

GNSS-mätning och granskning av jordningar i lågspänningsnät

Simon Julin

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för el- och automationsteknik

Vasa 2019



EXAMENSARBETE

Författare: Simon Julin
Utbildning och ort: Elektroteknik, Vasa
Inriktningsalternativ: Elkraftsteknik
Handledare: Lars Enström

Titel: GNSS-mätning och granskning av jordningar i lågspänningsnät

Datum: 3.4.2019

Sidantal: 26

Bilagor: 1

Abstrakt

Syftet med detta examensarbete var att utföra en granskning av jordningarna i Jeppo Kraft Andelslags lågspänningsnät samt att mäta in de lågspänningsstolpar som finns i elnätet med hjälp av GNSS-teknik. Syftet med GNSS-mätningen var att använda de inmätta koordinaterna för att uppdatera de ritningar som finns på elnätet.

Examensarbetets teoridel behandlar kraven som SFS-6000 standarden ställer på jordningar i låg- och mellanspänningsnät, samt hur man i praktiken kontrollerar att dessa uppfylls. Teoridelen beskriver även hur dimensionering av jordningar görs samt vilka faktorer som inverkar på detta, placering av jordningar och även hur transformatorer och lågspänningsnät jordas. I arbetets teoridel beskrivs kort även programmen Trimble NIS och Trimble Penmap och deras respektive uppgifter i arbetet.

Resultatet med detta examensarbete är att de ritningar som fanns på elnätet uppdaterades samt att Jeppo Kraft Andelslag fick en bättre bild på var lågspänningsjordningarna är placerade även vilka områden som möjligtvis behöver förbättras.

Språk: svenska

Nyckelord: Trimble, jordning, markresistivitet

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Simon Julin
Koulutus ja paikkakunta: Sähkötekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja: Lars Enström

Nimike: GNSS-mittaus ja pienjänniteverkon maadoitusten tarkastus

Päivämäärä: 3.4.2019

Sivumäärä: 26

Liitteet: 1

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tarkastaa Jeppo Kraft Andelslagin pienjänniteverkon maadoitukset sekä mitata sähköverkon pienjännitepylväket käyttäen GNSS-tekniikkaa. GNSS-mittauksen tarkoitus oli myöhemmin käyttää mitatut koordinaatit sähköverkon piirustuksia päivittäessä.

Opinnäytetyön teoriaosa käsittelee SFS-6000:n asettamat vaatimukset pien- ja keskijänniteverkon maadoituksille, sekä miten näitä käytännössä tarkistetaan. Teoriassa kuvaillaan sen lisäksi, miten maadoitukset mitoitetaan ja siihen vaikuttavia tekijöitä sekä maadoitusten sijoittamista ja miten muuntajat ja pienjänniteverkot maadoitetaan. Trimble NIS ja Trimble Penmap -järjestelmät ja niiden tehtävät opinnäytetyössä nostetaan myös teoriassa esille.

Opinnäytetyön tuloksena on päivitettyt sähköverkon piirustukset ja Jeppo Kraft Andelslag sai myös paremman kuvan pienjännitemaadoitusten sijoituksista sekä mitkä alueet mahdollisesti ovat parannettavia.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: Trimble, maadoitus, maaperän resistiivisyys

BACHELOR'S THESIS

Author: Simon Julin
Degree Programme: Electrical Engineering, Vaasa
Specialization: Electrical Power Engineering
Supervisor: Lars Enström

Title: GNSS-Measuring and Inspection of Earthing in a Low-voltage Grid

Date: April 4, 2019

Number of pages: 26 Appendices: 1

Abstract

The purpose of this thesis is to carry out an examination of the grounding electrodes in the low-voltage grid owned by Jeppo Kraft Andelslag and to measure the positions of the poles in the network using GNSS-technology. The purpose of the GNSS-measurements is to then use the coordinates to update the existing drawings of the grid.

The theoretical part of the thesis deals with the requirements set by the SFS-6000 standard on grounding in low and high-voltage grids, and how in practice it is checked that these are met. The theory section also describes how the dimensioning of groundings are made and which factors influence this, placement of grounding electrodes and how transformers and low-voltage grids are grounded. The theory section also describes the programs Trimble NIS and Trimble Penmap and their respective tasks in the thesis.

The result of this thesis is that the existing drawings of the grid were updated and that Jeppo Kraft Andelslag received a better overview of where the low-voltage groundings are located and also, which areas might need improvements.

Language: swedish

Keywords: Trimble, earthing, earthing resistance

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Syfte	1
1.2	Uppdragsgivare.....	1
1.2.1	Historia	1
2	Teori	3
2.1	Finlands elnät.....	3
2.2	Allmänt om jordningar	5
2.2.1	Grundläggande krav på jordning.....	5
2.2.2	Potentialutjämning	6
2.2.3	Jordning av transformator	6
2.2.4	Jordning av lågspänningsnät.....	7
2.3	Jordningsresistans	8
2.3.1	Markresistivitet.....	10
2.3.2	Mätning av jordningsresistans.....	11
2.4	Dimensionering av jordningar	13
2.4.1	Dimensionering med avseende på beröringsspänning	13
2.4.2	Dimensionering med avseende på korrosion och mekanisk hållfasthet	15
2.4.3	Dimensionering med avseende på termisk hållfasthet.....	15
2.5	GNSS	18
2.5.1	GPS.....	18
2.5.2	GLONASS.....	18
2.5.3	Galileo.....	18
2.6	Trimble.....	19
2.6.1	Trimble NIS	19
2.6.2	Trimble Penmap.....	20
3	Utförande.....	21
3.1	Mätningar	21
3.2	Uppdateringar i Trimble.....	22
4	Resultat	24
5	Diskussion	25
	Litteraturförteckning	26

Bilageförteckning

Bilaga 1	Tillåtna jordledardimensioner
----------	-------------------------------

1 Inledning

Under hösten på årskurs fyra var det dags för val av examensarbete. För detta examensarbete tog jag kontakt med en tidigare arbetsgivare, Jeppo Kraft Andelslag, för att höra mig för om de kunde erbjuda något lämpligt tema. Jeppo Kraft Andelslag tog för något år sedan i bruk planeringsprogrammet Trimble NIS. Eftersom de i ibruktagningsskedet använde sig av gamla ritningar fanns ett behov av att gå igenom lågspänningsnätet och uppdatera ritningarna samt mäta de befintliga jordningarna.

1.1 Syfte

Syftet med arbetet var att granska och mäta GPS-positionen på lågspänningsstolpar och deras jordningar och sedan uppdatera ritningarna i Trimble så att de överensstämmer med verkligheten. Målsättningen med arbetet är att Jeppo Kraft Andelslag får uppdaterade ritningar med exakta positioner på linjedragning och jordkablar samt att de får en överblick av var jordningarna möjligtvis måste förbättras.

