

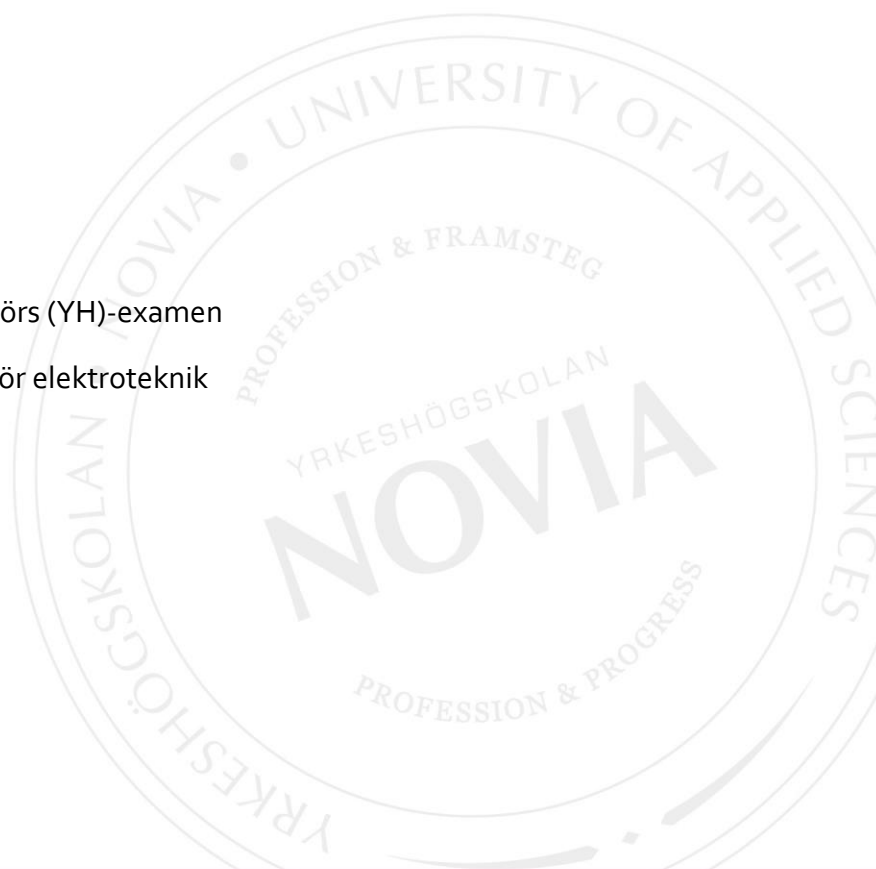
Dimensionering av elstationers jordningssystem

Jesper Sjöblom

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för elektroteknik

Vasa 2018



EXAMENSARBETE

Författare: Jesper Sjöblom
Utbildning och ort: Elektroteknik, Vasa
Inriktningalternativ: Elkraftsteknik
Handledare: Matts Nickull

Titel: Dimensionering av elstationers jordningssystem

Datum 25.4.2018

Sidantal 41

Bilagor 6

Abstrakt

Examensarbetet omfattar en beräkningskalkyl för elstationens jordningssystem. Beräkningskalkylen beräknar dimensioner för jordelektrod och jordledare samt om beröringsspänningen uppfyller kraven. Uppdragsgivare för arbetet var VEO Oy, Substations.

Syftet med beräkningskalkylen var att lätt kunna dimensionera jordelektroden och jordledaren i ett jordningssystem enligt nyaste upplagan av standarden SFS6001.

Examensarbetets teoridel behandlar de krav som standarden SFS6001 ställer på jordningssystemet. Teoridelen omfattar även allmänt om jordningar, hur jordningar skall mätas och dokumenteras samt kort om elnätet och elstationer.

Resultatet blev en beräkningskalkyl utförd i Microsoft Excel, som skriver ut en rapport på dimensionerna för jordelektroden, jordledaren samt om beröringsspänningen uppfyller kraven.

Språk: svenska

Nyckelord: jordning, elstation, beröringsspänning

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Jesper Sjöblom
Koulutusohjelma ja paikkakunta:	Sähkötekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto:	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja:	Matts Nickull

Nimike: Sähköaseman maadoitusjärjestelmän mitoitus

Päivämäärä 25.4.2018

Sivumäärä 41

Liitteet 6

Tiivistelmä

Opinnäytetyö sisältää laskentataulukon luomisen sähköaseman maadoitusjärjestelmien mitoittamiseen. Laskentataulukko mitoittaa maadoituselektrodin ja maadoitusjohtimen sekä tarkistaa kosketusjännite vaatimuksien täyttymisen. Työn toimeksiantaja oli VEO Oy, Substations.

Laskentataulukon tarkoituksena oli pystyä helposti mitoittamaan maadoituselektrodin ja maadoitusjohdin uusimman SFS6001-standardin mukaan.

Opinnäytetyön teoriakappale käsittelee vaatimuksia, jotka standardi SFS6001 määrittelee maadoitusjärjestelmille. Teoriakappale sisältää myös yleisesti tietoa maadoituksesta, maadoituksen mittauksista ja dokumentoinnista sekä lyhyesti sähköverkoista ja sähköasemista.

Tuloksena on Microsoft Excelissä tehty laskentataulukko, joka tuottaa raportin maadoituselektrodin ja maadoitusjohtimen mitoituksesta sekä kosketusjännitteen vaatimuksien täyttymisestä.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: maadoitus, sähköasema, kosketusjännite

BACHELOR'S THESIS

Author: Jesper Sjöblom
Degree Programme: Electrical Engineering, Vaasa
Specialization: Electrical Power Engineering
Supervisor: Matts Nickull

Title: Dimensioning of Earthing Systems for Substations

Date April 25, 2018 Number of pages 41 Appendices 6

Abstract

The thesis includes a calculation workbook for earthing systems for substations. The workbook calculates the dimensions of both the earthing conductor and earth electrode and if the touch voltage meets the requirements. The commissioner of the thesis was VEO Oy, Substations.

The purpose of the calculation workbook was to easily be able to dimension both the earthing conductor and earth electrode in a earthing system according to the newest edition of the standard SFS6001.

The theoretical part of the thesis includes the requirements that the standard SFS6001 puts on the earthing system. It also includes information about earthing, how earthing should be tested and documented, and short about electrical grids and substations.

The result became a calculation workbook made in Microsoft Excel, that writes a report on the dimensions of the earthing conductor and earth electrode and if the touch voltage meets the requirements.

Language: swedish Key words: earthing, grounding, substation, touch voltage

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Målsättning.....	1
1.3 Uppdragsgivare	1
2. Teori.....	2
2.1 Elnät.....	2
2.2 Elstationer	4
2.3 Standarder och krav	5
2.4 Jordning.....	5
2.4.1 Potentialutjämning	5
2.4.2 Systemjord	6
2.4.3 Jordningar för elstationer	8
2.4.4 Markresistivitet.....	9
2.4.5 Jordningsresistans	10
2.5 Planering av jordningssystem	12
2.5.1 Krav på säkerhet.....	12
2.5.2 Krav på funktionalitet.....	12
2.5.3 Dimensionering enligt korrosionsuthållighet och mekanisk hårdhet.....	13
2.5.4 Dimensionering enligt termiska hårdheten.....	13
2.5.4.1 Beräkning av dimensioneringsströmmen	13
2.5.5 Dimensionering enligt beröringsspänningen.....	16
2.5.5.1 Åtgärder för att uppfylla tillåtna beröringsspänningar	16
2.5.5.2 Planeringsprocess	17
2.5.5.3 Beräkning av berörings- och stegspänningar	18
2.5.6 Beräkning av jordspänning och jordström.....	20
2.6 Överförda potentialer	20
2.6.1 Hög- och lågspänningssystemens jordningar	21
2.6.2 Lågspänningsmatning bara på insidan av högspänningsselstationen	21
2.6.3 Lågspänningsmatning som går till eller ifrån högspänningsselstation.....	21
2.6.4 Lågspänningsinstallation i närheten av högspänningsselstation.....	21
2.6.5 Överförda potentialer till telekommunikationssystem och till andra system	22
2.7 Jordningssystemens konstruktion	23
2.7.1 Åskskydd.....	23
2.7.2 Utrustningens och installationens jordning.....	25
2.7.2.1 Staket runt elstationen	25
2.7.2.2 Rör	25

2.7.2.3 Järnvägsräls	25
2.7.2.4 Stoltransformatorer och/eller kopplingsapparater	25
2.7.3.5 Mättransformatorers sekundärkretsar	26
2.8 Mätning.....	26
2.8.1 Mätning av jordningsresistansen och jordningsimpedansen	27
2.8.2 Mätning av markresistiviten	29
2.8.2.1 Beräkning av markresistiviten enligt Wenner-metoden	29
2.8.3 Mätning av beröringsspänningen	29
2.9 Anvisningar för dokumentation.....	30
3. Praktiskt utförande	31
3.1 Uppbyggnad	31
3.2 Beräkningsdelen	32
3.2.1 Inskrivning av teknisk information.....	32
3.2.2 Dimensionering för jordelektrod och jordledare	33
3.2.3 Markresistivitet.....	34
3.2.4 Jordningsresistans	34
3.2.5 Jordström.....	35
3.2.6 Jordspänning.....	35
3.2.7 Tillåten beröringsspänning	35
3.2.8 Jordslutningsströmmar.....	36
3.3 Resultatdelen.....	37
3.4 Beröringsspänning.....	38
4. Resultat	39
5. Diskussion.....	40
6. Källförteckning.....	41

Bilageförteckning

Bilaga 1	Specialåtgärder M
Bilaga 2	Dimensionering av jordelektroder
Bilaga 3	Ekvationer till planering av strömmar i jordningssystemet
Bilaga 4	Reduktionsfaktorer för åskledare
Bilaga 5	Planering av tillåten beröringsspänning
Bilaga 6	Jordspänningskrav

Figurförteckning

Figur 1. Elnätet i Finland.....	3
Figur 2. Elstation.	4
Figur 3. System med isolerad nollpunkt.....	6
Figur 4. System med resonansjord som nollpunkt.	6
Figur 5. System med lågimpedansjordad nollpunkt.	7
Figur 6. System med resonansjordad neutralpunkt och en tillfällig låg impedans till nollpunkt.	7
Figur 7. System med isolerad eller resonansjordad nollpunkt (vid dubbelt jordfel). ...	7
Figur 8. Jordning för en elstation.	8
Figur 9. Godkända tvärsnitt vid fel över 5 s.	15
Figur 10. Tillåten beröringsspänning.	16
Figur 11. En blyxfångande lina.....	23
Figur 12. Dubbla blyxfångande linor.	24
Figur 13. En åskledarspets.....	24
Figur 14. Dubbla åskledarspetsar.	24
Figur 15. Uppbyggnad av beräkningskalkylen.....	31
Figur 16. Inskrivning av teknisk information.....	32
Figur 17. Funktionsblock för beräkning av dimensionering (1/2).	33
Figur 18. Funktionsblock för beräkning av dimensionering (2/2).	33
Figur 19. Funktionsblock för beräkning av markresistivitet.	34
Figur 20. Funktionsblock för beräkning av jordningsresistans.	34
Figur 21. Funktionsblock för beräkning av jordström.	35
Figur 22. Funktionsblock för beräkning av jordspänning.	35
Figur 23. Funktionsblock för beräkning av tillåten beröringsspänning.	35
Figur 24. Funktionsblock för beräkning av jordslutningsströmmar.	36
Figur 25. Resultatrapport.	37
Figur 26. Beröringsspänning.	38

Tabellförteckning

Tabell 1. Resistivitet.	9
Tabell 2. Beräkningsformler för jordningsresistans.	10
Tabell 3. Olika former på jordelektroder och dess jordningsresistanser.	11
Tabell 4. Konstanter för material.	14
Tabell 5. Omvandlingsfaktorer för omvandling från 300 sluttemperatur till annan sluttemperatur.	15
Tabell 6. Kroppsström I_B vid felets längd t_f	19
Tabell 7. Total kroppsimpedans Z_T relaterat till beröringsspänningen U_T	19
Tabell 8. Tillåten beröringsspänning U_{Tp} vid olika varaktigheter av fel.	20

1. Inledning

Examensarbetet omfattar en beräkningskalkyl i Microsoft Excel för jordningssystem till elstationer samt teori om krav för jordningar. Examensarbetet är gjort på nyaste upplagan av standarden SFS 6001 från år 2015. Examensarbetet är utfört på VEO Substations begäran.

1.1 Bakgrund

VEO Substations hade sedan tidigare en föråldrad beräkningskalkyl. Beräkningskalkylen var i behov av granskning, uppdatering och utveckling. VEO Substations önskade också att beräkningskalkylen skulle göras enligt VEOs Excel-mall för beräkningar.

1.2 Målsättning

Slutresultatet skulle bli en beräkningskalkyl i Microsoft Excel, som dimensionerar jordningssystemet för en elstation enligt nyaste upplagan av SFS 6001.

1.3 Uppdragsgivare

När Asea, Brown Boveri och Strömberg fusionerades år 1986 ändrades den nordiska energimarknaden betydligt. Det fanns oro över att priserna skulle stiga och att kunnande skulle försvinna utomlands. Då grundades Vaasa Engineering Oy år 1989 av några österbottningar som ville bevara kunnande i Finland. VEO mottog sina första beställningar av Savon Voima och Wärtsilä. Idag finns huvudkontoret och fabriken i Runsor, Vasa. VEO har även försäljningskontor i Sverige och Norge. År 2016 hade VEO 76 miljoner euro i omsättning och 337 anställda. VEO utvecklar lokala och globala automations-, motor- och eldistributionslösningar för sina europeiska kunder inom energi- och processindustrin.

Detta examensarbete har gjorts på avdelningen Substations. Avdelningen levererar fullständiga elstationer till kunder främst inom Norden. (VEO, 2018)

2. Teori

Teorin ger en bred bild över kraven för jordningar och hur de skall dimensioneras. Dessutom omfattar teoridelen kort om elnät, elstationer, mätning och dokumentation.

