



Moona Kaipio

Infrarakentamisen maadoitukset - Case Kruunusillat allianssi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

17.4.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Moona Kaipio
Otsikko:	Infrarakentamisen maadoitukset – Case Kruunusillat allianssi
Sivumäärä:	89 sivua + 3 liitettä
Aika:	17.4.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	Infrarakentaminen
Ohjaajat:	Yliopettaja Mika Lindholm Hakaniemen osaprojektipäällikkö Aapo Urjanheimo

Opinnäytetyö tehdään Kruunusillat allianssille, sillä tarve infrarakentamisen maadoitusten ohjeelle on tullut esiin tällä sekä aikaisemmillä raitiotien allianssihankeilla. Työn tavoitteena oli luoda ohje, jossa maadoituskohteiden toteutukset ovat koottuina yhteen.

Työn toisessa luvussa käydään läpi infrarakentamisen maadoitusten yleisperiaatteita sekä tapoja, joilla maadoitus voidaan toteuttaa. Luvussa käsitellään myös maadoitustapojen käyttöä muutamassa eri infrarakentamisen kohteessa sekä kuinka maadoitusten laadunvarmistus on varmistettava työmaalla.

Kolmannessa luvussa käsitellään Kruunusillat allianssia sekä sen Hakaniemen osaprojektia ja maadoituskohteita, joita osaprojekti sisältää. Maadoituskohteista käsitellään ensin, mihin niiden suunnittelu perustuu ja miten maadoitukset toteutetaan. Luvussa käsitellään myös, miten maadoituksen laadunvarmistus toteutetaan työmaalla.

Neljännessä luvussa käydään läpi haastatteluita, jotka toteutettiin työtä varten. Haastateltavina oli niin tuotannon kuin suunnittelun puolelta sellaisia henkilöitä, jotka ovat olleet mukana yhdessä tai useammassa raitiotien allianssilla.

Työn tuloksena syntyi työmaaohje Kruunusillat allianssin Hakaniemen osaprojektille. Ohjeessa käytiin läpi tiivistetysti osaprojektin maadoituskohteiden toteutus, miten laadunvarmistus työmaalla tulisi toteutua, maadoituksen yleisperiaatteet, käytettävät materiaalit, hankkeen ohjekortit sekä yhteyshenkilöt hankkeella maadoituksen asioihin.

Avainsanat: infrarakentaminen, maadoitus, raitiotie

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla

Abstract

Author: Moona Kaipio
Title: Infrastructure groundings – Case Crown Bridges alliance
Number of Pages: 89 pages + 3 appendices
Date: 17 April 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Infrastructure Engineering
Supervisors: Mika Lindholm, Principal Lecturer
Aapo Urjanheimo, Subproject manager

The thesis was conducted for Crown bridges alliance as the need for the instruction on infrastructure grounding has been needed by this and previous tramway alliances. The aim of the thesis was to create an instruction in which the grounding objects and their executions are combined.

The second paragraph of the thesis examines the general principles of infrastructure's grounding and the ways in which grounding can be executed. The paragraph also deals with the use of grounding methods in a few different infrastructure subjects and how quality assurance of grounding must be ensured on the site.

The third paragraph deals with Crown bridges alliance and its Hakaniemi subproject and grounding subjects that are in it. Grounding subjects are first observed with where their planning is based on and then how they are executed. The chapter also deals with how the quality assurance of grounding is carried out on the site.

The fourth paragraph deals with interviews that were conducted for the thesis. Interviewees were from the production and planning side, persons who have participated in one or more tramway alliances.

At the end of the work the site instruction that was carried out for the Crown bridges Hakaniemi subproject is covered and presented, which was the aim of this thesis. The instructions have summarized the subproject grounding subjects, how quality assurance on site should be achieved, the general principles of grounding, materials used, project instructions cards and contact persons on project on grounding matters.

Keywords: infrastructure, grounding, tramway

Sisällysluettelo

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Infrarakentamisen maadoitus	2
2.1	Maadoituksen yleisperiaatteet ja suunnittelun lähtökohdat	2
2.2	Maadoitustavat	5
2.2.1	Johtimet	5
2.2.2	Järjestelmät	13
2.2.3	Maadoituksen liitokset	14
2.3	Maadoitustapojen käyttö eri kohteissa	16
2.3.1	Sähköasema	16
2.3.2	Rautatiealue	17
2.3.3	Helsingin keskijänniteverkko	19
2.3.4	Taitorakenteiden maadoitusperiaate	22
2.3.5	Raitiotie	29
2.4	Maadoituksen laadunvarmistus työmaalla	31
3	Case Kruunusillat allianssi (KSA)	38
3.1	Kohteen yleisesittely	38
3.2	Suunnittelu	39
3.3	Maadoituskohteet	48
3.3.1	Raitiotien maadoitukset	49
3.3.2	Sähköverkon maadoitukset	54
3.4	Maadoituksen laadunvarmistus Hakaniemen osaprojektilla	69
4	Case KSA haasteet ja kehitystarpeet	71
4.1	Haastattelut	71
4.2	Haastatteluiden vastaukset teemoittain	72
4.2.1	Suunnittelu	72
4.2.2	Tuotanto	78
4.3	Johtopäätökset haastatteluista	83

5	Työmaaohje KSA Hakaniemen osaprojektille	86
5.1	Ohjeen sisältö	86
5.2	Johtopäätökset työmaaohjeesta	87
6	Yhteenveto	88
	Lähteet	90
	Liitteet	
	Liite 1: Työmaaohje maadoituksista KSA Hakaniemen osaprojekti	
	Liite 2: Haastattelut	
	Liite 3: Haastattelut nimillä. Vain tilaajan käyttöön.	