1.2 Uppdragsgivare

År 1920 grundades Jeppo Kraft Andelslag och är med sina 70 transformatorer och ca 800 elkonsumenter ett av Finlands minsta elverk. Jeppo Kraft Andelslag är ett företag med flera grenar, förutom eldistribution och -försäljning, elinstallationer bedrivs också vitvaruförsäljning samt service på de vitvaror som säljs. (Jeppo Kraft Andelslag, 2019)

1.2.1 Historia

Jeppo Kraft Andelslag grundades år 1920 under namnet Jeppo kvarn- och sågverksandelslag, av namnet att döma var andelslagets huvudverksamhet kvarn- och sågverksamhet. Den 3 april 1921 köpte andelslaget Silvast kvarn och såginrättning, som på den tiden hade ett elektricitetsverk med generator, transformatorer och en instrumenttavla. Jeppo kvarn- och sågverksandelslag hade nu fått en fastare grund att stå på och kunde bygga vidare på de olika verksamhetsgrenarna. Andelslaget tog då beslutet att bygga ut det befintliga elnätet i Jeppo. (Jungar, 1970)

År 1921 drevs det lokala elnätet av en generator med effekten 50 kVA och ett år senare levererades kraftström till den första elmotorn. På grund av den stigande strömförbrukningen fick andelslaget i slutet av 1920-talet problem med att leverera ström till sina kunder, men det tog ändå till 1934 innan de införskaffade en 40 hk stor petroleumdriven reservgenerator, detta gjorde att andelslaget nöjaktigt kunde leverera ström de närmaste åren. (Jungar, 1970)

År 1939 var andelslaget återigen beroende av mera ström vid toppbelastningar, då fick de köpa ström från Kiitola kraftverk, men detta var ingen långsiktig lösning så år 1941 inleddes förhandlingar med Esse Elektro Kraft och Nykarleby Kraftverk om en eventuell nätsammankoppling. Men på grund av krigets framfart dröjde det ändå till år 1945 innan ett kontrakt godkändes och undertecknades i samråd med Nykarleby Kraftverk. På grund av den då rådande materialbristen sammankopplades inte näten förrän i december 1948. (Jungar, 1970)

Efter nätsammankopplingen med Nykarleby Kraftverk hade ett mycket betydande problem lösts, nu gällde det bara för andelslaget att hänga med i utvecklingen och bygga ut transformatordistrikten och förbättra ledningsnätet. Andelslaget bytte till sitt nuvarande namn, Jeppo Kraft Andelslag, år 1942 eftersom huvuduppgiften då var att införskaffa och distribuera elenergi. (Jungar, 1970)

2 Teori

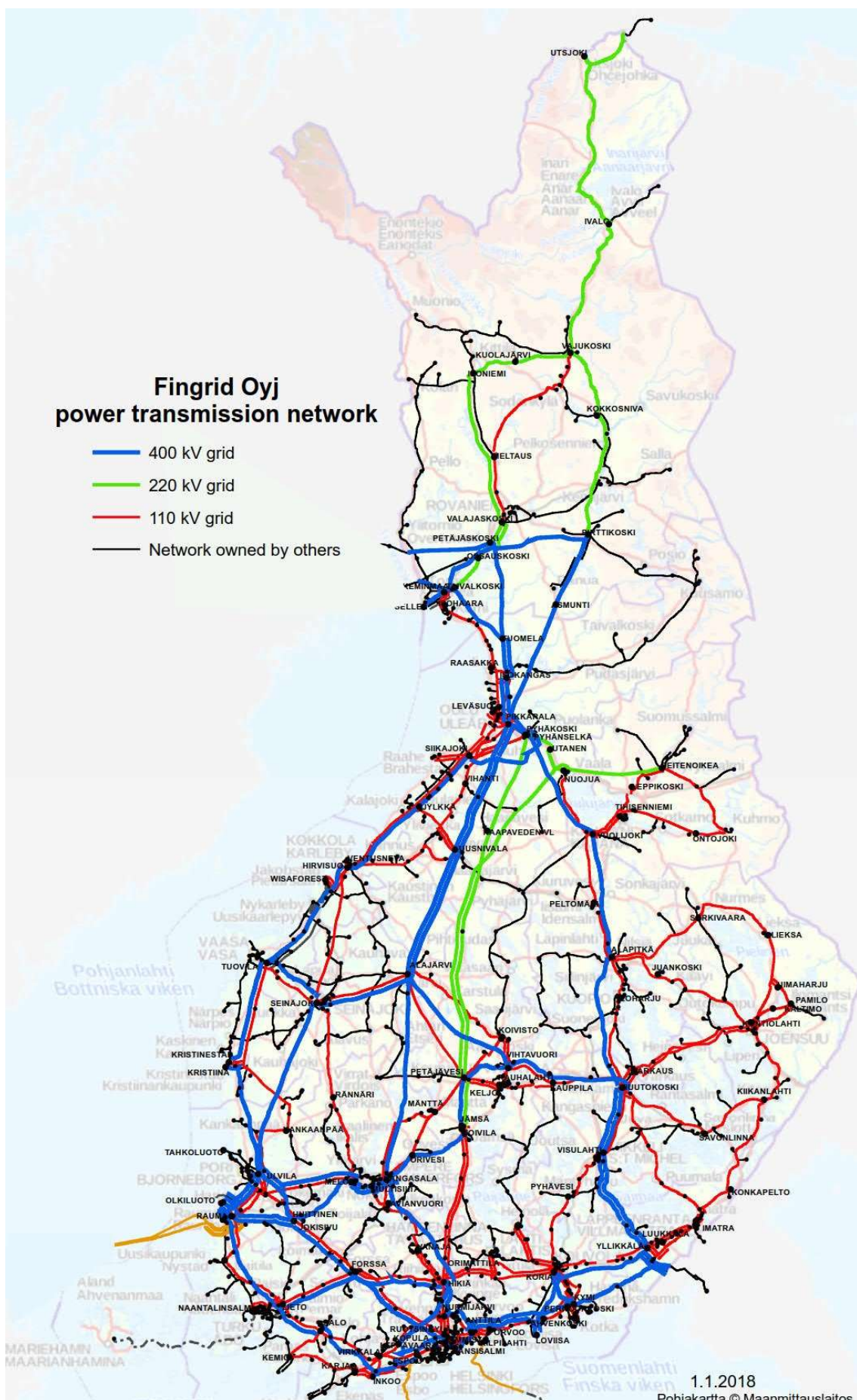
Detta kapitel behandlar uppbyggnaden av Finlands elnäts, standarder och krav som ställs på mellanspännings- och lågspänningsjordningar samt mätning och kontroll av dessa, dimensionering av jordningar och beräkning och mätning av markresistivitet. Dessutom beskrivs i korthet planeringsprogrammet Trimble NIS och kartläggningsprogrammet Trimble Penmap. I kapitlet hittas även en beskrivning av GNSS och vad detta betyder.

2.1 Finlands elnät

Finlands eldistributionsnät består av tre delar, stamnätet, regionnätet och distributionsnätet. Det finska elnätet är även en del av det samnordiska synkrona systemet, detta betyder att hela Finlands elnät är sammankopplat med Sverige, Norge och östra Danmarks elnät. Stora kraftverk, fabriker och det regionala nätet är anslutna till den del av nätet som kallas för stamnätet. Stamnätet har långa överföringssträckor och höga effekter, därför används höga spänningar för att minimera överföringsförlusterna. Spänningsnivåerna som används i stamnätet är mellan 110 kV och 400 kV. (Fingrid, 2018)

Sammankopplingarna av elnäten sker med både växelströms- och likströmsförbindelser. Finland och Sverige är sammankopplade genom två växelströmsförbindelser och två likströmsförbindelser, Finland och Norge är sammankopplade genom en växelströmsförbindelse och Estland och Ryssland har också likströmsförbindelser till Finland. (Fingrid, 2018)

Regionnätet är kopplat till stamnätet vid elstationer som transformerar ner spänningen till 110 kV, vilket är spänningsnivån som i huvudsak används i regionnätet. Sedan distribueras elenergin vidare till distributionsnätet. Distributionsnätet i Finland ägs av olika elbolag som äger egna elstationer och distribuerar elektricitet och underhåller elnätet. Spänningsnivån i distributionsnätet är mellan 0,4 kV och 110 kV. (Fingrid, 2018) Figur 1 illustrerar det ovannämnda.