2.1 Elnät

Finlands elnät kan delas in i: stamnät, regionnät och distributionsnät (se figur 1). Det finska elnätet är en del av det samnordiska elsystemet, tillsammans med Sverige, Norge och östra Danmark.

Finlands stamnät är ett huvudnät för elöverföring till stora kraftverk, fabriker och regionala distributionsnät är anslutna. Stamnätet har långa överföringsförbindelser och höga överföringseffekter och därför används höga spänningsnivåer för att minimera förlusterna i elöverföringen. När överföringsavstånden är väldigt långa, används det luftkablar eftersom det skulle bli väldigt dyrt att använda jordkablar. Spänningsnivån i stamnätet ligger mellan 110 kV och 400 kV.

Regionnäten är kopplade till stamnätet och har normalt en spänning på 110 kV.

Distributionsnätet kan vara kopplat direkt till stamnätet eller så kopplas det via regionalnätet. Spänningsnivån på distributionsnätet ligger mellan 0,4 kV och 110 kV.

Fingrid Oyj's
kraftöverföringsnet
1.1.2017

- 400 kV stamnät
- 220 kV stamnät
- 110 kV stamnät
- andra bolags ledningar



Figur 1. Elnätet i Finland. (Fingrid, 2018)

2.2 Elstationer

Elstationerna är knutpunkter i elnätet där elektriciteten kan transformeras, fördelas och koncentreras. De vanligaste stationerna i elnätet är kraft-, transformator-, omformar- och kopplingsstationer.

Kraftstationerna har generatorer som producerar energi som sedan matas ut i elnätet.

Transformatorstationerna har som uppgift att transformera spänningar till rätt nivå och fördela energin i elnäten. Transformatorstationer används t.ex. till att sammankoppla stamnätet med regionalnätet. Med kopplingsstationer sammankopplas nät med samma spänning och energin mellan näten fördelas. Omformarstationer används när två olika nät ska kopplas ihop, t.ex. när ett likströmsnät kopplas ihop med ett växelströmsnät. (Åström, 2015)



Figur 2. Elstation. (VEO, 2018)

2.3 Standarder och krav

Inom den finska elbranschen har man velat ha god kvalitet och säkra installationer, därför har det skapats standarder och krav om hur installationer skall göras. I Finland följs våra egna SFS-standarder, som baserar sig på den internationella standarden IEC samt den europeiska standarden CENELEC. I Finland granskas elarbeten av TUKES (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto). Nedan är några exempel på SFS-bilagor.

SFS 6000 – Lågspänningsinstallationer

SFS 6001 – Högspänningsinstallationer

SFS 6002 – Elsäkerhet

(Mansikkamäki, 2015)

2.4 Jordning

Med tanke på elsäkerhet är jordningarnas huvudsakliga uppgift att begränsa berörings- och stegspännigar vid fel. Felet kan vara i byggnadens elinstallation eller i det matande systemet, högspänningsnätet inkluderat. Till byggnaders jordning ska det finnas en jordningselektrod samt ett potentialutjämningsystem. Jordningen har också som uppgift att:

- Förhindra farliga spänningar att överföras från ett system till ett annat.
- Förhindra farliga läckströmmar, gnistor och ljusbågar att uppkomma.
- Åstadkomma funktionella förutsättningar för jordfels- och rörelsespänningsskydd.

(Maadoituskirja, 2001)

2.4.1 Potentialutjämning

Potentialutjämning betyder att ledande delar kopplas ihop, så att jämpotential uppnås i jordningssystemet.

Potentialutjämning kan delas in i:

- Huvudpotentialutjämning.
- Tilläggspotentialutjämning (kan också kallas lokal potentialutjämning).
- Ojordad potentialutjämning.

Vid potentialutjämning kopplas jordningarna ihop med byggnadens potentialutjämning. Potentialutjämningsledningarna är i normala fall spännings- och strömfria, men vid fel kan de bli strömförande. I utrymmen där det behövs bättre skydd kan man använda sig av tillägspotentialskena, dit man kopplar elutrustningens jordledare.

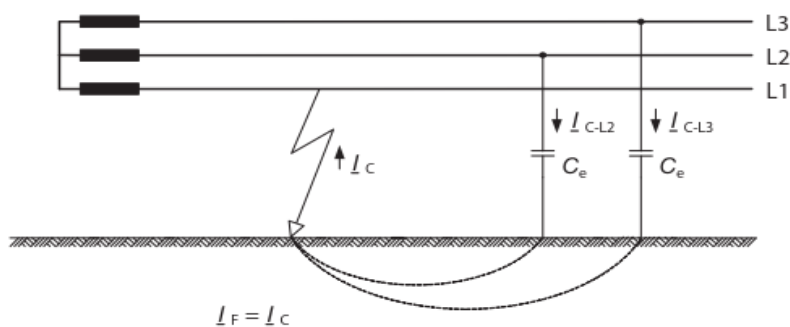
Potentialutjämning krävs i alla byggnader och är en central del av elutrustningens skydd. Ifall potentialutjämningen är jordad är det en del av jordningssystemet, men potentialutjämningen kan också vara ojordad. (Maadoituskirja, 2007)

2.4.2 Systemjord

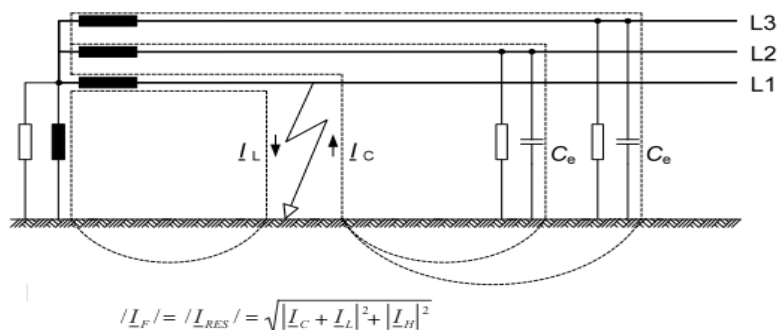
Storleken på felströmmar som uppkommer vid jordslutning i elstationer beror på hurdan systemjordning som används.

(Storm, 2013)

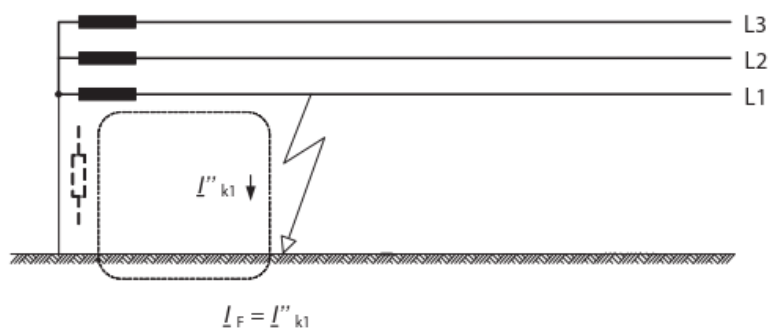
Jordfelsströmmar:



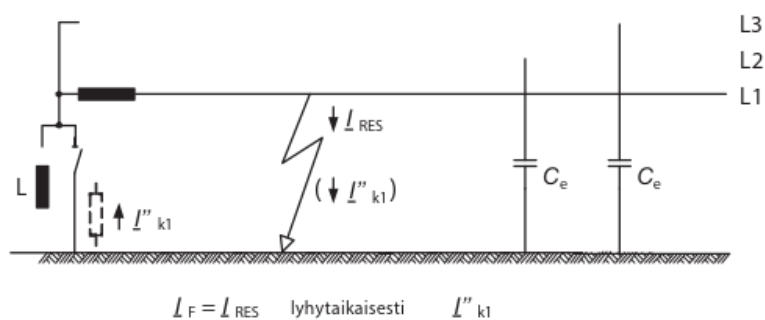
Figur 3. System med isolerad nollpunkt.



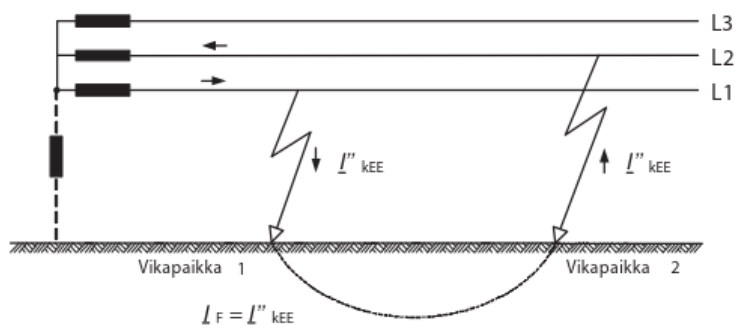
Figur 4. System med resonansjord som nollpunkt.



Figur 5. System med lågimpedansjordad nollpunkt.



Figur 6. System med resonansjordad neutralpunkt och en tillfällig låg impedans till nollpunkt.



Figur 7. System med isolerad eller resonansjordad nollpunkt (vid dubbelt jordfel).

I_F = Jordfelsström

I_C = Kapacitiv jordfelsström

I_L = Summan av strömmarna i parallella nollpunktsreaktorer

I_H = Övertonsström ström

I_{Res} = Resterande jordfelsström

I''_{kEE} = Jordström vid dubbelt jordfel

I''_{k1} = Subtransient kortslutningsström (vid enfas jordfel)

(SFS 6001, 2015)

Systemen delas upp enligt jordningsmetod:

- **System med isolerad neutralpunkt**
Transformatorns stjärnpunkt är isolerad från jord eller kopplad till jord med väldigt hög impedans och jordfelsströmmen går till jord via kapacitansen.
- **System med spoljordad neutralpunkt**
Mellan nätets jord och nolljord finns en spole. Ifall jordfelet inte skulle försvinna, finns det tilläggsresistanser parallellkopplade med släckspolen.
- **System med lågimpedansjordad neutralpunkt**
Transformatorns stjärnpunkt jordas direkt eller via ett litet motstånd.

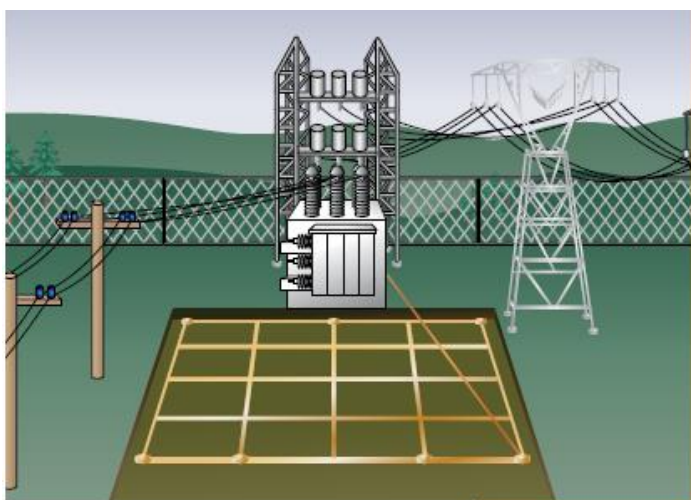
(Storm, 2013)

2.4.3 Jordningar för elstationer

I elstationer används oftast ett rutnät som jordelektrod. Till jordnätet kopplas utrustningens jordningsledare samt de utgående ledningarnas åskledare. När elstationer byggs på mark som leder dåligt kan man ta till hjälp horisontella jordelektroder som dras till områden som leder bättre.

Med jordnätet och till det kopplade jordelektroder kan man säkerställa att berörings- och stegspänningen inte blir för stora under fel på elstationsområdet.

(Elovaara, 2007)



Figur 8. Jordning för en elstation. (Fluke, 2006)

2.4.4 Markresistivitet

Vid placering av en ny elstation lönar det sig att ta i beaktande jordningsförhållandena. Jordningsförhållandena kan uppskattas genom resistivitet som uttrycks i ohm per meter.

Markresistiviteten berättar hur bra marken kan leda elektricitet och dess storlek bestäms av markens egenskaper och sammansättning. Markresistiviteten kan variera mycket redan på korta sträckor, detta eftersom marken är ickehomogenisk och dess sammansättning är påverkad av många faktorer, som t.ex. markens typ, täthet, fuktighet, årstid och kornstorlek.

I Finland är markresistiviteten väldigt hög p.g.a. en berggrund av granit som är nära markytan samt mark som leder dåligt, bestående av t.ex. sand och grus. Markresistiviteten kan sänkas med tilläggsjord.

I tabell 1 finns uppräknat vanliga material som förekommer i marken och deras riktgivande resistivitetsvärden, men för ett noggrant värde måste man mäta markresistiviteten på plats. (Lehtonen, 2009)

Tabell 1. Resistivitet.

Aine	Keskimäärin Ωm	Tavallisimmat vaihteluvälit Ωm
Savi	40	25...70
Saven sekainen hiekka	100	40...300
Lieju, turve, multa	150	50...250
Hiekka, hieta	2 000	1 000...3 000
Moreenisora	3 000	1 000...10 000
Harjusora	15 000	3 000...30 000
Graniittikallio	20 000	10 000...50 000
Betoni tuoreena tai maassa	100	50...500
Betoni kuivana	10 000	2 000...100 000
Järvi- ja jokivesi	250	100...400
Pohja- kaivo- ja lähdevesi	50	10...150
Merivesi (Suomenlahti)	2,5	1...5

(SFS 6001, 2015)

2.4.5 Jordningsresistans

Jordningsresistans R_E är ett värde på resistansen till jord för en jordelektrod. Värdet påverkas av markresistiviteten och av jordelektrodens form och dimension. (SFS 6001, 2015)

I Norden är markresistiviteten väldigt stor och det leder till att även jordningsresistansen är stor. Stora jordningsresistanser och stora jordfelsströmmar kan orsaka störningsspänningar i t.ex. signalledningar.








I tabell 2 visas olika typer av formler för att räkna ut jordningsresistansen beroende på formen av jordelektroden. I tabell 3 visas hur längden av jordelektroden påverkar jordningsresistansen. (Elovaara, 2011)

Tabell 2. Beräkningsformler för jordningsresistans.