Lyhenteet

KSA: Kruunusillat allianssi

VATU: Ratajohdon vaaraulottuma

VIVA: Virroittimen vaara-alue

ATU: Aukean tilan ulottuma

VLD: Jännitteen rajoitelaite

1 Johdanto

Opinnäytetyö tehdään Kruunusillat allianssille, jossa rakennetaan raitiotieyhteys Helsingin keskustan ja Laajasalon välille. Työn Hakaniemen osaprojekti toimii työn case-kohteena.

Suurissa infrahankkeissa on havaittu, että maadoitukset ovat hyvin monipuolisia ja monimutkaisia ja sisältävät paljon tietoa. Esimerkiksi Raide-Jokerilla sekä Tampereen raitiotiellä on havaittu ongelmia niin suunnitelmien että toteutuksen onnistumisen kanssa.

Tässä työssä tarpeena on selvittää Kruunusillat allianssin Hakaniemen osaprojektin maadoituksia, jotta työmaalla maadoitusten rakentaminen ja laadunvarmistus onnistuisi hyvin.

Työn tavoitteena on tehdä kirjallisuusselvitys infrahankkeen maadoituksista sekä laatia ohje case-projektin maadoitusten tekoon. Tarve ohjeelle on tullut esiin, sillä maadoitusten toteutus ja suunnittelu hankkeella on jaettu hyvin pirstaleiseksi, jolloin kokonaiskuvaa ei ole välttämättä kenelläkään. Tästä saattaa helposti syntyä samanlaisia ongelmia, kuin mitä aiemmillä raitiotieallianssi hankkeilla kuten Raide-Jokerilla sekä Tampereen raitiotiellä on esiintynyt. Työn tavoitteena on siis selventää epäselvyydet ja tehdä ohje, jossa suunnitelmien toteutukset ovat koottuna yhteen.

Työssä käsitellään alkuun maadoituksen yleisperiaatteita ja sen suunnittelua, toteutusta sekä laadunvarmistusta infrarakentamisessa. Tämän jälkeen käsitellään työn kohdetta, case Kruunusillat allianssia. Tästä käydään läpi kohteen yleisesittely, suunnittelua, maadoituskohteita sekä laadunvarmistusta työmaalla. Seuraavaksi käsitellään työhön tehtyjä haastatteluita sekä niiden toteutusta ja lopuksi esitellään työn tuloksena syntynyttä työmaaohjetta.

2 Infrarakentamisen maadoitus

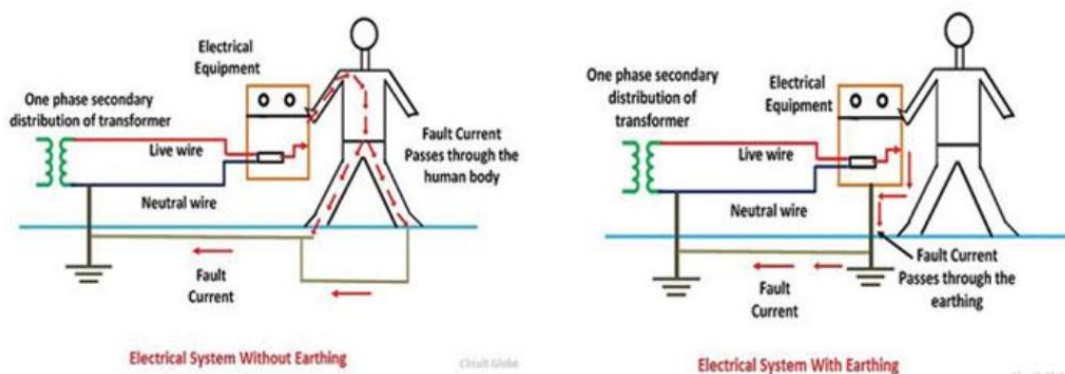
2.1 Maadoituksen yleisperiaatteet ja suunnittelun lähtökohdat

Maadoituksen yleisperiaatteet

Maadoitusjärjestelmän tehtävänä on tehdä sähköasennuksien toiminnasta turvallinen ja luotettava käyttöä. Maadoitusjärjestelmällä saadaan aikaan maahan johtava yhteys, jota käytetään sähköiskulta suojaamiseen sekä häiriösuojaukseen. [1.]

Maadoitettavia kohteita ovat sähköä johtavat rakenteet kuten metallirakenteet. Täten esimerkiksi muovisia rakenteita ei tule maadoittaa, sillä ne eivät johda sähköä. [1.]

Maadoituksen tarkoitus on saada vikatilanteessa sähkölaitteen jännitteen kulkemaan maadoituksen kautta sen sijaan, että se kulkeutuisi ihmisen läpi maahan, kuten kuvassa 1 on esitettyä. [1.]