Figur 1. Finlands elddistributionsnät. (Fingrid, 2018)

2.2 Allmänt om jordningar

Jordningarnas huvudsakliga uppgift är att begränsa steg- och beröringsspänningar vid eventuella fel. Felet behöver inte nödvändigtvis vara i byggnaden där höga beröringsspänningar uppstår utan felet kan även ha sitt ursprung i det matande systemet, detta inkluderar fel som uppstår i högspänningsnätet. Jordningssystemet har också till uppgift att förhindra överförandet av farliga spänningar från ett system till ett annat. (Tiainen, 2014)

2.2.1 Grundläggande krav på jordning

I Finland används SFS-standarder för att elinstallationer ska utföras på ett säkert sätt och för att de ska bli av god kvalitet. Nedan finns några exempel på standarder för elarbeten.

SFS 6000 – Lågspänningsinstallationer

SFS 6001 – Högspänningsinstallationer

SFS 6002 – Elsäkerhet

SFS-6001-standarden som används i detta arbete baseras på den europeiska standarden CENELEC EN 50522 och den internationella standarden IEC EN 61936-1. I Finland granskas elarbeten av TUKES (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto) utsedda besiktningsmän. (SFS-6001, 2015)

2.2.1.1 Krav på säkerhet

Eftersom det för människor är farligt att få ström genom kroppen, speciellt om strömmen går genom området runt hjärtat, måste följande faktorer beaktas vid planering av jordning, hur stor ström som flyter genom området runt hjärtat, kroppsimpedansen längs strömbanan, resistansen mellan kontaktpunkterna och kroppen t.ex. metallkonstruktion till hand inklusive handske och hur lång tid felet varar. Man måste också vara medveten om att det är väldigt svårt att exakt förutsäga felets förekomst, felströmmens storlek och människors närvaro. (SFS-6001, 2015)

2.2.1.2 Krav på funktionalitet

Alla komponenter i jordningssystemet och dess förbindningsledare ska vara dimensionerade på ett sådant sätt att de klarar av fördelning och urladdning av felströmmar vid eventuella fel utan att överskrida de mekaniska och termiska begränsningar som bestäms av reservskyddens funktionstid. Jordningssystemet ska vara funktionsdugligt under hela den förväntade livslängden av anläggningen, mekaniska och korrosiva begränsningar ska också beaktas. (SFS-6001, 2015)

Eventuella höga potentialstegringar och höga potentialskillnader i jordningssystemet får inte orsaka skador på utrustning. Jordningssystemet ska vara av sådan typ att man kan säkerställa att stegspänningar, beröringsspänningar och överförda potentialer hålls inom de spänningsgränser som bestäms av normal funktionstid för reläskydd och brytare. (SFS-6001, 2015)

2.2.2 Potentialutjämning

I varje anläggning måste en huvudpotentialutjämning installeras för att undvika potentialskillnader i jordningssystemet. Till potentialutjämningen ansluts jordelektroder och jordledare och på detta vis kan farliga potentialskillnader undvikas. Potentialutjämning kan delas in i tre kategorier: huvud-, tilläggs- och ojordad potentialutjämning. Potentialutjämningen är en central del av jordningssystemet och vid skydd av personer och elutrustning. Potentialutjämningen kan installeras både jordad och ojordad. (Tiainen, 2014)

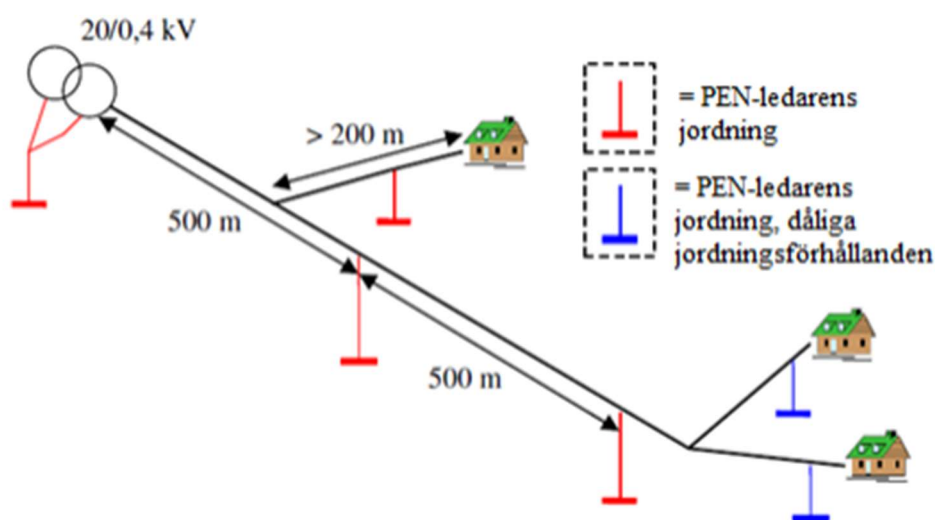
2.2.3 Jordning av transformator

Enligt standarden SFS 6001 rekommenderas att i mån av möjlighet kombinera jordningssystemen för hög- och lågspänningen vid en fördelningstransformator. Vid transformatorer används en gemensam jordelektrod för hög- och lågspänningen. (SFS-6001, 2015)

Jordningssystemet vid en transformator består av en jordningsskena samt jordnings- och skyddsjordningselektrod. Jordelektroden grävs vanligtvis ner på ett djup av 0,5–1 meter. Eftersom markresistiviteten är beroende av årstid och markens fuktighet, se kapitel 2.3.1.1, rekommenderas även att jordelektroden installeras på frostfritt djup. (SFS-6001, 2015)

2.2.4 Jordning av lågspänningsnät

I Finland jordas i huvudsak lågspänningsnätet enligt TN-C-systemet, dvs. neutral- och skyddsjordledarna kombineras till en PEN-ledare. Elnätet måste därför jordas enligt SFS-6000 standarden. Efter att systemet övergår till TN-S-systemet ansvarar elbolaget inte längre för att jordningssystemet är installerat enligt de standarder som gäller. Detta ansvar är då anläggningens ägares. (SFS-Handbok 601, 2016)



Figur 2. Lågspänningsnätets jordning. (Wik, 2012)

Lågspänningsnätets PEN-ledare jordas vid matningspunkten, dvs. vid transformatorn eller högst 200 meter från transformatorn. Sedan måste även alla kablar och luftledningar som är längre än 200 meter jordas i ändan av eller högst 200 meter från ändan av ellinjen. Det rekommenderas även att jorda PE- eller PEN-ledaren med jämna mellanrum.

Vid användning av AMKA-ledningar rekommenderas att man jordar PEN-ledaren med 500 m mellanrum (se figur 2), detta för att säkerställa att överspänningsskyddet ska fungera. Vid fördelningskåp måste jordningen utföras. Jordningsresistansen ska vid dessa punkter, om jordningsförhållandena tillåter, inte överskrida 100 Ω . Om jordningsresistansen överskrider 100 Ω ska bestämmelserna för dåliga jordningsförhållanden följas.