Elektrodin laatu	Kaava	Huomautukset
Pallo pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{\pi D}$	
Levy pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{2D}$	$s \ll D$
Pystysuora tanko tai putki pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{1,36 \times d}$	$d \ll L$
Pystysuora tanko tai putki upotettuna	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{1,36 \times d} \times \frac{2h+L}{4h+L}$	$d \ll L$
Vaakasuora johdin pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{\pi L} \ln \frac{2L}{1,36 \times d}$	$d \ll L$
Vaakasuora johdin upotettuna	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{1,85 \times h \times d}$	$d \ll 4h$
Ruudukko	$R_E = \frac{\rho_E}{2D} + \frac{\rho_E}{L}$	

(SFS 6001, 2015)

Tabell 3. Olika former på jordelektroder och dess jordningsresistanser.

Elektrodin pituus L (m)	20	60	200	600
Elektrodin muoto	Maadoitusresistanssin suhde vaakasuoran johtimen maadoitusresistanssiin			
	100	100	100	100
0,2 m	133	144	155	159
2 m	109	123	135	143
20 m	92	98	109	119
	103	103	102	102
	107	106	106	105
	116	115	114	112
	136	135	132	129
	159	158	154	148
	109	108	107	106

(SFS 6001, 2015)

2.5 Planering av jordningssystem

SFS 6001 standarden anger kriterier för hur jordningssystemet skall konstrueras, installeras, testas och underhållas på ett sätt så att det fungerar i alla situationer och försäkras individers säkerhet på alla platser där individer får vistas.

De viktigaste faktorerna till att dimensionera jordningssystemet är:

- Felströmmens storlek.
- Felets varaktighet.
- Markens och jordelektrodens egenskaper.

(SFS 6001, 2015)

2.5.1 Krav på säkerhet

För människor är det farligt att få strömmar genom hjärtat som kan orsaka hjärtflimmer. Gränsvärdet för strömmar genom kroppen har ändrats till spänningens gränsvärde, så att gränsvärdet kan jämföras med uträknade berörings- och stegspänningar. I en granskning tar man följande saker i beaktande:

- Den del av strömmen som går genom hjärtat.
- Kroppens impedans där strömmen går.
- Resistansen mellan kroppens kontaktpunkter.
- Felets varaktighet.

I allmänhet räcker det med att kraven för beröringsspänningar uppfylls, för de tillåtna stegspänningarna är mycket högre än motsvarande beröringsspänningar. (SFS 6001, 2015)

2.5.2 Krav på funktionalitet

Jordningssystemets komponenter och förbindningsledare skall klara av att dela och urladda uppkommande felströmmar utan att överskrida de termiska och mekaniska begränsningar som reservskyddets funktionstid bestämmer.

Jordningssystemet skall hållas funktionsdugligt under den förväntade livslängden av anläggningen. Korrosion och mekaniska begränsningar skall tas i beaktande.

Jordningssystemet skall vara tillräckligt effektivt för att förhindra utrustningsfel som orsakas av höga potentialskillnader i jordningssystemet, ökning av jordningsspänningen eller av stora strömmar i hjälpströmbanor som inte är avsedda för att leda felströmmar.

Jordningssystemets steg- och beröringsspänningar samt överförda potentialer hålls inom de spänningsgränser som anges av skyddsreläets och brytarens funktionstid.

I högspänningsinstallationer ska jordningssystemets effektivitet bidra med elektromagnetisk kompatibilitet mellan elektriska och elektroniska apparater. (SFS 6001, 2015)

2.5.3 Dimensionering enligt korrosionsuthållighet och mekanisk hårdhet

Jordelektroder som är i direkt kontakt med marken skall vara tillverkade av korrosionståligt material. De skall klara av mekaniskt slitage under installation och vanlig drift. I bilaga 2 kan man se minimitvärsnitten för jordelektroder.

Jordledarnas minimitvärsnitt:

Koppar: 16 mm²

Aluminium: 35 mm²

Stål: 50 mm²

Potentialutjämningsledare dimensioneras enligt ovan.

Om jord- och potentialutjämningsledare av stål används, måste de skyddas från korrosion. (SFS 6001, 2015)

2.5.4 Dimensionering enligt termiska hårdheten

Strömmarna som används vid dimensionering av jordledare och jordelektroder finns i bilaga 4.

- I vissa fall måste kontinuerliga nollströmmar beaktas vid dimensionering av jordningssystemet.
- När man beräknar strömmar för ledardimensioner borde man ta i beaktande att strömmarna möjligtvis kan växa i framtiden, t.ex. vid en utvidgning.

Felströmmen fördelas ofta i jordningssystemet och det är därför lämpligt att dimensionera jordledare och jordelektroder endast för en del av felströmmen.

Sluttemperaturerna som används vid dimensionering ska väljas så att man undviker försämring av materialens styrka och skador på material runtom. (SFS 6001, 2015, s. 93)

2.5.4.1 Beräkning av dimensioneringsströmmen

Jordtagsledarnas och jordelektroderens tvärsnitt beror på storleken av felströmmen och dess varaktighet. Dimensioneringen görs på olika sätt beroende på om felets varaktighet är under eller över 5 s. (SFS 6001, 2015)

Under 5 s:

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}}$$

A = Tvärsnitt (mm²)

I = Strömmens effektivvärde (A)

t_f = Felströmmens varaktighet (s)

K = Konstant, beroende på material (tabell 5)

β = Temperaturkoefficient, beroende på material (tabell 5)

Θ_i = Starttemperatur (°C). Värdet fås t.ex. från IEC 60287-3-1. Om det inte finns ett värde i nationella tabellerna, skall 20 °C antas som värde som omgivningstemperatur vid 1 m djup.

Θ_f = Sluttemperatur (°C). 300 °C används oftast som sluttemperatur.

Tabell 4. Konstanter för material.

Materiaali	β[°C]	K [A × √s / mm²]
Kupari	234,5	226
Alumiini	228	148
Teräs	202	78

(SFS 6001, 2015)

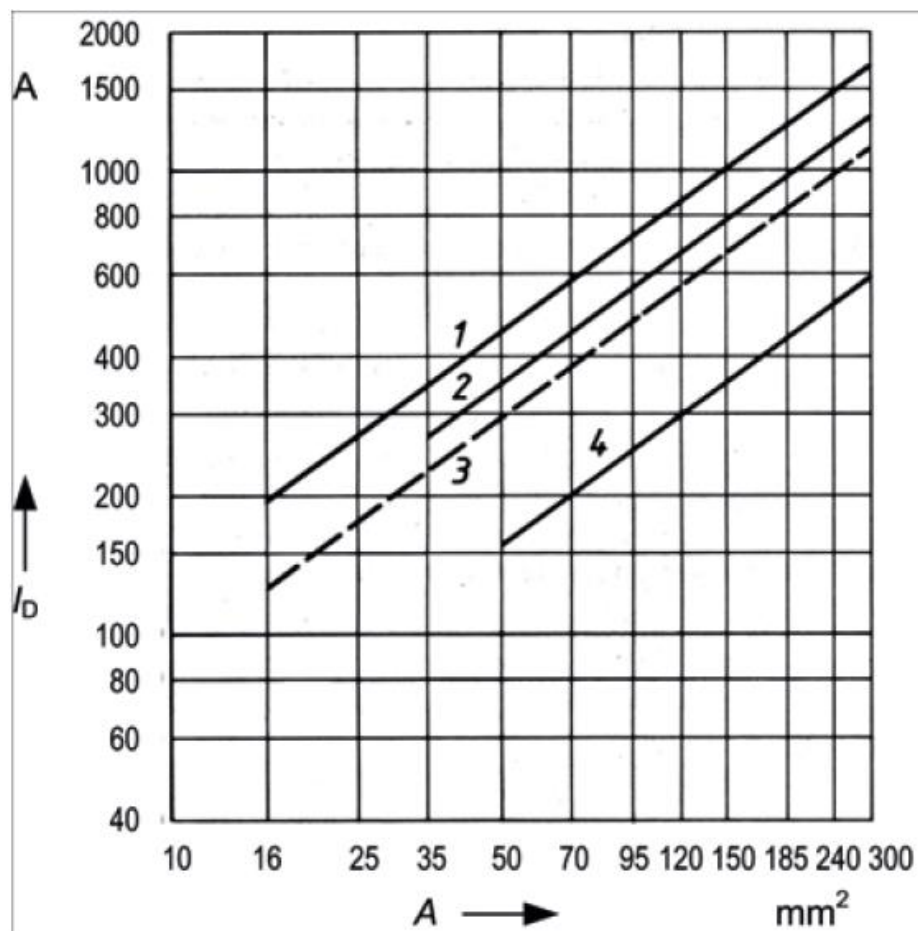
Över 5 s:

I figur 9 finns godkända tvärsnitt om felets varaktighet är över 5 s. Om det väljs som sluttemperatur något annat värde än 300 °C, kan strömmen räknas med faktorer från tabell 6. Lägre sluttemperaturer rekommenderas t.ex. för isolerade ledare och för ledare som är ingjutna i betong.

Tabell 5. Omvandlingsfaktorer för omvandling från 300 sluttemperatur till annan sluttemperatur.

Loppulämpötila °C	Muunnoskerroin
400	1,2
350	1,1
300	1,0
250	0,9
200	0,8
150	0,7
100	0,6

(SFS 6001, 2015)



Figur 9. Godkända tvärsnitt vid fel över 5 s.

1. Koppar, blank eller förzinkad.
2. Aluminium.
3. Koppar, förtennad eller med blymantel.
4. Galvaniserad stål.

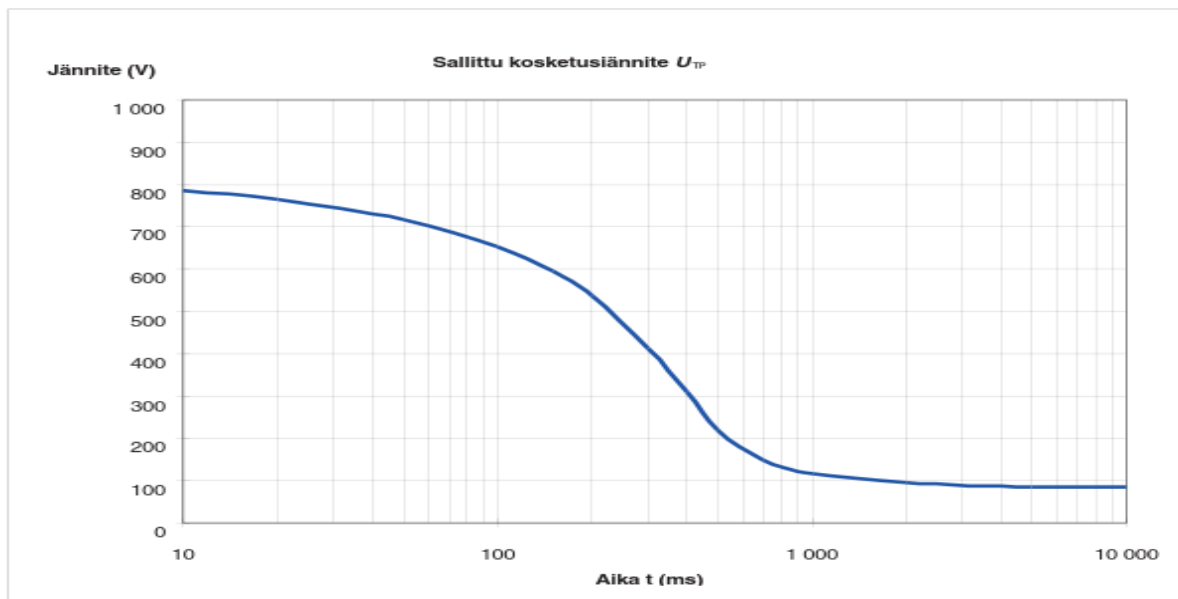
(SFS 6001, 2015)

2.5.5 Dimensionering enligt beröringsspänningen

I figur 10 visas värden för tillåtna beröringsspänningar. Bilden baserar sig på att kontakten sker mellan hand till hand eller hand till fot.

Jordfel måste kopplas bort automatiskt eller manuellt. Därför finns det inte några långvariga beröringsspänningar.

(SFS 6001, 2015)



Figur 10. Tillåten beröringsspänning. (SFS 6001, 2015)

2.5.5.1 Åtgärder för att uppfylla tillåtna beröringsspänningar

Från grundkravens tillämpning uppkommer jordningssystemets grundplanering.

Planeringen måste granskas med hänsyn till beröringsspänningarna, som efter det kan vara modellplanering för andra liknande situationer.

Tillåtna beröringsspänningar fås genom att ett av följande alternativ uppfylls:

- C1: Installationen är en del av ett utbrett jordningssystem.
- C2: Den uppmätta eller uträknade jordningsspänningen är inte större än tillåtna beröringsspänningen multiplicerad med två.

Om inget av alternativen uppfylls kan tillåtna beröringsspänningar fås genom specialåtgärder M som finns i bilaga 1. Alternativt kan man ta i beaktande tilläggsresistanser när man bestämmer den största tillåtna beröringsspänningen.

Om inget av alternativen uppfylls, måste kraven för beröringsspänning bevisas på något annat sätt, oftast genom mätning.

För jordspänningen och beröringsspänningen kan strömmarna från bilaga 3 användas. (SFS 6001, 2015)

2.5.5.2 Planeringsprocess

Stegen i jordningsplanering är:

- a) Informationsinsamling: t.ex. jordfelsströmmar, felets varaktighet och nätverkets konstruktion.
- b) En första planering för jordningssystemet enligt funktionskraven.
- c) Bestämma om det är en del av ett utbrett jordningssystem.
- d) Om det inte är en del av ett utbrett jordningssystem, då bestäms markens egenskaper på olika djup.
- e) Bestämma jordfelströmmen som leds ut i marken från jordningssystemet.
- f) Bestämma totala impedansen baserat på nätverkets konstruktion, markens egenskaper och på jordningssystem som ligger parallellt.
- g) Bestämma jordspänningen.
- h) Bestämma den tillåtna beröringsspänningen.
- i) Ifall jordspänningen ligger under den tillåtna beröringsspänningen och att kraven från bilaga 6 uppfylls så är planeringen klar.
(Planeringen är också klar, om jordspänningen är mindre än $2 \times U_{TP}$)
- j) Om inte, bestäms det om beröringsspänningarna är inom de tillåtna värdena.
- k) Bestämma om överförda potentialer utgör en fara inom eller utanför elstationen. Ifall det gör, måste det vidtas ytterligare åtgärder på utsatta platser.
- l) Bestämma om lågspänningsutrustningen blir utsatt för stora belastningsspänningar. Ifall de blir utsatta skall åtgärder vidtas som minimera påverknigen. Det kan innebära att man separerar hög- och lågspänningsjordningssystemen ifrån varandra.