Kuva 1. Jännitteen kulku ei maadoitetussa ja maadoitetussa kohteessa. (Lähde: <http://www.eprmagazine.com>, luettu 21.3.2023)

Maadoituksen ensisijainen tarkoitus on sähköturvallisuuden kannalta rajoittaa vikatilanteissa esiintyviä samanaikaisesti kosketeltavissa olevien johtavien osien välistä jännitettä eli kosketusjännitettä sekä kahden toisistaan yhden

metrin etäisyydellä olevan maanpinnan pisteen välistä jännitettä, eli askeljännitettä, sillä nämä voivat olla hengenvaarallisia ihmiselle. [1,2.]

Lisäksi maadoitusjärjestelmän tarkoituksena on:

- estää vaarallisten jännitteiden siirtyminen järjestelmästä toiseen
- estää normaalin käytön aikana virran kulku ei-toivottua johtavaa reittiä pitkin (vuotovirtaa)
- estää valokaaret, eli sitä, kun kaksi eri jännitteistä osaa viedään riittävän lähelle toisiaan niin, että niiden välissä oleva ilma ei enää pysty eristämään vaan syntyy valokaari
- estää kipinöiden syntyminen
- luoda toimintaedellytys maasulkusuojaukselle eli suojaukselle, ettei virta pääse kulkeutumaan pääpiiristä maahan tai maadoitettuihin osiin vikakohdassa
- luoda toimintaedellytys vikasuojaukselle, joka vastaa yleensä suojausta kosketusjännitteeltä silloin, kun peruseristyksessä ilmenee vika pienjännitesähköasennuksissa, -järjestelmissä tai -laitteissa.

Vikatilanteissa vika voi johtua sähköasennuksesta, syöttöjärjestelmästä tai ukkosen aiheuttamasta ylijännitteestä. [1, 2, 3, 4.]

Sellaiset laitteet ja järjestelmät pitää maadoittaa, jotka ovat joko jännitteelle alttiita tai niin sanottuja muita johtavia osia. Jännitteelle altis osa on sähkölaitteessa sähköä johtava osa, jota voi koskettaa ja joka ei normaalitilanteissa ole jännitteinen. Osa voi kuitenkin tulla jännitteiseksi peruseristyksen erityisvian takia. Jännitteelle altis osa on esimerkiksi sähkölaitteen metallirunko. Jotta käyttö olisi turvallista myös vikatilanteiden sattuessa, on jännitteelle alttiit osat maadoitettava. [1.]

Muita johtavia osia voi olla esimerkiksi metalliset kaasu-, vesi- tai lämmitysputkistot. Normaalikäytössä muissa johtavissa osissa ei esiinny jännitettä, mutta vian aikana sen ja jännitteelle alttiin osan välillä esiintyy kosketusjännite, eli samanaikaisesti kosketeltavissa olevien johtavien osien välinen jännite, jos muuta johtavaa osaa ei ole yhdistetty potentiaalintasaukseen. [2, 4.]

Kaikki sähköjärjestelmän jännitteelle alttiit johtavat osat on maadoitettava, mutta erikoistapauksissa voidaan maadoituksen sijaan muodostaa eristettyjä alueita. Muut johtavat osat maadoitetaan tarvittaessa. [2.]

Suunnittelun lähtökohdat

Infrarakentamisen maadoitusten suunnittelun ja rakentamisen lähtökohtana käytetään standardeja SFS 6000 (Pienjännitesähköasennukset) ja SFS 6001 (suurjännitesähköasennukset) ja raitiotien maadoituksissa standardia SFS-EN 50122 (railway applications – fixed installations). Rautatiealueella noudatetaan Väyläviraston ohjetta 13/2010: Rautatiealueelle tulevien kiinteiden laitteiden ja rakenteiden maadoitussuunnitelma. [2, 5.]

SFS 6000 esittää pienjännitesähköasennusten kriteerit maadoitusjärjestelmän suunnittelulle, asennukselle, testaamiselle ja kunnossapidolle siten, että maadoitus toimii kaikissa tilanteissa ja varmistaa henkilöiden turvallisuuden kaikissa paikoissa, joihin henkilöiden pääsy on sallittu. Standardi esittää myös kriteerit, joilla varmistetaan, että maadoitusjärjestelmään liitettyjen ja sen lähellä olevien laitteiden eheys säilyy. Olennaiset tekijät maadoitusjärjestelmän mitoituksessa ovat vikavirran suuruus (erityisviasta johtuva vikapaikan määrätyn pisteen kautta kulkeva virta), vian kestoaika sekä maaperän ja maadoituselektrodin ominaisuudet. Suunnittelun perusvaatimuksissa otetaan huomioon turvallisuus-kriteerit sekä toiminnalliset vaatimukset. [6.]