(SFS-Handbok 601, 2016)

2.3 Jordningsresistans








Jordningsresistansen R_E är värdet på resistansen till jord för en jordelektrod. Faktorer som påverkar resistansvärdet är jordelektrodens dimension och form samt markens resistivitet. (SFS-6001, 2015)

Tabell 1 visar olika beräkningsformler som används för att bestämma jordningsresistansen på olika typer av jordningselektroder. Tabell 2 visar förhållandet mellan längden på jordelektroden och dess 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	$R_E = \frac{\rho_E}{2D} + \frac{\rho_E}{L}$	

Tabell 1. Formler för beräkning av jordningsresistans.

(SFS-6001, 2015)

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

Tabell 2. Former på olika jordningselektroder och deras jordningsresistanser.

(SFS-6001, 2015)

2.3.1 Markresistivitet

En faktor som inverkar mycket på jordningsresistansen är resistiviteten i marken där jordningen är förlagd. Markresistivitetens storlek bestäms utgående från de egenskaper och den sammansättning som marken har, t.ex. markens typ, fuktighet och kornstorlek samt vilken tid på året mätningen utförs. Markresistiviteten i Finland är väldigt hög på grund av en berggrund av granit samt att största delen av marken består av sand och grus. Jordningsresistansen kan sänkas ytterligare genom att använda sig av tilläggsjordningar. (Sjöblom, 2018)

2.3.1.1 Mätning av markens resistivitet

Markresistivetsmätningar görs för att mera exakt beräkna jordningsresistansen eller jordningsimpedansen. Vid mätning används fyra elektroder (t.ex. Wenner-metoden, se Figur 3). Genom denna mätning kan markens resistivitet på olika djup bestämmas. (SFS-Handbok 601, 2016)

Mätningen utförs genom att driva ner fyra elektroder i marken i en linje, avståndet mellan elektroderna ska motsvara minst tre gånger det djup de har drivits ner till. När mätningen har gjorts är det möjligt att beräkna markens resistivitet med följande formel:

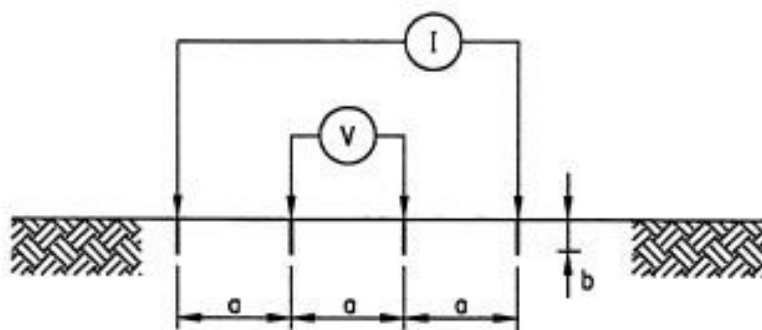
$$\rho = 2 * \pi * A * R$$

ρ = Medelvärde på markens resistivitet på djupet A

A = Avståndet mellan elektroderna vid mätning (cm)

R = Uppmätt resistansvärde (ohm)

(Fluke, 2017)



Figur 3. Wenner-metoden. (Wikipedia, 2018)

I tabell 4 listas vanliga material som kan finnas i marken och deras ungefärliga värden, för att få exakta värden måste markresistiviteten mätas på platsen där jordningar installeras.

Tabell 3. Markresistivitet (SFS-6001, 2015)

Marktyp	Markresistivitet ρ_E		
	Ωm		
Sandmark, mosse	5	till	40
Sandblandad lerjord, lera, matjord	20	till	200
Sand	200	till	2 500
Grus (grov sand)	2 000	till	3 000
Blöt klippa	oftast under		1 000
Sandsten	2 000	till	3 000
Granit	upp till		50 000
Morän	upp till		30 000

2.3.2 Mätning av jordningsresistans

Jordningsresistanser och -impedanser kan mätas på olika sätt, beroende på jordningssystemets storlek och dess störningsgrad används olika metoder. Vid mätningen måste man beakta att det kan förekomma farliga beröringsspänningar i jordade delar. De mätmetoder som används är lågströmsmetoden med jordprovare, högfrekvensprovning, starkströmsmetoden samt bestämning genom de enskilda resistanserna.

- **Lågströmsmetoden med jordprovare**

Denna metod kan användas i små eller stora jordningssystem, t.ex. enstaka jordningssystem, luftledningars stolpjordelektroder med både anslutna och frånkopplade jordtagsledare och jordningssystem för mellanspänning. Växelspänningen som används vid mätning får inte ha högre frekvens än 150 Hz.

Vid mätningen ska mätelektroden placeras på en rak linje så långt ifrån varandra som möjligt. Mätsondens avstånd från jordtagselektroden som mäts ska vara minst 2,5 gånger jordelektrodens största utsträckning, men inte mindre än 20 meter. Avståndet till matningselektroden ska vara minst 4 gånger större än jordtagselektrodens största utsträckning men inte mindre än 40 meter. I Finland används längre mätavstånd, t.ex. 200 m, på grund av dåliga jordningsförhållanden.

- **Hörfrekvensprovning**

Denna metod möjliggör mätning av jordningsresistansen vid en enskild stolpe utan att fränkoppla jordlinan från stolpen. Mätströmmens frekvens måste vara tillräckligt hög så att serieimpedansen hos de närliggande stolparna och jordlinorna blir stor.

- **Starkströmsmetoden**

Denna metod används oftast för mätning av stora jordningssystem. Metoden använder en växelspanning och en jordelektrod som placeras långt borta, en mätström matas in, vilket leder till en mätbar potentialstegring i jordningssystemet.

Impedansvärdet till jord fås från:

$$Z_e = \frac{U_{EM}}{I_M * r}$$

där:

U_{EM} = Potentialstegringen som sker mellan jordningssystemet och den avlägsna jordelektroden. (V)

I_M = Den uppmätta provströmmen (A)

r = En reduktionsfaktor som kan beräknas för ledningen till den avlägsna elektroden. För luftledningar som saknar jordledare och kablar utan skärm anges ofta faktorn 1.

Avståndet mellan jordningssystemet som mäts och den avlägsna elektroden ska vara så stort att systemen inte påverkar varandra t.ex. 1–5 kilometer för utsträckta system. För mindre system kan kortare avstånd vara tillräckligt. Provströmmen ska vara av sådan storlek att potentialstegringen är större än möjliga störningsspänningar. Om man använder sig av provströmmar som är större än 50 A säkerställs detta oftast. (SFS-Handbok 601, 2016)

- **Bestämning genom de enskilda resistanserna.**

Om jordningssystemet består av enskilda jordelektroder som inte påverkar varandra i praktiken men är sammankopplade via förbindningsledningar kan jordningsresistansen beräknas genom att först bestämma varje enskild jordelektrods resistans till jord med lågströmsmetoden, sedan beräkna impedansen av de sammankopplade ledarna. Jordningsimpedansen beräknas genom den ekvivalenta kretsens resistans till jord och de sammankopplade ledarnas impedans.