När ovanstående krav är uppfyllda kan man upprepa stegen och få en noggrannare planering. Detaljerad planering är nödvändig för att säkerställa att alla spänningsförande delar är jordade. Utomstående ledande delar jordas om det är nödvändigt.

Fundamentjordelektroder skall kopplas samman med jordningssystemet. Ifall de inte kopplas ihop, måste det säkerställas att alla säkerhetskrav uppfylls.

Metallföremål som är kopplade till det katodiska skyddet kan separeras från jordningssystemet. Säkerhetsåtgärder skall vidtas för att säkerställa att katodiska skyddet inte upphävs av misstag vid underhållsarbeten eller ändringar. (SFS 6001, 2015)

2.5.5.3 Beräkning av berörings- och stegspänningar

Räknemetod av tillåtna beröringsspänningar:

$$U_{Tp} = I_B(t_f) \times \frac{1}{HF} \times Z_T(U_T) \times BF$$

U_{Tp} = Tillåten beröringsspänning

U_T = Beröringsspänning

t_f = Felets varaktighet

$I_B(t_f)$ = Strömmen genom kroppen (tabell 6)

HF = Hjärtats strömfaktor =>

1,0 från vänster hand till fot
0,8 från höger hand till fot
0,4 från hand till hand

Z_T = Kroppens impedans

BF = Kroppens faktor =>

0,75 från hand till båda fötter
0,5 från båda händerna till fot

När man i granskningen tar i beaktande tilläggsresistanser blir formeln:

$$U_{vTp} = I_B(t_f) \times \frac{1}{HF} (Z_T(U_T) \times BF + R_H + R_F)$$

U_{vTp} = Tillåten förväntad beröringsspänning

R_H = Handens tilläggsresistans

R_F = Fotens tilläggsresistans

(SFS 6001, 2015)

Beräkning av tillåten beröringsspänning:

Vid beräkning av tillåten beröringsspänning i högspänningsinstallationer görs följande antaganden:

- Strömvägen från ena handen till foten.
- Sannolikheten för kroppens impedans 50 %.
- Sannolikheten för hjärtflimmer 5 %.
- Tilläggsresistanser tas inte i beaktande.

Tabell 6. Kroppsström I_B vid felets längd t_r .

Vian kesto aika	Kehon kautta kulkeva virta
s	I_B mA
0,05	900
0,10	750
0,20	600
0,50	200
1,00	80
2,00	60
5,00	51
10,00	50

Tabell 7. Total kroppsimpedans Z_T relaterat till beröringsspänningen U_T .

Kosketusjännite	Ihmiskehon kokonaisimpedanssi
U_t V	Z_t Ω
25	3 250
50	2 500
75	2 000
100	1 725
125	1 550
150	1 400
175	1 325
200	1 275
225	1 225
400	950
500	850
700	775
1 000	775

Tabell 8. Tillåten beröringsspänning U_{Tp} vid olika varaktigheter av fel.

Vian kestoaika t_f s	Sällittu kosketusjännite U_{Tp} V
0,05	716
0,10	654
0,20	537
0,50	220
1,00	117
2,00	96
5,00	86
10,00	85

(SFS 6001, 2015)

2.5.6 Beräkning av jordspänning och jordström

Jordspänningen kan beräknas genom Ohms lag. Strömmen orsakar i jordningsresistansen ett spänningsfall som kallas till jordspänning. (Lehtonen, 2009)

$$U_E = Z_E \times I_E$$

Z_E = Uppmätt eller beräknad impedans

I_E = Jordström

U_E = Jordspänning

(SFS 6001, 2015)

När man beräknar jordspänningen för en elstation måste man ta i beaktande att en del av jordströmmen far via åskledare. Då måste strömmen korrigeras med en reduktionsfaktor enligt:

(Elovaara, 2007)

$$I_{EM} = r \times I_M$$

I_{EM} = Korrigerad jordström

r = Reduktionsfaktor

I_M = Jordström

Reduktionsfaktorer finns i bilaga 4.

(SFS 6001, 2015)

2.6 Överförda potentialer

Det finns speciella krav för hur jordningar skall göras när ett lågspännings- och högspänningssystem finns i närheten av varandra.

2.6.1 Hög- och lågspänningssystemens jordningar

En del av högspänningssystemets jordspänning kan framkomma i lågspänningssystemet om hög- och lågspänningsjordningarna är nära varandra och de inte bildar ett utbrett jordningssystem. Idag används två olika åtgärder:

- a) Alla hög- och lågspänningsjordningar kopplas ihop.
- b) Högspänningsjordningarna utesluts från lågspänningsjordningarna.

I båda fallen skall stegspänningars, beröringsspänningars och överförda potentialers krav uppfyllas i elstationen samt i lågspänningsinstallationen som matas från elstationen.

Sammankoppling av jordningarna rekommenderas om det är möjligt.

2.6.2 Lågspänningsmatning bara på insidan av högspänningstationen

Om lågspänningssystemet finns helt och hållet på högspänningsjordningarnas område ska båda jordningssystemen kopplas ihop.

2.6.3 Lågspänningsmatning som går till eller ifrån högspänningstation

Kraven uppfylls om högspänningsinstallationens jordning är en del av ett utbrett jordningssystem eller om det är kopplat en mångjordad högspänningsneutralledare i ett balanserat nätverk.

Om hög- och lågspänningsjordningarna är separata, skall jordningselektrodernas separationsmetod väljas så att det inte kan uppkomma livs- och egendomsfaror i lågspänningsinstallationen. Det betyder att högspänningsfelets orsakade stegspänningar, beröringsspänningar och överförda potentialer samt lågspänningsutrustningens belastningsspänningar är inom tillåtna värden.

I under 50 kV anläggningar används oftast värdet 20 m på avståndet mellan separerade jordningar. I vissa markförhållanden kan det användas andra värden.

2.6.4 Lågspänningsinstallation i närheten av högspänningstation

Lågspänningssystem som är i närheten av högspänningstationens jordningssystem skall speciellt tas i beaktande.

I industriinstallationer och kommersiella objekts installationer kan ett gemensamt jordningssystem användas. På grund av utrustningens närhet är det inte möjligt att separera jordningarna.

2.6.5 Överförda potentialer till telekommunikationssystem och till andra system

Telekommunikationssystem som är vid eller i närheten av högspänningsnätets jordningssystem hör inte till standarden SFS 6001.

Kablar och isolerade metallrör som är kopplade till elstation kan utsättas för potentialskillnader under jordfel.

I kabelns beröringsskydd eller i armeringen kan det uppkomma belastningsspänningar eller strömmar beroende på jordningssättet (endera i ena ändan eller i båda). Kablarnas och rörens isolation ska dimensioneras enligt motsvarande.

Om jordningen görs enbart i ena ändan kan den göras antingen i elstationen eller utanför elstationen. Beröringsspänningar i ändan som inte är jordad skall tas i beaktande.

Följande åtgärder skall göras om det anses nödvändigt:

- Brytning av ledningsförmågan för metalliska föremål, på en plats där man lämnar jordningssystemets område.
- Ledande delar och områden isoleras.
- Förhinder av beröring genom lämpliga skydd för ledande delar och omkring området.
- Installering av isolerade skydd mellan delar som är förbundna i olika jordningssystem.
- Lämplig potentialstyrning.
- Lämplig utrustning som begränsar överspänningar.

Ifall högspänningsnätets jordningssystem skulle vara en del av ett utbrett jordningssystem, där det vanligtvis inte uppkommer farliga potentialskillnader, kan problem orsakas av ledande delar av rör, kablar eller dylikt som är anslutna till en fjärrjord eller av jordade ledande delar i högspänningsinstallationen.

Denna utrustning skall därför placeras tillräckligt långt borta från de områden som påverkas av jordelektroder. Ifall om det inte är möjligt skall lämpliga åtgärder vidtas. (SFS 6001, 2015)

2.7 Jordningssystemens konstruktion

Åskskydden har en betydande roll i jordningssystemet. De skyddar systemet men har också betydelse på beröringsspänningen. För viss utrustning finns det skilda bestämmelser om hur de skall jordas.

2.7.1 Åskskydd

Åskskyddet har som uppgift att förhindra direkta blixtnedslag på fasledare och elstationsområdet. Dessutom tar de en del av jordfelsströmmen vid jordslutning som minskar störningseffekter.

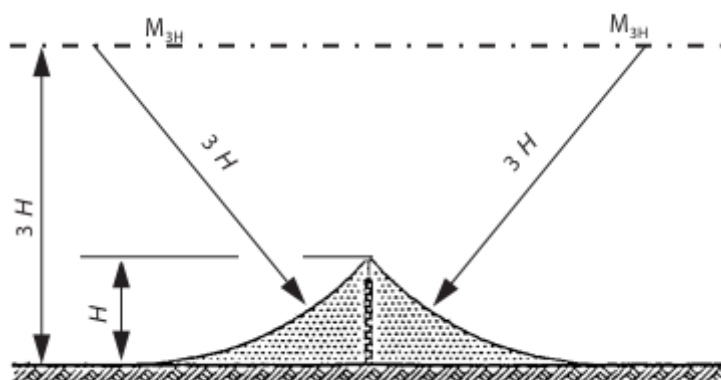
Åskledare används på hela kabeln eller bara på ett begränsat område vid elstationen.

Åskledare används på 400 kV och 220 kV ellinjer samt på nästan alla 110 kV ellinjer. Åskledare används också ofta på 24 kV till 52 kV ellinjer i närheten av elstationen. De svåra jordningsförhållandena begränsar användningen av åskledare i mellanspänningsnät. (Elovaara, 2007)

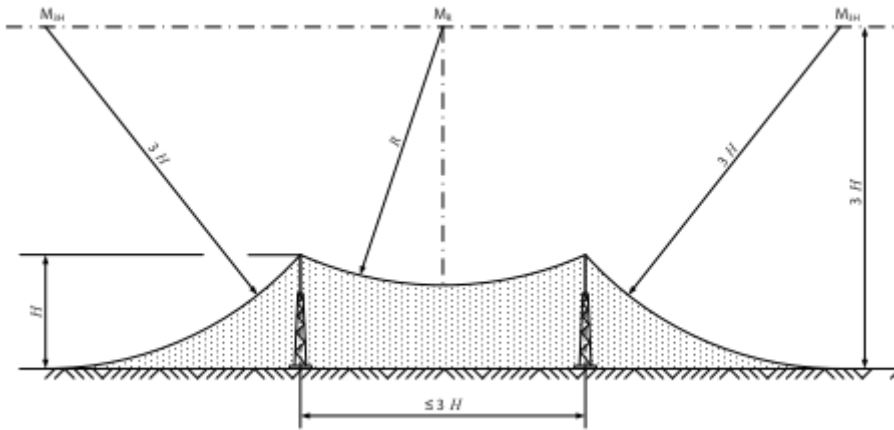
Åskurladdningar och kopplingsåtgärder i nätet orsakar hög- och lågfrekventa strömmar och spänningar. Högspänningsjordning fungerar som en del av blixtskyddssystemet.

Om det finns flera byggnader eller utrymmen vid industriella eller kommersiella objekt skall deras jordningssystem sammankopplas. Det uppstår en stor potentialskillnad mellan jordningssystemen för olika byggnader vid överspänning, t.ex. blixtnedslag, även om de är sammankopplade.

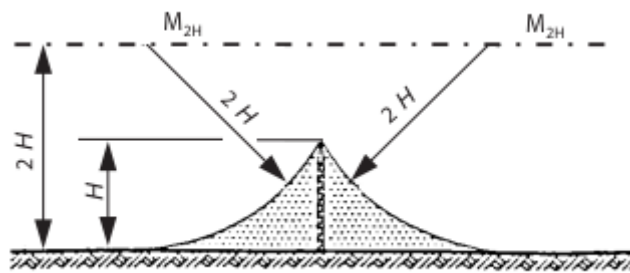
Det finns två olika metoder för att skydda mot blixtnedslag, de är blixtfångande linor och åskledarspetsar. (SFS 6001, 2015)



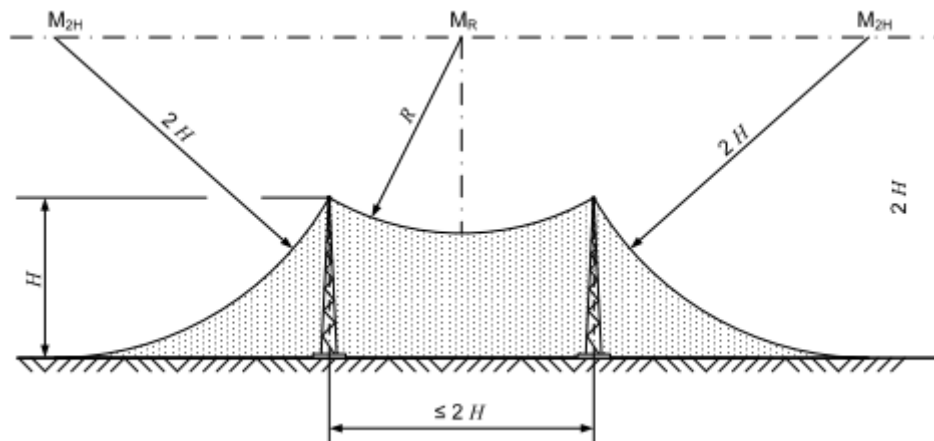
Figur 11. En blixtfångande lina. (SFS 6001, 2015)



Figur 12. Dubbla blixtfångande linor. (SFS 6001, 2015)



Figur 13. En åskledarspets. (SFS 6001, 2015)



Figur 14. Dubbla åskledarspetsar. (SFS 6001, 2015)

2.7.2 Utrustningens och installationens jordning

Alla spänningsutsatta delar i ett elsystem skall jordas. I specialfall bildas det isolerade områden.