2.2 Maadoitustavat

Infrarakentamisen maadoituksessa voidaan käyttää monia eri maadoitustapoja riippuen maadoitettavasta kohteesta. Maadoitus voidaan toteuttaa seuraavilla tavoilla

- Maadoitusjohtimella, jolla muodostetaan asennuksen, järjestelmän tai laitteen määrätyn osan ja maan välille johtava yhteys.
- Päämaadoituskiskolla, johon voidaan kootusti liittää maadoituksen johtimia.
- Maadoituselektrodilla, jolla toteutetaan yhdistys maahan joko suoraan tai johtavan väliaineen, kuten betonin kautta.
- Perustusmaadoituselektrodilla, joka on yleensä suljetun renkaan muotoinen johtava osa, joka on upotettu maahan rakennuksen perustusten alle tai ensisijaisesti upotettu rakennuksen perustuksen betoniin.
- Suojamaadoituksella, jossa maadoitetaan järjestelmän tai asennuksen piste suojauksen takia.
- PEN-johtimella, joka toimii samalla sekä suojamaadoitus- että nol-lajohtimena, eli toimii järjestelmän tai asennuksen pisteen maadoit-tajana sekä johtimena, joka on yhdistettynä järjestelmän nollapisteeeseen sähköisesti ja joka kykenee sähköenergian siirtoon.
- Toiminnallisella maadoitusjohtimella, jossa elektroniseen laitteeseen toteutetaan suunnilleen maan potentiaalissa oleva referenssipännite, jota laite vaatii toimiakseen. [1.]

Maadoitustapoja käydään läpi seuraavassa luvussa kertoen maadoituselektrodeista, maadoitusjohtimista sekä VLD-laitteesta. Näistä kerrotaan niiden yleis-periaatteista, miten ne asennetaan sekä mihin niitä voidaan käyttää. [1.]

2.2.1 Johtimet

Maadoituselektrodi

Maadoituselektrodi on johtava osa, joka on sähköisessä yhteydessä maahan. Yhdistys maahan voidaan toteuttaa joko suoraan tai johtavan väliaineen kuten betonin kautta. Terästä ja teräsraudoituksia, jotka upotetaan betoniperustuksiin sekä

muita luonnollisia maadoituselektrodeja voidaan käyttää osana maadoitusjärjestelmää. [2.]

Maadoituselektrodin materiaali ja rakenne pitää olla mitoitettu oikein sähköisesti ja mekaanisesti sekä suoraan maan kanssa kosketuksissa oleva maadoituselektrodi on valmistettava korroosion kestävästä materiaaleista. Lisäksi elektrodin täytyy kestää mekaanisia rasituksia asentamisen ja normaalin käytön aikana. [2.]

Normaalitilanteissa maadoituselektrodissa ei kulje virtaa. Tästä syystä sen poikkipintavaatimus perustuu mekaanisesta kestoisuudesta ja korroosiokestävyydestä. Maadoituselektrodin potentiaalintasausvaikutukseen, eli vaikutukseen sähköisiin liitännöihin johtavien osien välillä sekä maadoitusresistanssin arvoon, eli sähköiseen vastukseen, vaikuttaa elektrodin muoto ja laajuus. Saavutettavan maadoitusresistanssin arvoon vaikuttaa merkittävästi myös maaperän johtavuus. [1, 6.]

Maadoituselektrodilla voi olla monta eri käyttötarkoitusta. Usein se rakennetaan sähkölaitteiston suojavaatimusten takia, mutta se voi toimia myös osana salamansuojajärjestelmää. Maadoituselektrodin käyttötarkoituksella on merkitystä käytettävään elektrodirakenteeseen ja myös vaadittavaan maadoitusresistanssin arvoon. Sen lisäksi, että maadoituselektrodilla saadaan johtava yhteys maahan, on sillä merkitystä myös potentiaalintasauksen kannalta. On valittava yksi tai useampi maadoituselektrodi, joka soveltuu maaperän ominaisuuksiin ja vaadittavaan maadoitusresistanssin arvoon. [4.]

Maadoittamisessa voidaan käyttää seuraavan tyyppisiä maadoituselektrodeja

- betoniin upotettuja perustusmaadoituselektrodeja
- suoraan maahan pysty- tai vaakasuoraan asennettuja metallielektrodeja. Näitä voi olla esimerkiksi sauvoja, lankoja, köysiä, nauhoja, putkia tai levyjä
- kaapelien metallivaippoja ja muita kaapelien metallipäällyksiä
- maahan upotetun betonirakenteen hitsattuja teräksiä, lukuun ottamatta esijännitettyä betonia. [6.]

Maadoituselektrodina ei saa käyttää vesijohtoja tai muita putkiverkkoja. [6.]

Maadoituselektrodin poikkipinta-alan vähimmäismitoitukset ovat normaalisti välillä 16 mm² - 90 mm², nämä ovat esitettyinä alla olevassa taulukossa 1 ja siinä on yksityiskohtaisia vaatimuksia erityyppisille maadoituselektrodeille. [2.]

