV jännitteillä. Osa 2-7: Suomen kansalliset velvoittavat määrittelyt. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

SFS-EN 50341-2-18:2016, 2016. Overhead electrical lines exceeding AC 1kV - Part 2-18: National Normative Aspects (NNA) for Sweden (based on EN 50341-1:2012). Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

### Elektroniset lähteet:

CENELEC 2017. Komitean Internet sivut [viitattu 17.1.2017]. Saatavissa: <https://www.cenelec.eu/index.html>

Fingrid Oyj. 2015. Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2015-2025 [viitattu 19.1.2017]. Saatavissa:

[http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Kehitt%C3%A4missuunnitelma/Kantaverkon\\_kehitt%C3%A4missuunnitelma%202015%20-%202025.pdf](http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Kehitt%C3%A4missuunnitelma/Kantaverkon_kehitt%C3%A4missuunnitelma%202015%20-%202025.pdf)

Fingrid Oyj. 2017. Pohjoismainen voimajärjestelmä ja liitynnät muihin järjestelmiin [viitattu 19.1.2017]. Saatavissa:

<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Pohjoismainen%20voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4%20ja%20liitynn%C3%A4t%20muihin%20j%C3%A4rjestelmiin/Sivut/default.aspx>

Juvani S. 2002. EN 50341-3-7 ja A4-93 (VIM)+A1-93 (STM) vertailu [viitattu 17.1.2017]. Eltel Networks Oy:n sisäinen dokumentti.

Svenska Kraftnät. 2017. National Grid [viitattu 19.1.2017]. Saatavissa:

<http://www.svk.se/en/national-grid/>

Muut lähteet:

Eltel Networks Oy. 2016a. Annual Report. Vuosikatsaus.

Eltel Networks Oy. 2016b. Shaping Future Infranets. Esite.

Fingrid Oyj. 2010. Voimajohtopylvään pääosat [viitattu 18.1.2017].

Saatavissa: [http://www.fingrid.fi/SiteCollectionImages/fi-FI/Verkkohankkeet/p\\_paaosat.jpg](http://www.fingrid.fi/SiteCollectionImages/fi-FI/Verkkohankkeet/p_paaosat.jpg)

Fingrid Oyj. 2016. Fingrid Oyj:n voimansiirtoverkko [viitattu 19.1.2017].

Saatavissa: [http://www.fingrid.fi/SiteCollectionImages/fi-FI/Yritys/Voimansiirtoverkkokartta/2016/fingrid\\_verkkokartat\\_2016\\_syv\\_fin.jpg](http://www.fingrid.fi/SiteCollectionImages/fi-FI/Yritys/Voimansiirtoverkkokartta/2016/fingrid_verkkokartat_2016_syv_fin.jpg)

SFS ry. 2014. Eurokoodit: Rakentamismääräyksistä eurokoodeihin. Esite.

Svenska Kraftnät. 2016. Stamnätet för el [viitattu 19.1.2017]. Saatavissa:  
[http://www.svk.se/contentassets/ebdeed10af72408dab6fad3c591d7922/svk-stamnatet-for-el\\_2016-stor.jpg](http://www.svk.se/contentassets/ebdeed10af72408dab6fad3c591d7922/svk-stamnatet-for-el_2016-stor.jpg)