Övriga ledande delar jordas om nödvändigt, t.ex. på grund av ljusbåge, mekaniska fel samt kapacitiv eller induktiv koppling. (SFS 6001, 2015)

2.7.2.1 Staket runt elstationen

Oisolerade metallstaket måste jordas. Jordningen skall göras på flera punkter, t.ex. vid varje hörn. Beroende på om staket är innanför eller utanför jordningssystemet skall kopplingar göras till antingen högspänningsnätets jordningssystem eller till en skild jordningselektrod.

Synliga metalldelar behöver inte jordas på ett staket som har isolerande ämne på sig.

Alla öppningar i staketet runt elstationen, t.ex. portar, skall jordas så att det inte uppkommer farliga spänningar mellan staketen.

2.7.2.2 Rör

Metallrör som är innanför elstationens område skall kopplas ihop med elstationens jordningssystem.

Som material för vatten- eller dylika rör, som kommer utifrån till elstationen, skall material av metall undvikas. Isolerande material bör användas istället.

2.7.2.3 Järnvägsräls

Icke elektrifierat järnvägssystem som går över elstationens område skall kopplas ihop med elstationens jordningssystem.

2.7.2.4 Stolptransformatorer och/eller kopplingsapparater

Alla transformatorer som är installerade på stolpar skall oftast skyddsjordas, oberoende om de har kopplingsapparat eller inte.

Om det är bara en transformator på stolpen räcker det med att jordningskraven uppfylls för minimijordningssystem, t.ex. jordningsstav, ringjordningselektrod eller den ledande stolpens fundament.

Kopplingsutrustning som är installerade på stolpar gjorda av ledande material eller betong skall jordas. På bruksplatsen skall beröringsspänningskraven från punkt 10.4 tillämpas.

Kravet uppfylls genom:

- Planering av jordningssystemet.
- Potentialutjämning med jordningsmatta.
- Att isolera bruksplatsen.
- Användning av isolerande föremål under kopplingsåtgärder (t.ex. handskar, isolerade verktyg eller mattor).
- Eller en kombination av åtgärderna ovan.

Kopplingsutrustning som är installerade på stolpar av icke ledande material behöver inte jordas (i Finland jordas även de). Om kopplingsutrustningen inte jordas måste mekaniskt tillförlitliga isolatorer installeras in i manöverlänkarna och vara placerade utom räckhåll.

2.7.3.5 Mättransformatorers sekundärkretsar

Jordningen skall göras så nära mättransformatorernas sekundäruttag som möjligt.

Minimiarea på jordningen är 2,5 mm² koppar. Om jordledaren inte är mekaniskt skyddad är minimiarea 4 mm² koppar. (SFS 6001, 2015)

2.8 Mätning

Efter att installationen är färdig skall det, vid behov, genom mätning kontrolleras att installationen fungerar som avsett. Mätningarna kan innehålla jordningssystemets impedans, förväntade berörings- och stegspänningar samt överförda potentialer. När berörings- och stegspänningar kontrollmäts med ströminjicering finns det två olika metoder:

- Mätning av förväntad berörings- och stegspänning med högimpedansvoltmeter.
- Mätning av effektiv berörings- och stegspänning över ett motstånd som är samma som människokroppen.

(SFS 6001, 2015)

2.8.1 Mätning av jordningsresistansen och jordningsimpedansen

Jordningsresistanser och -impedanser kan bestämmas på olika sätt. Metoden som används beror på jordningssystemets storlek och störningsgrad.

Vid mätning skall det tas i beaktande att det kan finnas farliga beröringsspänningar i jordade delar och emellan dem.

Olika mätmetoder:

- **Lågströmsmetoden (jordelektrodmätare)**

Metoden används för jordelektroder och jordningssystem av liten eller medelstor storlek (t.ex. enstaka jordningsspett, bandjordelektroder, luftledningars stolpjordelektroder, jordningssystem för mellanspänning och vid separation av jordningssystem för lågspänning). Växelspänningens frekvens får inte överstiga 150 Hz.

Vid mätning av jordelektroder skall sonden och matningselektroden placeras på en rak linje så långt ifrån varandra som möjligt. Avståndet mellan sonden och jordelektroden som skall mätas måste vara minst 2,5 gånger jordelektrodens största utsträckning, men inte mindre än 20 m. Avståndet för matningselektroder måste vara minst 4 gånger största utsträckningen, men inte mindre än 40 m.

I Finland skall det tillämpas längre mätavstånd, t.ex. 200 m, p.g.a. jordningsförhållandena.

- **Högfrekvensmetoden**

Metoden möjliggör att mäta resistansen till jord hos en enskild stolpe utan att fränkoppla jordlina och stolpe. Frekvensen på mätströmmen skall vara tillräckligt hög så att serieimpedansen hos jordlinan och de närliggande stolparna blir stor.

- **Starkströmsmetoden**

Metoden används speciellt för mätning av impedans till jord i större jordningssystem.

Metoden använder sig av växelspänning med i huvudsak systemfrekvens mellan jordningssystem och en avlägsen jordelektrod. En provström I_M leds in i jordningssystemet och då fås en mätbar potentialspänning i jordningssystemet. Jordledare och kabelmantlar som är anslutna till jord och som kan fungera som jordelektrod, skall inte fränkopplas vid mätning.

Beloppet av impedansen till jord fås av:

$$Z_E = \frac{U_{EM}}{I_M \times r}$$

U_{EM} = Den uppmätta spänningen mellan jordningssystemet och en sond för referensjord (V)

I_M = Uppmätt provström (A)

r = Reduktionsfaktor för ledningen som går till fjärrjordelektroden (se bilaga 4)
Reduktionsfaktorn kan beräknas eller mätas

Jordlinor i ledningar som ligger parallellt med provningsledningen mellan jordningssystemet och den avlägsna jordelektroden måste tas i beaktande om de är anslutna till jordningssystemet under mätning. I en metallmantlad kabel med låg resistans och som är jordad i båda ändorna, kommer största delen av provströmmen att ledas tillbaka i metallmanteln. Ifall metallmanteln har ett tillräckligt isolerat hölje så kan man fränkoppla mantelns jordningar.

Metallmanteln ska inte fränkopplas på kablar som fungerar som jordelektroder. Avståndet mellan jordningssystemet som mäts och den avlägsna jordelektroden ska vara tillräckligt stort så att de påverkade områdena inte berör varandra, t.ex. mellan 1 km och 5 km för utbredd jordningssystem. Provströmmen ska väljas, om möjligt, så högt att uppmätta spänningar är högre än möjliga påverkande och störande spänningar. Detta säkerställs oftast med provströmmar över 50 A. Voltmetern skall ha en inre resistans som minst 10 gånger sondens resistans till jord. Möjliga jordningsspänningar och beröringsspänningar ska elimineras.

- **Bestämning genom enskilda resistanser**

Enskilda jordelektroder, som inte påverkar varandra i praktiken, som är sammankopplade via förbindelseledningar, t.ex. jordledningar eller luftledningars toppjordlinor, kan impedansen till jord bestämmas genom att:

Resistansen till jord för varje jordelektrod bestäms för fränkopplade jordtagsledare genom lågströmsmetoden. De sammankopplade ledarnas impedans beräknas och impedansen till jord bestäms sedan av resistansen till jord och de sammankopplade ledarnas impedans.

(SFS 6001, 2015)

2.8.2 Mätning av markresistiviten

Markens resistivitetsmätning görs för att kunna bestämma jordningsresistansen eller jordningsimpedansen. Vid resistivitetsmätningen används en metod med fyra hjälpspett (t.ex. Wenner-metoden). Med mätningen kan markens resistivitet på olika djup bestämmas. (SFS 6001, 2015)

Vid mätning läggs fyra stycken jordningsstavar ner i marken i en rak linje. Avståndet mellan jordstavarna måste vara minst tre gånger så stort som stavarnas djup. För att få ett säkert resultat rekommenderas en tilläggsmätning, där mätningsriktningen svängs 90 grader. (Fluke, 2017)

2.8.2.1 Beräkning av markresistiviten enligt Wenner-metoden

Formel: $\rho = 2 \times \pi \times A \times R$

ρ = Medelvärde på resistiviteten på djupet A

A = Avståndet mellan elektroderna (cm)

R = Uppmätt resistansvärde (ohm)

2.8.3 Mätning av beröringsspänningen

Vid mätning av beröringsspänning används starkströmsmetoden. När man fastställer beröringsspänningen ska kroppsresistansen antas vara 1 k Ω . Mätelektroden vid simulering av fötterna skall ha en total area på 400 cm² och ligga mot marken med en total kraft på minst 500 N. En sond som är minst 20 cm neddriven in i marken kan användas om tilläggsresistanser inte beaktas.

För att få en snabb uppskattning av den förväntade beröringsspänningen kan man mäta med voltmeter, med hög inre resistans, och en sond som är på 10 cm djup. (SFS 6001, 2015)

2.9 Anvisningar för dokumentation

Dokumentationen är en viktig del av jordningsarbetet. Dokumentationen skall kunna bevisa att jordningen är utförd enligt standarden. Dokumentationen bör innehålla följande:

- Det ska finnas en planritning av jordningssystemet, där det klargör jordningselektrodernas material och plats, elektrodernas förbindelsepunkter samt installationsdjup.
- Innan installationen tas emot skall det göras en rapport var det framkommer att alla krav i SFS 6001 uppfylls.
- Utanför det utbredda jordningssystemet skall jordningsresistanserna och jordningsspänningarna räknas eller mätas systematiskt. Om det är nödvändigt vid kontroll av beröringsspänningarna, skall de mätas eller beräknas.
- Innanför det utbredda jordningssystemet räcker det med en grundplan. Jordningsresistanserna eller jordningsspänningar behöver inte beräknas eller mätas.
- Det skall kunna bevisas att enskilda jordningar är kopplade till det utbredda jordningssystemet.
- Om det behövs specialåtgärder för att uppfylla kraven för beröringsspänning, skall de finnas med på planritningen och beskrivas i dokumenten.

(SFS 6001, 2015)

3. Praktiskt utförande

Beräkningskalkylen dimensionerar jordelektroden och jordledaren som är mellan jordelektroden och jordskenan. Beräkningskalkylen jämför även jordspänningen med den tillåtna beröringsspänningen och berättar om beröringsspänningen är godkänd eller inte. Beräkningskalkylen skriver ut en rapport på dimensioneringsvärdena och om beröringsspänningen är godkänd. Beräkningskalkylen är skapad i Microsoft Excel.

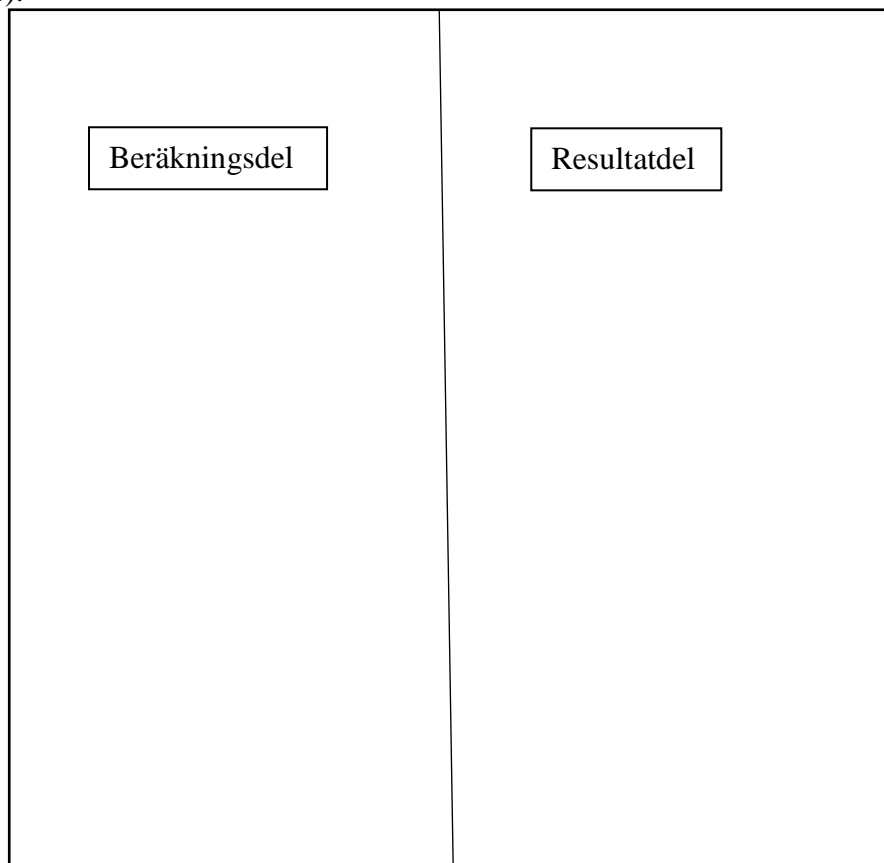
3.1 Uppbyggnad

Beräkningskalkylen består av två stycken kalkylblad:

- Jordningssystem.
- Beröringsspänning.

Kalkylbladet för jordningssystem är uppdelat i två delar, en beräkningsdel och en resultatdel (se figur 15). Beräkningsdelen innehåller alla beräkningar och det är hit som all behövlig teknisk information skall skrivas in. I resultatdelen skrivs en rapport med jordningssystemets viktigaste data ut (se figur 25).

Kalkylbladet för beröringsspänning visar stegen för att uppnå tillåten beröringsspänning (se figur 26).



Figur 15. Uppbyggnad av beräkningskalkylen.