Taulukko 1. Maadoituselektrodin vähimmäismitoitukset. (Lähde: SFS6000-5-54, sivu 9)

Materiaali	Poikkipinta-ala mm ²	Halkaisija ø mm	Minimipaksuus mm ^a	Korroosiosuojauskerroksen paksuus µm
Kupari	16		1,6	-
Kuumasinkitty teräs	90	10	3	45
Ruostumaton teräs	90	10	3	-
Betoniin upotettu teräs	90	10	3	^b
Kuparivaipalla varustettu teräs		15		2000
Sähköisesti kuparilla päällystetty teräs		14 (vaakatasossa 10)		250 (vaakaelektrodilla 70)

^a Nauhan tai levyn paksuus tai köyden yksittäisen langan halkaisija ø

^b Betoniin upotetulla perustusmaadoituselektrodilla ei tarvita korroosiosuojausta

Vaakamaadoituselektrodi

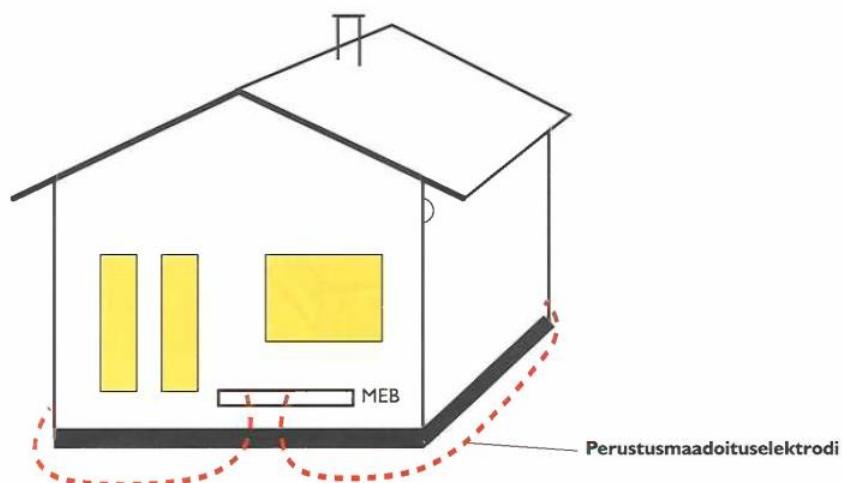
Tavallisesti vaakamaadoituselektrodit asennetaan ojan tai perustuskaivannon pohjalle. Jotta saavutetaan riittävä mekaaninen suojaus, kaivetaan vaakamaadoituselektrodit 0,5–1 m syvyyteen. Routaraja on otettava huomioon, ja maadoituselektrodi suositellaan sijoitettavaksi sen alapuolelle. Suositellaan, että elektrodit ympäröidään kevyesti tiivistetyllä maalla, kivet tai sorat eivät ole suorassa kosketuksessa maahan kaivettujen maadoituselektrodien kanssa sekä alkupeäinen maa, joka ei sovi yhteen elektrodimetallin kanssa, korvataan sopivalla täytemaalla. [2.]

Perustusmaadoituselektrodi

Perustusmaadoituselektrodilla tarkoitetaan yleensä suljetun renkaan muotoista johtavaa osaa, joka on upotettu maahan rakennusten perustusten alle tai

ensisijaisesti upotettu rakennustenperustuksen betoniin, kuten kuvassa 2 on esitettyinä. Perustusmaadoituksella pyritään ensisijaisesti parantamaan potentiaalintasausta. [1.]

Sen minimipoikkipinta on 16 mm^2 kuparia tai 90 mm^2 kuumasinkittyä tai ruostumatonta terästä. Perustusmaadoituselektrodin ollessa perustuksen sisällä, käytetään materiaalina terästä. Elektrodina voidaan käyttää erityisesti elektrodikäyttöön tarkoitettua sinkittyä lattaterästä tai normaalia betoniterästä. Betoniteräkset on hitsattava yhteen tai on käytettävä erityisiä jatkoksia, jotta elektrodi on luotettavasti jatkuva. [1.]



Kuva 2. Perustusmaadoituselektrodi. (Lähde: Maadoituskirja, sivu 15)

Maadoitussauva

InfraRYL:n asettamien vaatimusten mukaan maadoitussauvojen vähimmäishalkaisija kuumasinkityllä tangolla on 16 mm, kuparipäällysteisellä tangolla 15 mm sekä kuumasinkityllä teräsputkella 25 mm. Sauvojen määrä on tapauskohtainen, mutta ne liitetään vaakamaadoituselektrodiin. [7.]

Pystyyn tai vinoon asennettavat sauvaelektrodit lyödään maan sisään ja vierekkäisten sauvojen välisen etäisyyden tulisi olla suurempi kuin sauvan pituus. Sauvan yläosa asennetaan yleensä maanpinnan tason alapuolelle. Jotta

vältetään elektrodien vaurioituminen niitä asennettaessa ja tarkastettaessa, on käytettävä tarkoituksenmukaisia työkaluja ja työmenetelmiä. Pysty- ja vinoelektrodeja kannattaa käyttää erityisesti silloin, kun maaperän resistiivisyys pienenee syvemmälle mentäessä. Esimerkki maadoitussauvasta maassa sekä siihen yhdistetyistä vaakamaadoituselektrodeista on kuvassa 3. [2.]