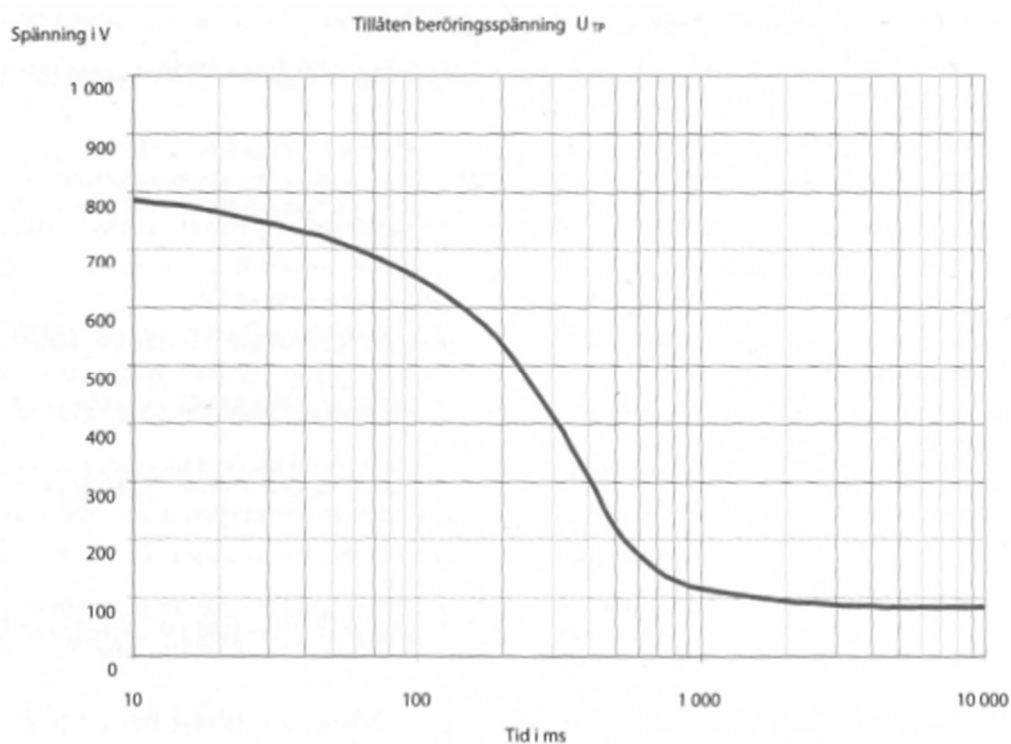
(SFS-Handbok 601, 2016)

2.4 Dimensionering av jordningar

Dimensionering av jordningar görs med avseende på tre olika saker: korrosion och mekanisk hållfasthet, termisk hållfasthet och beröringsspänning. Faktorer som inverkar på dimensioneringen av jordningar är felströmmens storlek, felets varaktighet och markens resistivitet. (SFS-6001, 2015)

2.4.1 Dimensionering med avseende på beröringsspänning

Figur 4 visar tillåtna beröringsspänningar beroende på hur länge felet varar. Figuren baseras endast på kontakt från bar hand till hand eller hand till fot. Alla jordfel måste fränkopplas automatiskt eller manuellt, därför finns inga långvariga beröringsspänningar. (SFS-Handbok 601, 2016)



Figur 4. Tillåten beröringsspänning. (SFS-Handbok 601, 2016)

2.4.1.1 Beräkning av beröringsspänning

Metoden som används för beräkning av tillåten beröringsspänning är följande:

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

där:

U_{Tp} = Tillåten beröringsspänning

U_T = Beröringsspänning

t_f = Felets varaktighet

$I_B(t_f)$ = Kroppens strömbegränsning

HF = Hjärtströmfaktor → 1,0 för vänster hand till fot

0,8 för höger hand till fot

0,4 för hand till hand

$Z_T(U_T)$ = Kroppens impedans

BF = Kroppsfaktor → 0,75 för hand till båda fötterna

0,5 för båda händerna till fot

Vid själva beräkningen av tillåten beröringsspänning ska följande faktorer beaktas:

- Att strömbanan går från hand till fot
- 50 % sannolikhet för kroppsimpedans
- Sannolikheten för hjärtflimmer är 5 %
- Inga tilläggsresistanser t.ex. handskar eller skor.

(SFS-Handbok 601, 2016)

2.4.1.2 Mätning av beröringsspänning

Vid mätning av beröringsspänning används en ströminjektionsmetod, se 2.3.2, samt mätelektroder med en area av 400 cm² som ska ligga direkt mot marken med en kraft på minst 500 N. Om tilläggsresistanser inte beaktas kan en elektrod som drivs ned 20 cm i marken användas istället för den tidigare nämnda elektroden. För mätning av beröringsspänning vid en speciell del av anläggningen ska mätelektroden placeras på ett avstånd av 1 meter från delen som mäts. (SFS-Handbok 601, 2016)

2.4.2 Dimensionering med avseende på korrosion och mekanisk hållfasthet

När jordningarna installeras i direkt kontakt med marken skall materialet som används tåla korrosion. Jordningselektroderna måste klara av de mekaniska påfrestningar som ställs på dem i installationsskedet samt de mekaniska påverkningar som de utsätts för under normaldrift. I bilaga 1 finns minitvårsnitten för jordelektroder av olika material.

Jordledarnas minimitvårsnitt:

Koppar: 16 mm²

Aluminium: 35 mm²

Stål: 50 mm²

(SFS-6001, 2015)

2.4.3 Dimensionering med avseende på termisk hållfasthet

Felströmmen fördelas ofta i jordningssystemet, vilket gör det möjligt att dimensionera jordledare och elektroder för endast en del av felströmmen. Vid beräkning av strömmar måste man beakta att strömmarna möjligtvis kan bli större i framtiden, till följd av möjlig tillbyggnad eller liknande.

Om kontinuerliga nollströmmar finns måste dessa också beaktas. Beroende på felströmmens storlek och dess varaktighet dimensioneras jordledare och jordelektroder för en fränkopplingstid på under fem sekunder eller för fel som varar över fem sekunder.

Under 5 s

För fel som varar under fem sekunder används följande formel:

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

Där:

A = Tvärsnitt (mm^2)

I = Strömmens effektivvärde (A)

t_f = Felströmmens varaktighet (s)

K = Konstant, se Tabell 4

β = Temperaturkoefficient, se Tabell 4

θ_i = Starttemperatur ($^{\circ}C$). Värdet hittas i t.ex. IEC 60287-3-1, om värden inte fås från nationella tabeller antas omgivningstemperaturen vid 1m djup vara $20^{\circ}C$.

θ_f = Sluttemperatur ($^{\circ}C$). $300^{\circ}C$ används vanligen som sluttemperatur.

Materiaali	$\beta [^{\circ}C]$	K [$A \times \sqrt{s} / mm^2$]
Kupari	234,5	226
Alumiini	228	148
Teräs	202	78

Tabell 4. Konstanter för olika material.