3.2 Beräkningsdelen

Beräkningsdelen är indelade i åtta delar:

- Inskrivning av teknisk information.
- Jordslutningsströmmar.
- Dimensionering för jordelektrod och jordledare.
- Markresistivitet.
- Jordningsresistans.
- Jordström.
- Jordspänning.
- Tillåten beröringsspänning.

3.2.1 Inskrivning av teknisk information

Den information som behövs till beräkningarna skrivs in här. Cellerna som behövs kommer automatiskt fram beroende på vad man har valt. De celler som skall fyllas i är markerade med gult och de celler som beräknas är markerade med grönt.

MITOITUSPÖYTÄKIRJA		Laskenta pohja		VEO	
MAADOITUSJÄRJESTELMÄ				Substation	
VEO Projektinumero		Test			
Asiakas:		Test			
Projektinimi:		Test			
Suunnitel / päivämäärä:		Test		Test	
Tunnus:	Test				
				Fill in	Results
Sähköverkon Jännite	U [V]				
Aluen koko	m ²				
Vikavirran kestoaika	t [s]				
Suojauksen toiminta-aika	tc [s]				
Maadoitusjärjestelmä	Järjestelmät, joissa on sammutuskelat				
Tarvittavat virrat	IRES	IL		IC	
	0			0	
Tarvittavat impedanssit ja kapasitanssit	Z1	Z2		C [nF]	
	Mitattu	Taulukosta			
Maaperän resistiivisyys	0	Tai			
Maadoituselektrodin materiaali					
Maadoituselektrodin tyyppi					
Maadoituselektrodin pituus	L [m]				
Maadoitusjohdin materiaali					
Loppulämpötila	θf [°C]				
Aloitustempötila	θi [°C]				
Reduktiokertoimet	Uikkosjohdin	Kaapeli			
		0			

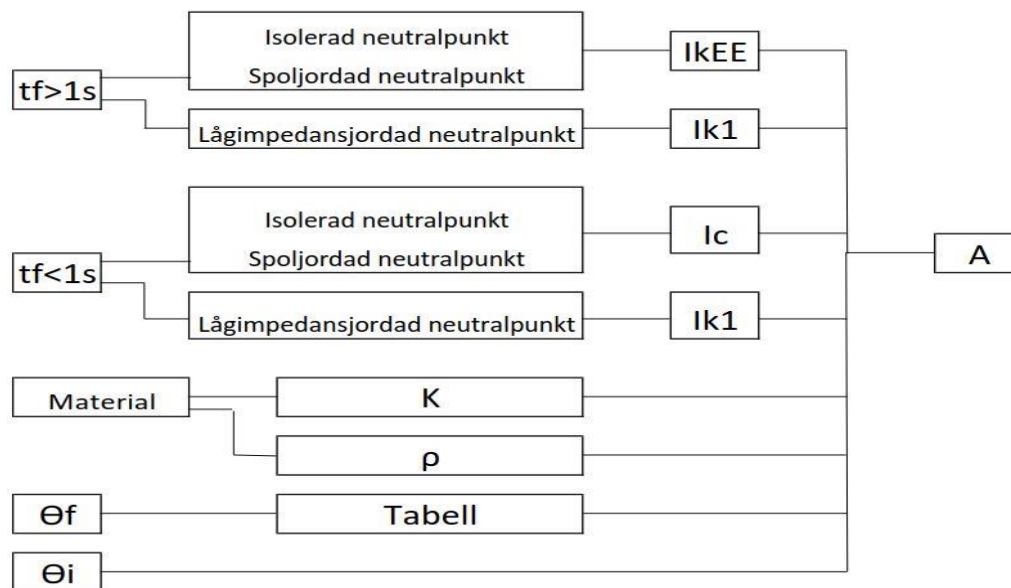
Figur 16. Inskrivning av teknisk information.

3.2.2 Dimensionering för jordelektrod och jordledare

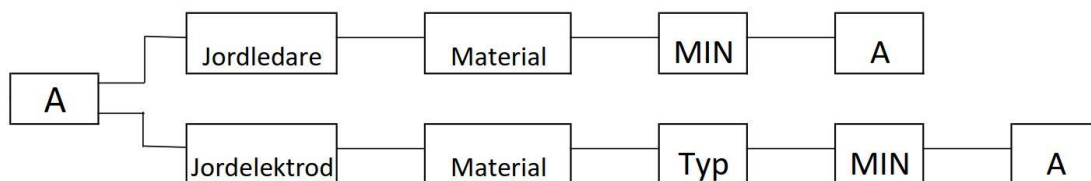
Dimensionering för jordelektrod och jordledare beräknas med formeln:

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}}$$

Rätt ström väljs automatiskt enligt vilket system som är valt och hur länge felet varar. Minimitvärnsnitten beaktas i beräkningarna och alla värden söks upp automatiskt enligt vilket material som är valt.



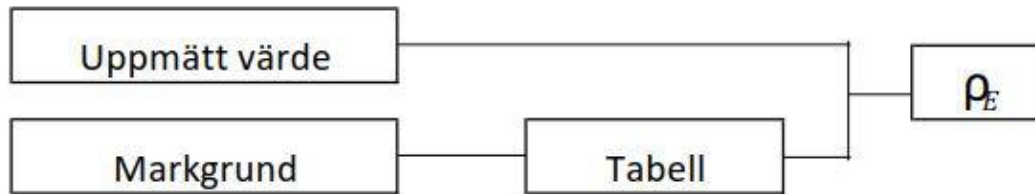
Figur 17. Funktionsblock för beräkning av dimensionering (1/2).



Figur 18. Funktionsblock för beräkning av dimensionering (2/2).

3.2.3 Markresistivitet

För markresistiviteten kan det väljas om man vill använda ett uppmätt värde eller välja en markgrund som tar ett värde från tabell 1. Från tabellen används medelvärdet för markgrunden.

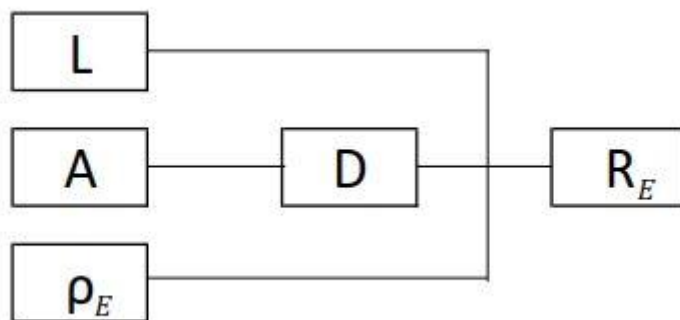


Figur 19. Funktionsblock för beräkning av markresistivitet.

3.2.4 Jordningsresistans

Jordningsresistansen beräknas med formeln för rutnät:

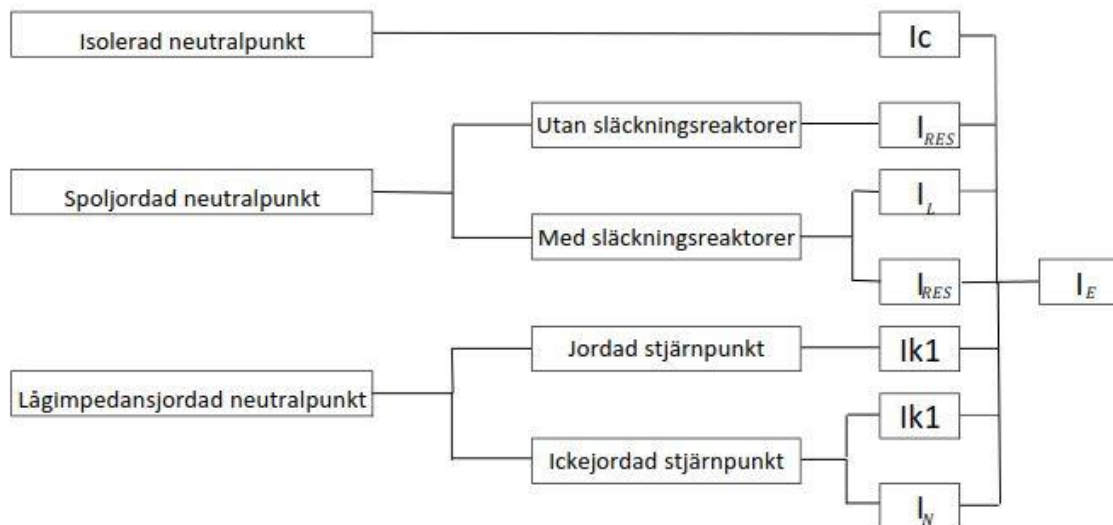
$$R_E = \frac{\rho_E}{2D} + \frac{\rho_E}{L}$$



Figur 20. Funktionsblock för beräkning av jordningsresistans.

3.2.5 Jordström

För jordströmmen väljs rätt formel från bilaga 4 beroende på vilket jordningssystemet som är valt.



Figur 21. Funktionsblock för beräkning av jordström.

3.2.6 Jordspänning

Jordspänningen beräknas enligt ohms lag:

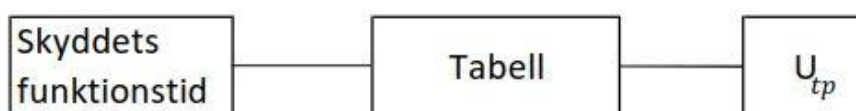
$$U_E = R_E \times I_E$$



Figur 22. Funktionsblock för beräkning av jordspänning.

3.2.7 Tillåten beröringsspänning

För att få reda på tillåten beröringsspänning, väljs tiden för skyddets funktionstid och kalkylen söker automatiskt upp från tabellen den tillåtna beröringsspänningen.



Figur 23. Funktionsblock för beräkning av tillåten beröringsspänning.

3.2.8 Jordslutningsströmmar

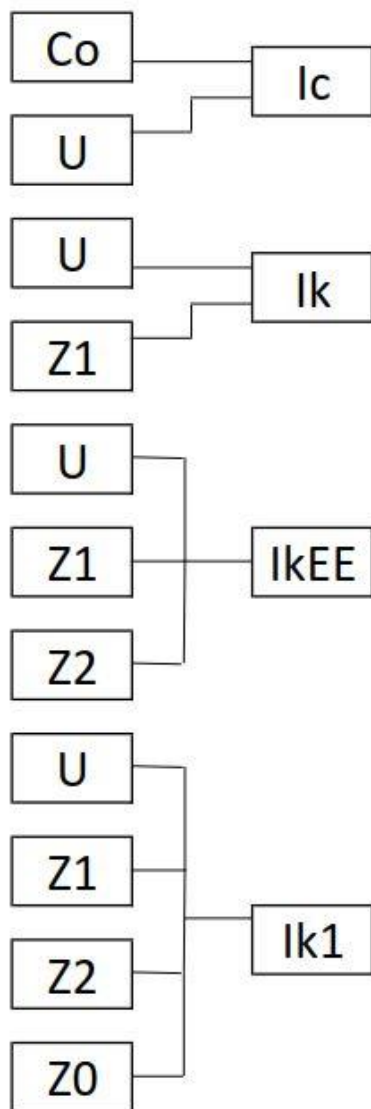
Här beräknas jordslutningsströmmarna.

$$I_c = \sqrt{3} \times \omega \times C_0 \times U$$

$$I''_k = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_1}$$

$$I''_{kEE} = \frac{U}{|Z_1 + Z_2|}$$

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \times U}{|Z_1 + Z_2 + Z_0|}$$



Figur 24. Funktionsblock för beräkning av jordslutningsströmmar.

3.3 Resultatdelen

I resultatdelen skrivs en rapport av de viktigaste uppgifterna för jordningssystemet. Rapporten kan användas till planeringen eller för att visa åt kunden uppgifter på jordningssystemet.

RAPORTTIPOHJA TÄYDENTYY AUTOMAATTISESTI LASKENTAPOHJAN TULOKSIEN PERUSTEELLA!

MITOITUSPÖYTÄKIRJA
MAADOITUSJÄRJESTELMÄ

Raportti



VEO Projektinnumero _____

Asiakas: _____

Projektinimi: _____

Suunnitteli / päivämäärä: _____

Tunnus: **Test** _____

Test _____

Test _____

Test _____

Test _____ Test _____

Maadoitusjärjestelmä

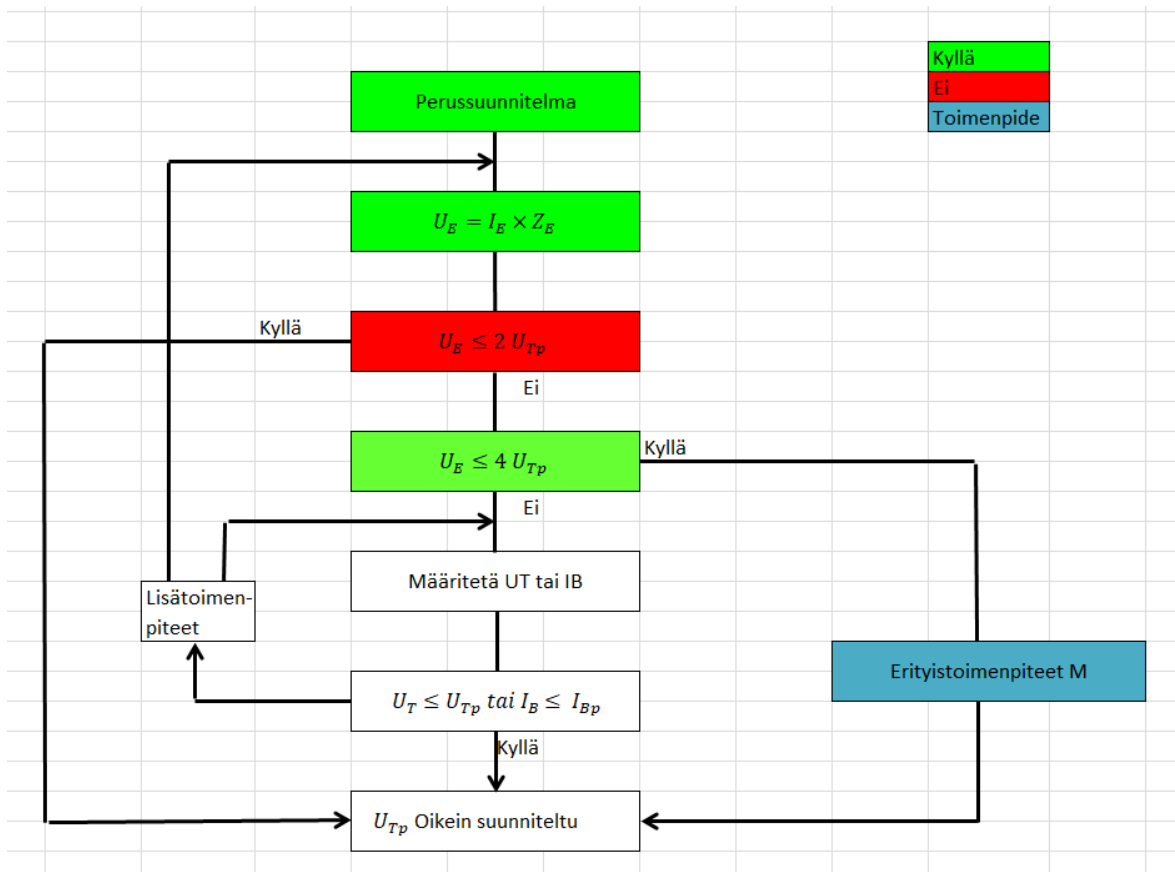
Maadoituselektrodi	A= 141,3	mm ²	Kupari
Maadoitusjohdin	A= 141,3	mm ²	Kupari
Maaperän resistiivisyys	ρE= 100	Ωm	Saven sekainen hiekka
Maadoitusresistanssi	RE= 2,1	Ω	Ruudukko
Maavirta	IE= 203,5	A	
Maadoitusjännite	UE= 434,8	V	
Sallittu kosketusjännite	UTP= 117	V	

Onko kosketusjännite ok? Ei Erityistoimpeenpiteet M tarvitaan

Figur 25. Resultatrapport.