Kuva 3. Maadoitussauva, johon yhdistetty vaakamaadoituselektrodeja. (Lähde: <https://www.elek.com/au>, luettu 31.3.2023)

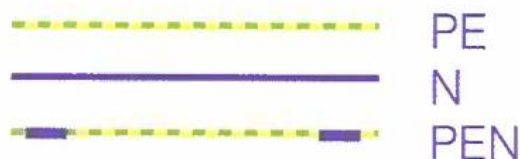
Maadoitusjohdin

Maadoitusjohdin muodostaa asennuksen, järjestelmän tai laitteen määrätyn osan ja maan välille johtavan yhteyden tai osan tästä yhteydestä. Maadoitusjohtimessa ei normaalitilanteessa kulje virtaa ja vikatilanteissa siinä kulkevat virrat ovat usein hyvin pieniä. [1.]

Tärkeämpää maadoitusjohtimen mitoituksessa on johtimen mekaaninen kestoisuus ja korroosiokestoisuus kuin virtakestoisuus. Virtakestoisuudella on joissain tapauksissa merkitystä, kuten keskijänniteverkon kaksoismaasulkutilanteissa, eli

tilanteissa, joissa kahden tai useamman jännitteisen johtimen kytkeytymisestä maahan eri pisteissä tai niiden ja maan välisen eristysresistanssin pienentymisestä alle määrätyn raja-arvon. [1.]

SFS 6001 standardin mukaisesti maadoitettuja metallirakenteita voidaan käyttää kyseiseen rakenteeseen suoraan liitettyjen osien maadoitusjohtimena. Tällöin koko rakenteen johtavan poikkipinnan on oltava riittävä ja siinä olevien liitosten on oltava luotettavia sähköisesti sekä mekaanisesti. Rakenne on suunniteltava siten, että rakenteen osa ei irtaudu maadoitusjärjestelmästä, vaikka rakennetta väliaikaisesti purettaisiin. Maadoitusjohtimien mekaanisen lujuuden ja korroosionkestävyyden perusteella johtimen vähimmäispoikkipinnat ovat kuparille 16 mm², alumiinille 35 mm² sekä teräksellä 50 mm². Maadoitusjohtimia on suoja-, nolla- ja PEN-johtimet, joiden tunnistamisesta on havainnointia kuvassa 4. [2.]



Kuva 4. Suoja-, nolla- ja PEN-johtimien tunnistaminen. (Lähde: Maadoituskirja, sivu 28)

Nollajohdin (N)

Nollajohto on johdin, joka on liitettynä sähköjärjestelmän maadoitettuun tähtipisteeseen. Sitä pitkin sähkölaitteeseen vaihejohdinta pitkin kulkenut virta palaa järjestelmään. Johtimen tunnistaa yleensä sinisestä tai harmaasta väristä. [3.]

Suojajohdin (PE)

Suojajohtinta käytetään nimensä mukaisesti suojauksen takia, esimerkiksi sähköiskulta. Suojajohtimia ovat esimerkiksi suojamaadoitusjohdin, suojaavat potentiaalintasausjohtimet ja maadoitusjohdin. Normaalitilanteessa suojajohdin on

jännitteetön ja käytännössä virraton, mutta vikatilanteissa se saattaa tulla jännitteiseksi ja siinä saattaa kulkea suuriakin virtoja. Pieniä sähkölaitteiden vuotovirtoja siinä saattaa esiintyä normaalitilanteissakin, eli normaalin käytön aikana kulkevaa ei-toivottua johtavaa reittiä kulkevaa virtaa. Suojajohdin on hyvin keskeinen osa sähköasennuksen suojausta, joten sen luotettavuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. [1.]

PEN-johdin

PEN-johtimen tarkoituksena on toimia samalla sekä suojamaadoitus- että nol-lajohtimena. Siinä kulkee myös normaalitilanteessa kuormituksen paluuvirta. [1.]

VLD-laite

VLD (Voltage Limiting Device/jännitteen rajoitinlaite) on laite, jolla rajoitetaan raitiotien kiskon ja perusmaan välistä potentiaaliero. Laite ei ole sähkötekni- sestä johtava normaaleissa käyttöolosuhteissa. Laite muuttuu sähkötekni- sestä johtavaksi ajolangan vikatilanteessa, katkenneen ajolangan osuessa maadoitet- tuun rakenteeseen. VLD:n perusvaatimukset ja tyypit on kuvattu standardeissa SFS-EN 50122 ja SFS-EN 50526-2. [8.]

VLD-F-laitetta käytetään raitiotien suojamaadoituksessa. Vaaraulottuma-alueen sisäpuolella olevat sähköä johtavat rakenteet eristetään tai suojamaadoitetaan laitteen kautta raitiotien paluuvirtapiitiin sähkön aiheuttamien vaarojen poista- miseksi. Lähtökohtaisesti VLD-F-laitteeseen voidaan kytkeä suojamaadoitetta- via kohteita 125 m etäisyydellä. Laite sijoitetaan joko raitiotiepysäkin kaapelikai- voon tai yhteiskäyttöpylvääseen. Kuvassa 5 on esitetty laitteen sijoittamisesta kaapelikaivoon. [8.]