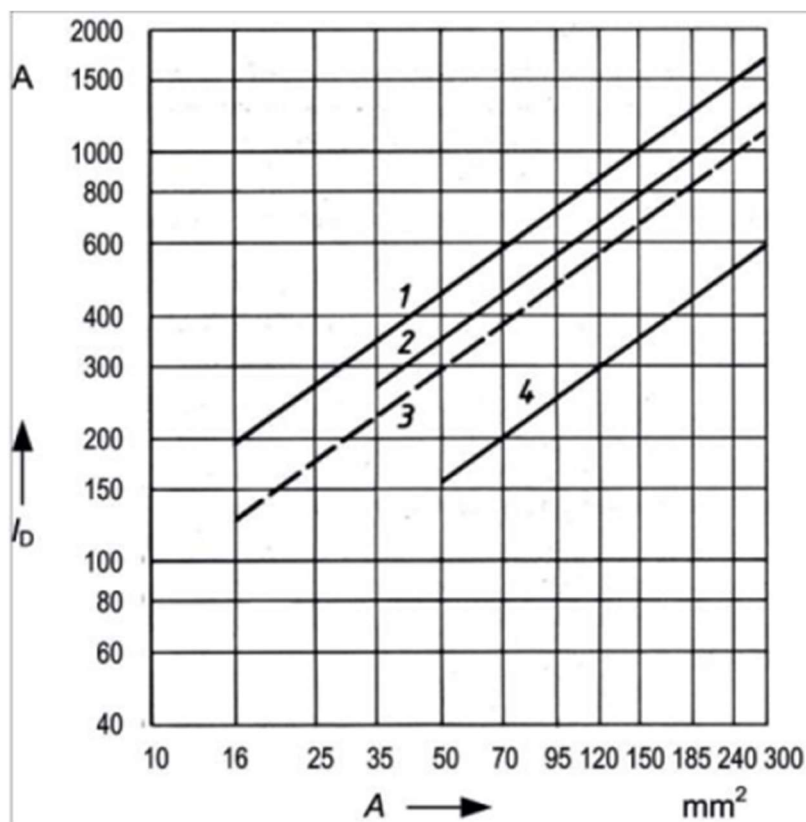
(SFS-Handbok 601, 2016)

Över 5 s

Figur 6 visar godkända tvärsnitt vid fel som varar längre än fem sekunder. Om en annan sluttemperatur än 300 °C används kan strömmen beräknas med omvandlingsfaktorer som finns i figur 5.

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

Figur 5. Omvandlingsfaktorer för sluttemperatur. (SFS-Handbok 601, 2016)



Figur 6. Tillåtna tvärsnitt. (SFS-Handbok 601, 2016)

1. Koppar, förzinkad eller blank
2. Aluminium
3. Koppar, med blymantel eller förtent
4. Galvaniserat stål

(SFS-Handbok 601, 2016)

2.5 GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite Systems) är ett samlingsbegrepp för olika navigerings- och positioneringssystem. Till begreppet hör, amerikanska GPS, ryska GLONASS och europeiska Galileo. Alla dessa system använder sig av satelliter för navigering och positionering. Satelliterna som används kretsar vanligtvis i MEO-planet (Medium Earth Orbit). MEO-planet är regionen mellan 2000 och 35 000 kilometer över havsytan.

2.5.1 GPS

GPS (Global Positioning System) är ett positioneringssystem som det amerikanska försvaret tog i bruk i början av 1970-talet, systemet blev tillgängligt för civilt bruk år 1993. Satelliterna som används i systemet har en maximal latitud på 55 grader från ekvatorn, detta gör det möjligt att använda systemet i Finland, för positionering krävs kontakt med minst fyra satelliter. (NASA, 2017)

2.5.2 GLONASS

GLONASS (GLObalnaya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) är ett positioneringssystem utvecklat av det ryska försvaret som till en början endast användes för militärt bruk, likt det amerikanska GPS-systemet. År 1982 skickades den först satelliten upp i rymden men systemet började inte användas förrän år 1996. (IAC, 2019)

2.5.3 Galileo

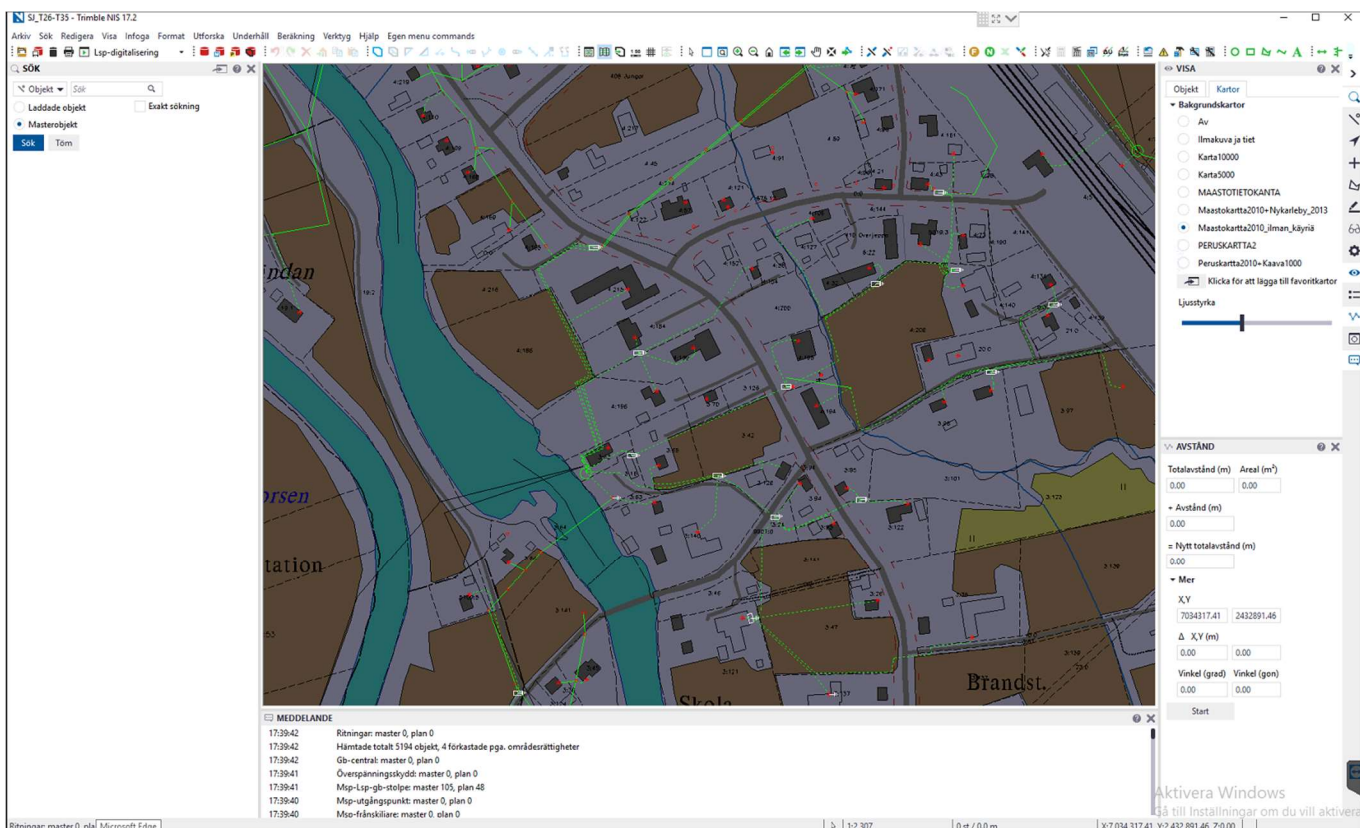
Galileo är Europas egna navigeringssystem och ibruktagningen av systemet började år 2016. Om allt går enligt schemat så kommer ibruktagningen av systemet att vara färdig år 2020. Då kommer systemet att ha 24 satelliter som kretsar i MEO-planet. Satellitsignalerna kommer då att ha en räckvidd som sträcker sig ända till 75 grader latitud, vilket är ungefär vid Norges nordligaste punkt d.v.s. så långt norrut man kommer i Europa. (ESA, 2017)