3.4 Beröringsspänning

I kalkylbladet är bilaga 5 simulerad och det visas vilka steg som uppfylls och vilka som inte uppfylls. Det visas även vad för åtgärder behövs för att uppnå kraven för godkänd beröringsspänning.



Figur 26. Beröringsspänning.

4. Resultat

Målet med examensarbetet var att skapa en beräkningskalkyl som dimensionerar jordningssystem för elstationer. Arbetet gjordes för att säkerställa att VEOs planering av jordningssystem är enligt standarden och underlätta dimensionering av jordningssystem. Beräkningskalkylen skulle vara byggd enligt nyaste upplagan av standarden SFS6001. Slutresultatet blev en beräkningskalkyl som är skapad i Microsoft Excel samt en bred teori om krav för jordningar.

Beräkningskalkylen beräknar dimensionen på jordelektroden och jordledaren som förbinder jordelektroden till huvudjordskenan. Programmet skriver ut en rapport som tydligt visar dimensionerna och att kraven för beröringsspänning uppnås.

Teoridelen omfattar kraven för jordningar enligt standarden SFS6001. Här kan man snabbt söka upp om det är nått man funderar kring jordning. Förutom dimensionering finns det kort om mätningar, dokumentation och olika jordningssystem som finns bredvid varandra.

Några små tester har gjorts på beräkningskalkylen och dimensionerna har sett korrekta ut, men utförligare tester behövs för att säkerställa att kalkylen alltid räknar korrekt samt för att förbättra användarvänligheten.

Vid testningen märktes det att i Sverige och Norge används andra formler för dimensionering av jordningssystem. Denna beräkningskalkyl är därför lämpligast för projekt i Finland. Det är möjligt att göra skilda beräkningskalkyler för norska och svenska projekt i framtiden.

Tanken är att beräkningskalkylen kan börja användas för att dimensionera jordningssystem för elstationer i framtiden.

5. Diskussion

Examensarbetet har varit intressant och lärorikt. Till en början trodde jag att arbetet skulle vara lätt när jag hade en bra förståelse för Excel från förut, men det visade sig snabbt att dimensionering av jordningar var mera komplicerat än vad trodde.

Att arbeta med standarder var nytt för mig och det tog en stund att lära sig arbeta med dem. Jag märkte att vissa saker kan vara lite svårtolkat och att man måste fundera lite extra vad standarden menar. Extra utmanande gjorde det att jag använde mig av finska versionen av standarden för att jag upptäckte flera grova översättningsfel i den svenska versionen.

Till största delen har jag arbetat självständigt. Om problem har uppstått har de oftast löst sig genom att studera standarden noggrannare eller genom att testa sig fram. Men om jag har behövt fråga av andra planerare i VEO om hjälp så har de hjälpt till.

Jag skall ännu testa beräkningskalkylen mera utförligt så att den kan börja användas vid planeringen. När beräkningskalkylen är funktionstestad finns det möjligheter till att vidareutveckla kalkylen. Det skulle vara möjligt att göra kalkylen mera bredare att den dimensionerar ett helt jordningssystem för elstationer, men det skulle antagligen krävas makroprogrammering. Det är inte planerat nu att beräkningskalkylen skall vidareutvecklas.

Examensarbetet gick ganska bra enligt planerna och en fungerande beräkningskalkyl blev skapad. Jag tror att jag kommer i framtiden att ha nytta av att jag har läst in mig på jordningarna och fått en bra förståelse för kraven som gäller för jordningar.

6. Källförteckning

- Elovaara, J. (2007). *Sähkölaitostekniikan perusteet*. Helsinki: Otatieto.
- Elovaara, J. (2011). *Sähköverkot II*. Helsingfors: Otatieto Helsinki University Press.
- Fingrid*. (2018). Hämtad från www.fingrid.fi
- Fluke. (2006). *Principles, testing methods and applications*. Noudettu osoitteesta https://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/2633834_6115_ENG_A_W.PDF
- Fluke*. (2017). Hämtad från http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/9902801_FIN_A_W.PDF
- Lehtonen, S. (2009). *Sähköaseman maadoittaminen*. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- Mansikkamäki, J. (2015). *Kotimaan sähköasemaprojektien asennuslaadun parantaminen*. Vasa: Vaasa ammattikorkeakoulu.
- SFS 6001*. (2015). Helsingfors: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- Storm, H. (2013). *Undersökning och jämförelse av standarder vid jordning*. Vasa: Yrkeshögskolan Novia.
- Taimisto, S. (2001). *Maadoituskirja*. Helsinki: Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry.
- Tiainen, E. (2007). *Maadoituskirja*. Espoo: Sählö- ja teleurakoistijaliitto STUL ry.
- VEO*. (2018). Hämtad från www.veo.fi
- Åström, R. (2015). *Handbok för krav på norska elstationer*. Vasa: Novia.

Specialåtgärder M

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

SFS 6001

115

Liite E (velvoittava) Erityistoimenpiteiden M kuvaus

Taulukko E.1 Erityistoimenpiteiden M käyttö sallittujen kosketusjännitteiden U_{Tp} takaamiseksi (ks. kuva 4)

Vian kestoaika t_f	Maadoitusjännite U_E	Asennuksia ympäröivät aidat ja ulkoseinät	Asennustyyppi	
			Sisäasennus	Ulkoasennus
$t_f > 5$ s	$U_E \leq 4 \times U_{Tp}$	M1 tai M2	M 3	M 4.1 tai M 4.2
	$U_E > 4 \times U_{Tp}$	Osoitettava, että $U_T \leq U_{Tp}$	M 3	M 4.2
$t_f \leq 5$ s	$U_E \leq 4 \times U_{Tp}$	M 1 tai M 2	M 3	M 4.2
	$U_E > 4 \times U_{Tp}$	Osoitettava, että $U_T \leq U_{Tp}$		

- M 1** Erityistoimenpiteet sisäasennuksia sisältävien rakennusten ulkoseinille ja niitä ympäröiville aidoille. Erityistoimenpiteitä M 1.1 – M 1.3 voidaan käyttää ulkopuolisilta kosketusjännitteiltä suojautumiseen.
- M 1.1** Ulkoseinissä käytetään johtamatonta materiaalia, (esim. kiviainesta tai puuta) ja vältetään ulkopuolelta kosketeltavissa olevia maadoitettuja metalliosia.
- M 1.2** Toteutetaan potentiaalinhjaus maadoitusjärjestelmään yhdistetyllä vaakamaadoituselektrodilla, joka asennetaan noin 1 m etäisyydelle ulkoseinän ulkopuolelle enintään 0,5 m syvyyteen.
- M 1.3** Käyttöpaikka eristetään. Eristävien osien tulee olla mitoiltaan riittäviä, jotta eristyksen ulkopuolelta on mahdotonta koskettaa käsin maadoitettuja johtavia osia. Jos koskettaminen on mahdollista vain sivuttaissuunnassa, eristävän osan leveydeksi riittää 1,25 m.
- Käyttöpaikan eristäminen on riittävä toimenpide seuraavissa tapauksissa:
- eristyksen muodostaa vähintään 100 mm paksu kivimurskakerros
 - eristyksen muodostaa asfalttikerros, jolla on sopiva maapohja (esim. sora),
 - eristyksen muodostaa eristematto, jonka pinta-ala on vähintään 1 000 mm × 1 000 mm ja jonka paksuus on vähintään 2,5 mm tai jokin muu menetelmä, joka takaa vastaavan eristyksen
- M 2** Erityistoimenpiteet ulkoasennuksia ympäröiville aidoille.
- Ulkoisilta kosketusjännitteiltä suojautumiseen voidaan soveltaa erityistoimenpiteitä M 2.1 – M 2.3. Porttien osalta voidaan käyttää myös erityistoimenpidettä M 2.4.
- M 2.1** Käytetään johtamattomasta materiaalista tai muovipäällysteisestä metallilankaverkosta valmistettuja aitoja (joissa voi olla myös paljaita johtavia lamelleja).
- M 2.2** Käytettäessä johtavasta materiaalista tehtyä aita, toteutetaan potentiaalinhjaus aitaan yhdistetyllä vaakamaadoituselektrodilla, joka on noin 1 m etäisyydellä aidan ulkopuolella enintään 0,5 m syvyydellä. Aidan yhdistäminen maadoitusjärjestelmään on valinnaista (ks. kuitenkin erityistoimenpide M 2.4).
- M 2.3** Käyttöpaikka eristetään erityistoimenpiteen M 1.3 mukaisesti ja maadoitetaan aita joko liitteen G mukaisesti tai yhdistämällä se maadoitusjärjestelmään.

- M 2.4 Jos ympäröivien aitojen portit on yhdistetty maadoitusjärjestelmään suoraan tai henkilökunnan kulunvalvontajärjestelmien tms. suojajohtimien tai kaapelien metallivaippojen välityksellä, potentiaalinohjaus tai käyttöpaikan eristys porttien avausalueella on toteutettava erityistoimenpiteen M 1.3 mukaisesti.
- Jos erillisesti maadoitetun johtavan aidan portit yhdistetään päämaadoitusjärjestelmään, portit on eristettävä aidan johtavista osista siten, että muodostuu vähintään 2,5 metrin sähköinen erotus. Tämä voidaan toteuttaa käyttämällä johtamattomasta materiaalista olevaa aidan osaa tai johtavaa aitaa, jonka päissä on eristävät kiinnikkeet. On huolehdittava siitä, että sähköinen erotus säilyy porttien ollessa täysin auki.
- M 3 Erityistoimenpiteet sisäasennuksissa
- Sisäasennuksissa voidaan käyttää erityistoimenpiteitä M 3.1 – M 3.3.
- M 3.1 Toteutetaan potentiaalinohjaus rakennuksen perustusten sisällä olevilla ruudukon muotoisilla elektrodeilla (esim. käytetään elektrodeja, joiden poikkipinta on vähintään 50 mm² ja ruudukon leveys enintään 10 m tai rakenneteräsverkkoja), jotka yhdistetään maadoitusjärjestelmään vähintään kahdesta eri kohdasta.
- Terästen virranjohtokyky on laskennallisesti tarkistettava, jos betonirauoituksia käytetään tarkoituksellisesti vikavirran kulkutienä.
- Jos käytetään rakenneteräsverkkoja, vierekkäiset verkot on yhdistettävä toisiinsa ainakin yhdestä pisteestä ja kaikki verkot yhdessä on yhdistettävä maadoitusjärjestelmään vähintään kahdesta pisteestä.
- Olemassa olevilla rakennuksilla voidaan käyttää ulkoseinien lähelle maahan kaivettua vaakamaadoituselektrodiä, joka yhdistetään maadoitusjärjestelmään.
- M 3.2 Käytetään metallisia rakenneosia, esim. metalliruudukkoa tai metallilevyä, joka yhdistetään käyttöpaikalta kosketeltavissa oleviin maadoitettaviin metalliosiin.
- M 3.3 Käyttöpaikka eristetään maadoitusjännitteeltä erityistoimenpiteen M 1.3 mukaisesti. Potentiaalintasaamiseksi kaikki käyttöpaikalta samanaikaisesti kosketeltavissa olevat maadoitettavat metalliosat yhdistetään toisiinsa.
- M 4 Erityistoimenpiteet ulkoasennuksissa.
- M 4.1 Käyttöpaikoilla:
- Toteutetaan potentiaalinohjaus vaakamaadoituselektrodilla, joka asennetaan noin 1 m etäisyydelle käytettävistä laitteista noin 0,2 m syvyyteen. Tämä vaakamaadoituselektrodi yhdistetään kaikkiin käyttöpaikalta kosketeltavissa oleviin maadoitettaviin metalliosiin.
- tai
- Käyttöpaikoilla käytetään metallista rakenneosaa (esim. hoitotaso, metalliritilä tai metallilevy), joka yhdistetään käyttöpaikalta kosketeltavissa oleviin maadoitettaviin metalliosiin.
- tai
- Paikka eristetään erityistoimenpiteen M 1.3 mukaisesti. Samanaikaisesti käyttöpaikalta kosketeltavissa olevat metalliosat tulee yhdistää toisiinsa ja maadoittaa potentiaalintasaamiseksi.
- M 4.2 Rakennetaan asennusta ympäröivä vaakamaadoituselektrodi maahan suljetun renkaan muotoon. Renkaan sisäpuolelle asennetaan maadoitusruudukko, jonka yksittäisen ruudun koko on enintään 10 m × 10 m. Renkaan ulkopuolella sijaitsevien asennusten yksittäisillä osilla, jotka on yhdistetty maadoitusjärjestelmään (esim. valaisinmastot, jotka yhdistetään suojajohtimilla maadoitusjärjestelmään) on käytettävä noin 1 m etäisyydellä ja noin 0,2 m syvyydellä olevaa potentiaalinohjauselektrodiä.