Kuva 5. VLD-F-laitteen asennus kaapelikaivossa. (Lähde: Kruunusillat allianssi katselmuspöytäkirja, mallikatselmus VLD-F-laitteen asennus kaapelikaivossa. luettu 28.3.2023)

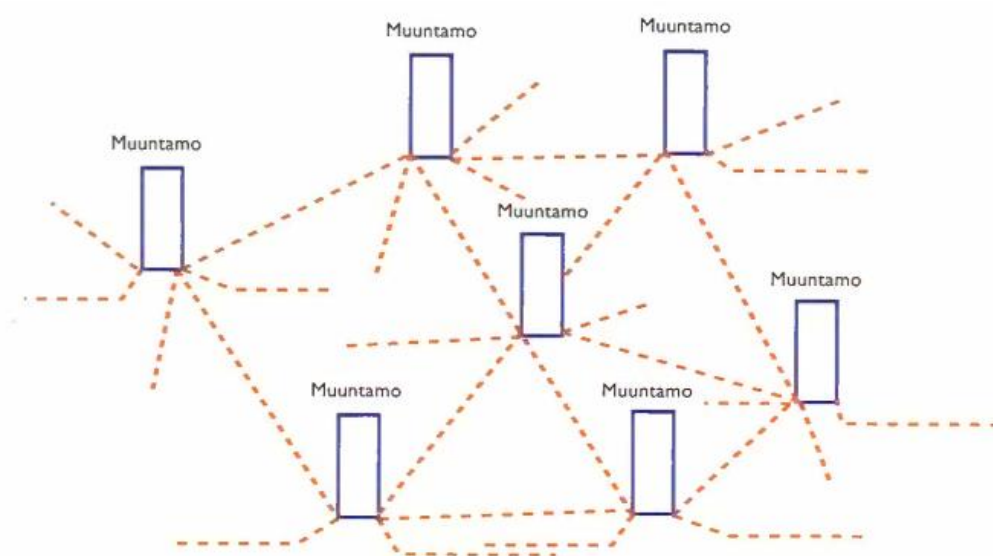
Käytännössä VLD-F mittaa maadoitettavan kohteen ja kiskon välisen virran, jolloin tietyn rajan ylittäessä virta menee kiskoon, josta se menee syöttöaseman paluuvirtakaapelia pitkin syöttöasemalle. [8.]

Sähkösyöttöasemat varustetaan VLD-O-laitteella, jonka avulla toteutetaan myös hajavirtojen seurantajärjestelmä. [8.]

2.2.2 Järjestelmät

Laaja maadoitusjärjestelmä

Laajan maadoitusjärjestelmän periaate perustuu siihen, että alueella ei ole lainkaan, tai vain vähäisiä potentiaalieroja. Järjestelmä tehdään liittämällä useat paikalliset lähellä toisiaan olevat maadoitusjärjestelmät verkkomaisesti yhteen siten, että järjestelmä muodostaa lähes tasapotentiaalipinnan. Tällöin kyseisellä alueella ei esiinny vaarallisia kosketusjännitteitä. Kuvassa 6 on esitetty periaatekuva laajasta maadoitusjärjestelmästä. [1.]



Kuva 6. Periaatekuva laajasta maadoitusjärjestelmästä. (Lähde: Maadoitusopas, sivu 64)

Suomen olosuhteissa laajan maadoitusverkon alueita ovat tiheästi asutut kaupunkikeskustat ja vastaavat alueet sekä laajat teollisuusalueet, joilla on muuntamoita tiheänä verkkona ja kunkin muuntamon maadoitukset on yhdistetty vähintään kahden muun muuntamon maadoitukseen ja myös muulla tavalla, esimerkiksi pienjänniteverkon kautta. [1.]

Laajan maadoitusjärjestelmän määritelmä perustuu siihen, että alueella ei ole lainkaan tai on vain vähäisiä potentiaalieroja. Tällaisten alueiden tunnistamiseen ei ole yksinkertaisia tai yksittäisiä sääntöjä. [2.]

Yhteen liitetty maadoitusjärjestelmä

Tyypillisiä yhteen liitettyjä maadoitusjärjestelmiä ovat maaseudun ja taajamien maakaapeloituun keskijänniteverkkoon liittyvät jakelumuuntamot tai muut sähköasemat, joiden maadoitusjärjestelmät ovat toisiinsa yhteydessä silmukka- tai ketjumaisesti. Yhteen liitetty maadoitusjärjestelmä ei kuitenkaan täytä laajan maadoitusjärjestelmän vaatimuksia. [4.]

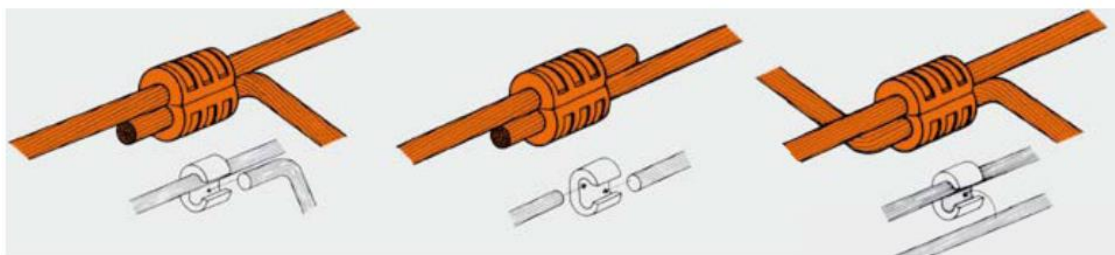
2.2.3 Maadoituksen liitokset

Maadoitusjohtimien liitoksilla on oltava hyvä sähköinen johtavuus, ettei vikatilanteessa vikavirta nouse liian suureksi. On huolehdittava, ettei liitokset pääse löystymään ja ne on suojattava korroosiolta. Sauvoja yhdistettäessä jatkoksilla on oltava sama mekaaninen lujuus kuin itse sauvoilla, ja niiden pitää kestää asennuksen aikana syntyvät mekaaniset rasitukset. Liittäessä yhteen eri metalleja, on liitokset suojattava kestäväällä tavalla siten, etteivät ne joudu kosketuksiin ympäristössä olevien elektrolyyttien kanssa. [2.]