2.6 Trimble

Företaget Trimble grundades år 1978 i Silicon Valley i USA och har i över 40 år utvecklat sin navigerings- och positioneringsteknik. Trimble är välkänt för sin GNSS-teknik och har ett brett utbud av positioneringslösningar bl.a. laser och andra optiska lösningar med applikationsprogram som erbjuder kompletta lösningar för kommersiellt bruk. (Trimble, 2019a)

2.6.1 Trimble NIS

Trimble NIS är ett molnbaserat nätverksinformationssystem som i huvudsak används av energi- och vattenunderhållsföretag. Programmet stöder planering och underhåll av el-, vatten-, fjärrvärme- och gasnät, men kan även kompletteras med t.ex. kunduppgifter eller liknande. I figur 7 illustreras Trimble NIS huvudfönster. Eftersom Trimble är molnbaserat finns en s.k. *master*, där alla ritningar och kartor finns. När ett projekt inleds skapas en s.k. *plan* för projektet, där görs alla ändringar under planeringen av projektet. När projektet sedan är färdigt kan man uppdatera mastern med ändringar som gjorts i planen (Trimble, 2019b)

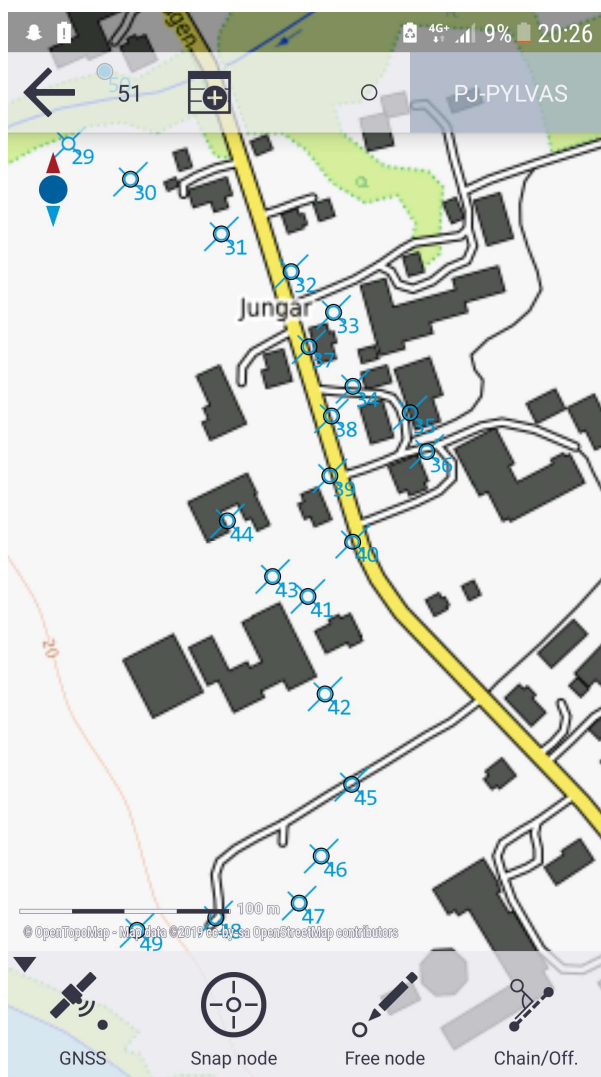


Figur 7. Trimble NIS huvudfönster.

2.6.2 Trimble Penmap

Trimble Penmap är ett kartläggningsprogram som kan användas på apparater med Android-operativsystem. I Trimble Penmap kan olika projekt skapas för kartläggningsändamål. Med Trimble Penmap är det möjligt att skapa s.k. *templates* vilket gör det möjligt att redan i mätningsskedet välja vad det är för objekt man mäter positionen på t.ex. en lågspänningsstolpe eller en jordning. Trimble Penmap kan endast användas med Trimbles egna positioneringsinstrument. (Trimble, 2017)

I detta arbete användes en Trimble R1 GNSS-mottagare vilken har en precision på 0,5 m. Mottagaren kan användas med alla mobila enheter som stöder *Bluetooth*-tjänster. Mottagaren stöder alla GNSS positioneringssystem som beskrivs i 2.5. (Trimble, 2019c)



Figur 8. Trimble Penmap.

3 Utförande

Arbetet påbörjades hösten 2018 med att jag började bekanta mig med SFS-6000-serien som nämns i 2.2.1, främst SFS-Handbok 601 som behandlar högspänningsinstallationer och luftlinjer, vilket gjorde att jag hade en bättre uppfattning av vilka krav som ställs på jordningar och hur utformningen och dimensioneringen av dessa görs.

3.1 Mätningar

Granskningen av nätet påbörjades under senhösten 2018 och utfördes med en Fluke 1630–2 jordtagsmätare. Eftersom mätaren är av tångmodell ges möjligheten att mäta jordningar som är i drift utan att först fränkoppla jordledaren från jordelektroden. Detta måste göras om mätningarna utförs med vissa av de andra metoderna, mätning utförande visas i figur 9.

Före mätningarna på ett transformatordistrikt påbörjades skrevs kartor ut för att få en bättre överblick av hur linjerna är dragna. Detta gjordes också för att underlätta dokumentationen av jordningarnas placering och deras uppmätta jordningsresistans.



Figur 9. Utförande av mätning.

I samband med jordtagsmätningarna gjordes också GNSS-mätningar med hjälp av Trimble Penmap och en Trimble R1 GNSS-mottagare som nämns i 2.6.2. Detta gjordes för att underlätta uppdaterandet av ritningarna i ett senare skede. I 2.6.2 nämns det att mottagaren har en precision på 0,5 m, beroende på hur bra satellitkontakt som fanns vid mätpunkten kunde precisionen vara t.o.m. 0,2 – 0,3 m. Detta gör att GNSS-mätningarna är väldigt exakta och att ritningarna som sedan uppdateras kommer att ha väldigt hög precision.

3.2 Uppdateringar i Trimble

När själva uppdaterandet av ritningarna påbörjades skapades en *plan* för ett antal transformatordistrikt för att hålla antalet *planer* lågt, detta ger möjligheten att vartefter uppdatera *masters* ritningar. I figur 10 kan man se ett exempel på skapandet av en plan.

SJ_T26-T35 - Plan

Plan Tillgång Bakgrundsinformation Parter + Fria attribut -lista Bilagor Anmärkning

Egenskaper

Namn: SJ_T26-T35 Typ: Lsp-digitalisering

Användningssyfte: Odefinierad Fas: Icke definierad

Projekt: Status: Aktiv

Planområde: JEPP0 KRAFT Väj från lista... Inställningar <<

Begränsa användningen till inom området Tillåt lagring i planen

Göm områdets gräns masterändringar till planen

Utvidga objektsökningen 0 m körning av planen till master

Användning: Samtidig användning tillåts körning av beteckningarnas positioner till master

ID: SJT26T35 x 7032344.477

y 2435205.727

Andra uppgifter <<

Område: Icke definierad Dokumentationsstatus: Icke definierad

Entreprenadområde: Icke definierad Version:

Postnummer: Icke definierad Objekt:

Implementeringsomgivning: Icke definierad Aktivitet: Icke definierad

Extern projekt: Extern status: Icke definierad

Godkänd: Grundad: 27.11.2018 08:19:13

Önskat avslutningsdatum: Date ändrad: 27.02.2019 12:39:54

Klar: Objekt ändrade: 27.02.2019 12:39:54

Beskrivning: Första masterkörning:

Prislistor

Typ	Namn
Prislista för underhåll	Odefinierad

Kopiera egenskaper från plan...