Dimensionering av jordelektroder

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

SFS 6001

110

Liite C
(velvoittava)**Maadoituselektrodien tyyppi ja minimimitat, jotka takaavat
riittävän mekaanisen lujuuden ja korroosionkestävyyden**

Materiaali	Elektrodin tyyppi	Vähimmäismitta					
		Ydinosa		Pinoite/vaippa			
		Halkaisija mm	Poikkipinta mm ²	Paksuus mm	Yksittäinen arvo µm	Keskiarvo µm	
Teräs	Kuumasinkitty	Nauha ^b		90	3	63	70
		Profiili (ml. levy)		90	3	63	70
		Putki	25		2	47	55
		Sauvaelektrodin pyörötanko	16			63	70
		Vaakamaadoituselektrodin pyöreä lanka	10				50
	Lyijyvaipalla ^a	Vaakamaadoituselektrodin pyöreä lanka	8			1 000	
	Päällystetyllä kuparivaipalla	Sauvaelektrodin pyörötanko	15			2 000	
	Elektrolyytti-kuparivaipalla	Sauvaelektrodin pyörötanko	14,2			90	100
Kupari	Paljas	Nauha		50	2		
		Vaakamaadoituselektrodin pyöreä lanka		25 ^c			
		Köysi	1,8 ^d	25 ^c			
		Putki	20		2		
	Tinattu	Köysi	1,8 ^d	25 ^c		1	5
	Sinkitty	Nauha		50	2	20	40
		Lyijyvaipalla ^a	Köysi	1,8 ^d	25 ^c		1 000
			Pyöreä lanka		25 ^c		1 000
^a Ei soveltu asennettavaksi suoraan betoniin. Lyijyn käyttöä ei suositella ympäristösyistä. ^b Valsattu tai leikattu nauha pyörästetyin reunoin. ^c 16 mm ² poikkipintaa voidaan käyttää erityisolosuhteissa, joissa kokemuksen mukaan korroosion ja mekaanisen vaurioitumisen riski on vähäinen. ^d Yksittäiselle langalle.							

Ekvationer till planeringen av strömmar i jordningssystemet

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

SFS 6001

94

Taulukko 5 Maadoitusjärjestelmien suunnitteluun liittyvät olennaiset virrat (EN 50522 taulukko 1)

Suurjännitejärjestelmän tyyppi	Termiseen kuormitukseen liittyvä virta ^{a, e}		Maadoitusjännitteeseen ja kosketusjännitteisiin liittyvä virta
	Maadoituselektrodi	Maadoitusjohdin	
Maasta erotetut järjestelmät			
	I_{kEE}^i	I_{kEE}^i	$I_E = r \cdot I_C^b$
Sammutetut järjestelmät			
Sisältäen lyhytaikaisen maadoittamisen vianilmaisua varten			
Järjestelmät ilman sammutuskeloja ^f	I_{kEE}^i	I_{kEE}^i	$I_E = r \cdot I_{RES}^b$
Järjestelmät, joissa on sammutuskelat	I_{kEE}^i	$I_{kEE}^{c, l}$	$I_E = r \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{RES}^2}^{b, h}$
Pienen impedanssin kautta maadoitetut järjestelmät			
Sisältäen lyhytaikaisen maadoittamisen laukaisua varten ^g			
Järjestelmä, jossa ei ole tähtipisteen maadoitusta	I_{k1}^i	I_{k1}^i	$I_E = r \cdot I_{k1}^i$
Järjestelmä, jossa on tähtipisteen maadoitus	I_{k1}^i	I_{k1}^i	$I_E = r \cdot (I_{k1}^i \cdot I_N)^d$
^a Jos virralla on useita kulkuteitä, virran jakautuminen voidaan ottaa huomioon. ^b Jos maasuluille ei ole automaattista poiskytkentää, kaksoismaasulkujen huomioon ottamisen tarve riippuu käyttökokemuksista. ^c Petersenin kelan eli maasulkuvirran sammutuskelan maadoitusjohdin pitää mitoittaa kelan maksimivirran mukaan. ^d On tarkistettava, voiko aseman ulkopuolinen vika olla määräävä. ^e Liitteen C mukaiset vähimmäispoiskipinnat pitää ottaa huomioon. ^f Jos järjestelmä ei ole riittävän hyvin kompensoitu, yleistä arvoa 10 % I_C ei voi soveltaa. Jännösvirran reaktiivinen/kapasitiivinen komponentti on lisäksi otettava huomioon. ^g Sammutetuissa järjestelmissä lyhytaikainen maadoittaminen (vastuksen kytkeminen sammutuskelan rinnalle) alkaa automaattisesti 5 s kuluttua maasulun havaitsemisesta. ^h Kun vika sattuu sähköasemalla, pitää ottaa huomioon kapasitiivinen vikavirta I_C . Jos sähköaseman ulkopuolisessa verkossa on muita sammutuskeloja, ne pitää ottaa huomioon. ⁱ FI Lisäys: Maasta erotetuissa ja sammutetuissa verkoissa, joissa maasulku kytketään pois alle 1 sekunnissa, suuretta I_C voidaan käyttää maadoituselektrodien ja -johtimien termiseen kuormitettavuuden mitoituksessa määräävänä tekijänä. Tällöin maasulun poiskytkentäaikana käytetään ekvivalenttista poiskytkentäaikaa.			
Selitteet:			
I_C	Laskettu tai mitattu kapasitiivinen maasulkuvirta.		
I_{RES}	Maasulun jännösvirta (ks. kuva 3b). Jos tarkkaa arvoa ei ole käytettävissä, arvoksi voidaan olettaa 10 % arvosta I_C .		
I_L	Kyseessä olevan sähköaseman rinnakkaisien sammutuskelojen nimellisvirtojen summa		
I_{kEE}^i	Standardin EN 60909 mukaisesti laskettu kaksoismaasulkuvirta. Virran I_{kEE}^i maksimi-arvon voidaan olettaa olevan 85 % symmetrisen alkuoikosulkuvirran arvosta.		
I_{k1}^i	Standardin EN 60909 mukaan laskettu yksivaiheisen maasulun symmetrisen alkuoikosulkuvirta.		
I_E	Maavirta (ks. kuva 2).		
I_N	Muuntajan tähtipistevirta (ks. kuva 2).		
r	Reduktiokerroin (ks. liite 1).		
Jos asemalta lähtevillä ilmajohtoilla ja kaapeleilla on erilaiset reduktiokertoimet, tulee tarvittava resuloiva virta määrittää liitteen L mukaisesti.			

Reduktionsfaktorer för åskledare

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

SFS 6001

148

NA1.Liite Ilmajohtojen ukkosjohtimien ja maakaapelien metallivaippojen reduktiokerroin

Suomessa käytetään yleisesti ilmajohtoilla seuraavia ukkosjohdintyyppejä ja niiden reduktiokertoimia

Rakennetyyppi	Ukkosjohtimet	Maaperän resistiivisyys / Ω m		
		100	1000	10000
1 portaali	2xSt70	0,91/ -9,5°	0,88/ -10°	0,87/-11°
1 portaali	2xImatra (93/39)	0,45/ -15°	0,39/ -17°	0,36 -18°
1 portaali	2xSuStrong (106/25)	0,52/ -11°	0,44/ -13°	0,41/ -14°
2 portaali	4xSt70		0,78/ -17°	
2 portaali	4xImatra (93/39)	°	0,25/ -20°	
2 portaali	4xSuStrong (106/25)	0,37/ -13°	0,30/ -16°	0,27/ -17°
1 tannenbaum	2xImatra(93/39)		0,39/ -11°	
1 tannenbaum	2xSuStrong(106/25)		0,48/ -11°	
2 tannenbaum	4xSuStrong		0,33/ -13°	

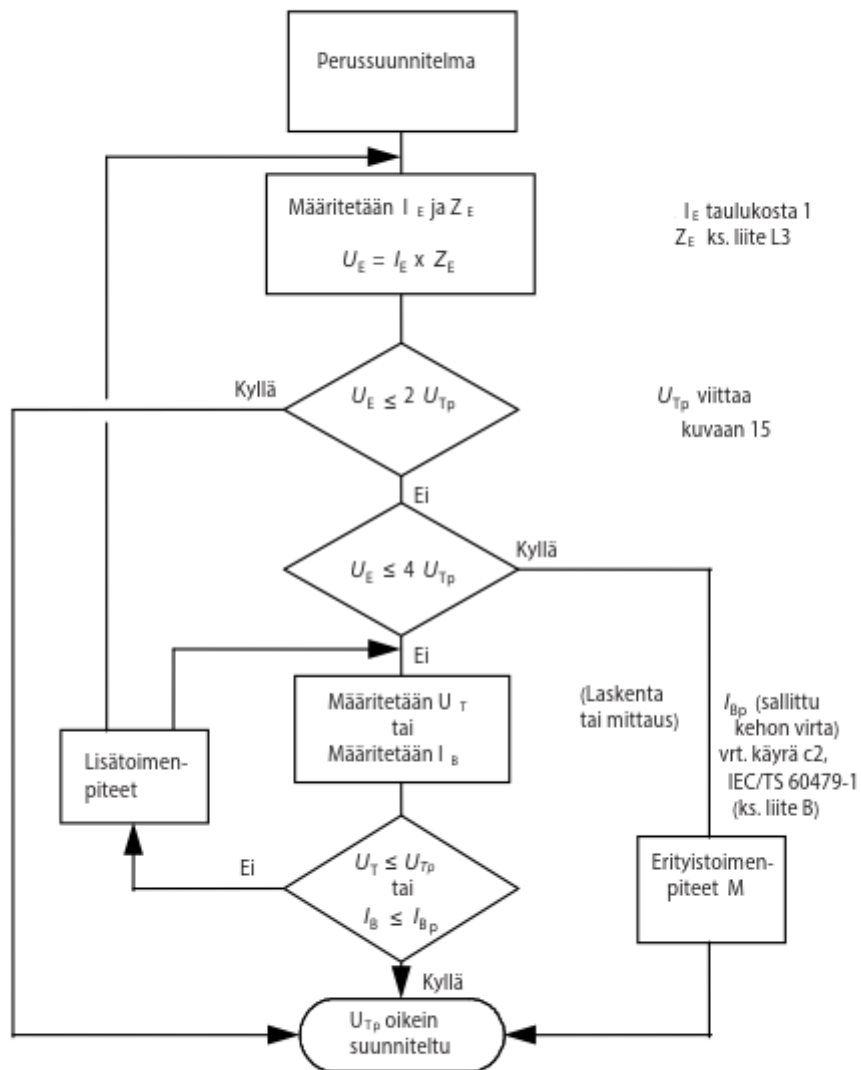
Kaapelien reduktiokertoimet saa kaapelin valmistajalta.

Planering av tillåten beröringsspänning

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

SFS 6001

98



Kuva 16 Laajaan maadoitusjärjestelmään (10.4.2 C1) kuulumattoman maadoitusjärjestelmän suunnittelu vertaamalla maadoitusjännitettä U_E tai kosketusjännitettä U_T sallittuun kosketusjännitteeseen U_{Tp} (EN 50522 kuva 5)

Jordspänningskrav

Pienjännitejärjestelmä ^{a, b}		Maadoitusjännitevaatimukset		
		Maadoitusjännite U_E	Rasitusjännite ^c	
			Vian kestoaika $t_f \leq 5 \text{ s}$	Vian kestoaika $t_f > 5 \text{ s}$
<i>TT</i>		Ei sovellettavissa	$U_E \leq 1\,200 \text{ V}$	$U_E \leq 250 \text{ V}$
<i>TN</i>		$U_E \leq F \cdot U_{Tp}^{d, e}$	$U_E \leq 1\,200 \text{ V}$	$U_E \leq 250 \text{ V}$
<i>IT</i>	Suojamaadoitusjohtimet mukana verkossa	Kuten <i>TN</i> -järjestelmässä	$U_E \leq 1\,200 \text{ V}$	$U_E \leq 250 \text{ V}$
	Suojamaadoitusjohtimia ei ole mukana verkossa	Ei sovellettavissa	$U_E \leq 1\,200 \text{ V}$	$U_E \leq 250 \text{ V}$

^a Pienjännitejärjestelmät, katso SFS 6000-1.

^b Tietoliikennelaitteille tulisi noudattaa ITU:n suosituksia.

^c Rajoja voidaan nostaa, jos käytetään soveliaita pienjännitelaitteita tai jos maadoitusjännitteen asemesta sovelletaan laskelmiin tai mittauksiin perustuvia paikallisia potentiaalieroja.

^d Jos pienjännitejärjestelmän PEN- tai nollajohdin on maadoitettu vain suurjännitemaadoituksen yhteydessä, suureen *F* arvo tulee olla 1.

^e U_{Tp} saadaan kuvasta 15.

HUOM. Tavallinen kertoimen *F* arvo on 2. Suurempia arvoja voidaan käyttää, jos PEN-johtimella on lisäyhdistyksiä maahan. Tietyissä maaperissä *F*:n arvo voi olla jopa 5. Harkintaa tulee käyttää, kun tätä sääntöä noudatetaan suuriresistiivisissä maaperissä, joissa pintakerroksen resistiivisyys on alla olevia kerroksia suurempi. Kosketusjännite voi tällöin ylittää 50 % maadoitusjännitteestä.