OK Verkställ Avbryt Hjälp

Figur 10. Exempel på plan.

Efter att planerna hade skapats kunde uppdateringsarbetet börja. Trimble NIS har många funktioner men den som användes mest i detta examensarbete var att infoga punktobjekt. Ett punktobjekt kan vara t.ex. en hög- eller lågspänningsstolpe, en jordning eller jordtagsmätning. Efter att punktobjektet infogats ska informationen om objektet matas in. I detta skede inmatas mätningens resistansvärde, placering och datum när mätningen utförts.

Uppdaterandet av ritningarna innebar även ändringar i kabeldragningar exempelvis konsumentanslutningar som hade ändrats från luftledning till jordkablar för länge sedan, men på grund av olika orsaker inte uppdaterats i Trimble.

4 Resultat

Målsättningen med detta examensarbete var att Jeppo Kraft Andelslag skulle få uppdaterade ritningar med exaktare positioner på linjedragningar och jordningsplaceringar samt att utföra en granskning på jordningarna i lågspänningsnätet. Detta för att underlätta besiktningar och inspektioner som utförs med jämna mellanrum.

Under utförandet av arbetet hittades flera problemställen där jordningsresistansen inte klarade de krav som ställs, jordtag som vid mätning hade en resistans på uppemot 450 Ω eller i enstaka fall högre, dessa ställen hittades på äldre luftlinjer där markegenskaperna inte var väldigt goda. Största delen av jordtagen hade en resistans mellan 15 och 90 Ω och eftersom detta är den första granskningen som gjorts på linjejordningarna finns inga tidigare mätvärden att jämföra med.

De bästa mätvärdena hittades vid transformatorer eftersom det spenderas mera tid och resurser på att jorda vid dessa. Transformatorernas samjordningar hade på de flesta ställen en resistans mellan 1 och 35 Ω , de högre resistansvärdena hittades i äldre transformator-distrikt. Eftersom Jeppo Kraft Andelslag använder sig av ett gränsvärde på 20 Ω vid nya transformatorinstallationer är de uppmätta resistansvärdena goda. De jordningar som inte klarade kraven meddelades till Jeppo Kraft Andelslag och kommer att korrigeras under framtida saneringar av transformator-distrikten det berör.

5 Diskussion

Som tidigare nämnts var målsättningen med arbetet att Jeppo Kraft Andelslag skulle få uppdaterade ritningar på deras elnät. Jeppo Kraft Andelslag håller just nu på att ta i bruk Trimble UTG (Utility to Go), en webbaserad applikation som gör det lättare att fördela arbetsuppgifter och utföra granskningar på de nu inmätta lågspänningsstolparna.

I startskedet av examensarbetet gick det en del tid åt att bekanta sig med de standarder som ställs på jordningar i lågspänningsnät samt vilka krav som ställs på högspänningsjordning. Något som hade varit intressant att göra skulle varit att först mäta markresistiviteten och sedan beräkna det teoretiska värdet för jordtagen i ett transformatordistrikt utgående från jordslutningsströmmar och jämföra detta med de uppmätta värdena.

Examensarbetet som helhet har varit väldigt lärorikt och intressant, speciellt studerandet av de standarder som berör låg- och mellanspänningsjordningar. Men även att lite mera praktiskt få lära sig hur man jordar lågspänningsnät samt hur olika mätningar görs och hur en inspektion av ett lågspänningsnät utförs.

Litteraturförteckning

- ESA. (den 2 11 2017). *What is Galileo?* Hämtat från Galileo Navigation:
http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo/What_is_Galileo
- Fingrid. (den 1 1 2018). *Kraftöverföringsnät: Allmänbeskrivning*. Hämtat från Fingrid:
<https://www.fingrid.fi/sv/grid/allman-beskrivning/kraftoverforingsnat/>
- Fluke. (2017). *Maadoitusresistanssi*. Hämtat från Fluke:
http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/9902801_FIN_A_W.PDF
- IAC. (2019). *GLONASS History*. Hämtat från Information and Analysis Center for positioning, navigation and timing: <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/index.php>
- Jeppo Kraft Andelslag. (2019). *Jeppo Kraft Andelslag*. Hämtat från Eldistribution och -försäljning: <https://www.jeppokraft.fi/sv/elverk/>
- Jungar, S. (1970). *Jeppo kraft Andelslag 50 år*. Jeppo: Sven jungar.
- NASA. (den 7 8 2017). *Global Positioning System History*. Hämtat från NASA:
https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/policy/GPS_History.html
- SFS-6001. (2015). *SFS 6001: Högsämningsinstallationer*. Helsingfors: Suomen Standardisoimiliitto.
- SFS-Handbok 601. (2016). *SFS-Handbok 601 Högsämningsinstallationer och luftledningar*. Helsingfors: Suomen Standardisoimiliitto.
- Sjöblom, J. (2018). *Dimensionering av elstationers jordningssystem*. Vasa: Yrkeshögskolan Novia.
- Tiainen, E. (9 2014). *Maadoituskirja*. Esbo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry.
- Trimble. (2017). *Penmap for Android*. Hämtat från Trimble:
<https://geospatial.trimble.com/sites/default/files/2019-03/Datasheet%20-%20Penmap%20for%20Android%20-%20English%20USL%20-%20Screen.pdf>
- Trimble. (2019a). *At a Glance*. Hämtat från About Trimble:
https://www.trimble.com/Corporate/About_at_Glance.aspx
- Trimble. (2019b). *Trimble NIS för elnät*. Hämtat från Trimble:
<https://utilities.trimble.se/trimble-nis-for-elnet.html>
- Trimble. (2019c). *Trimble R1 Integrated GNSS Systems*. Hämtat från Trimble:
<https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-r1#product-downloads>
- Wik, J. (2012). *Planering av transformatorstation och eldistributionsnät för bostadsområde*. Vasa: Yrkeshögskolan Novia.
- Wikipedia. (den 27 Juni 2018). *Soil resistivity*. Hämtat från Wikipedia:
https://en.wikipedia.org/wiki/Soil_resistivity

Figur 1. Finlands eldistributionsnät. (Fingrid, 2018)	4
Figur 2. Lågspänningsnätets jordning (Wik, 2012).....	7
Figur 3. Wenner-metoden (Wikipedia, 2018)	10
Figur 4. Tillåten beröringsspänning.. (SFS-handbok 601, 2016)	13
Figur 5. Omvandlingsfaktorer för sluttemperatur. (SFS-handbok 601, 2016).....	17
Figur 6. Tillåtna tvärsnitt. (SFS-handbok 601, 2016)	17
Figur 7. Trimble NIS huvudfönster.	19
Figur 8. Trimble Penmap.	20
Figur 9. Utförande av mätning.....	21
Figur 10. Exempel på plan.....	22
Tabell 1. Formler för beräkning av jordningsresistans.	8
Tabell 2. Former på olika jordningselektroder och deras jordningsresistanser.	9
Tabell 3. Markresistivitet (SFS 6001, 2015).....	11
Tabell 4. Konstanter för olika material	16

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		Pinnoite/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 Valssattu tai leikattu nauha pyörästetyin reunoin.^c 16 mm² poikkipintaa voidaan käyttää erityisolosuhteissa, joissa kokemuksen mukaan korroosion ja mekaanisen vaurioitumisen riski on vähäinen.^d Yksittäiselle langalle.