Yhdistäessä maadoitusjohtimen maadoituselektrodiin, päämaadoituskiskoon tai mihin tahansa metalliosaan, on liitos tehtävä sopivia liittimiä käyttäen. Liitosten on oltava sellaisia, että ne voidaan irrottaa vain erikoistyökaluja käyttäen. [2.]

Maassa olevat liitokset

Liitokset, jotka sijoitetaan maan alle, tehdään yleensä puristus- tai hitsausliitoksien. Kupariköysiin saadaan luotettava liitos esimerkiksi c-puristusliittimillä, jonka eri käyttötavoista on esimerkki kuvassa 7. Ruuviliittimien käyttäminen ei ole suositeltavaa, sillä niiden korroosioalttius on muita liitostapoja suurempi. Tämän vuoksi sinkitettyä teräsköyttä eli maadoituselektrodia ei yleensä jatketa tai haaroiteta maassa, vaan liitos tehdään esimerkiksi pylväässä. [4.]



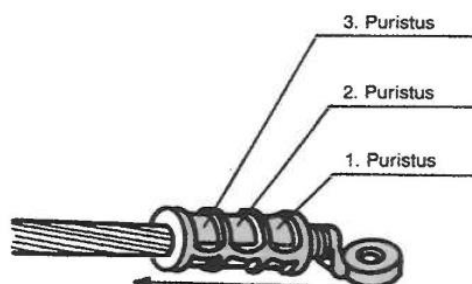
Kuva 7. C-liittimen käyttötapoja. (Lähde: <https://www.teleinstument.fi>, luettu 28.3.2023)

Puristusliitokset

Jotta puristusliitoksella saadaan aikaan luotettava liitos, edellyttää se seuraavia

- johdinkoon ja -materiaalin mukaan valittu liitin
- työkalu ja puristusleuka on tarkoitettu kyseiselle liittimelle
- puristetaan oikeassa järjestyksessä oikea puristusmäärä, ks. kuva 8
- liitospinnat harjataan huolellisesti
- työkalun kunto ja puristusjälki tarkistetaan ajoittain. [4.]

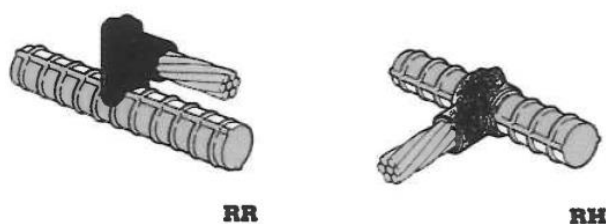
Lisäksi on tarpeellista noudattaa valmistajan asennusohjetta. [4.]



Kuva 8. Puristusjärjestys Al-kaapelikengässä. (Lähde: Maadoituskirja, sivu 144)

Cadweld-liitosmenetelmä

Cadweld-liitosmenetelmää voidaan käyttää erityisesti korroosioherkille maadoitusliitoksille sekä muille suurta johtavuutta vaativille pitkäikäisille liitoksille. Liitos ei vanhene, heikkene eikä korrosoidu. Liitosta käytetään kuparijohtimien liittämiseen kuparijohtimeen, metallirakenteeseen, betoniraudoitukseen tai maadoitus-sauvaan. Kuvassa 9 on esitetty maadoitusjohtimen liitosta betonirautaan. [9.]



Kuva 9. Cadweld-hitsausliitoksen avulla maadoitusjohtimen liitos betonirautaan. (Lähde: Maadoituskirja, sivu 144)

2.3 Maadoitustapojen käyttö eri kohteissa

Maadoitusten toteutus riippuu maadoitettavasta kohteesta. Seuraavissa luvuissa käsitellään muutamia eri infrakohteita ja niiden maadoitusten toteuttamista.

2.3.1 Sähköasema

Sähköaseman maadoituksen suunnittelun ja toteutuksen vaatimukset tulevat standardista SFS 6001 suurjännitesähköasennukset. [2.]

Sähköasemia ympäröivät paljaat metalliaidat on maadoitettava ja maadoittaminen on tehtävä aitaan useasta pisteestä, esimerkiksi jokaisesta kulmasta. Tilanteen mukaan yhdistykset tehdään joko suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmään tai erillisiin maadoituselektrodeihin. Jotta aidan osien välillä ei esiintyisi

vaarallisia jännitteitä, on sähköasemaa ympäröivän aidan kaikki aukot, esim. portit yhdistettävä maadoitukseen. [2.]

Sähköaseman alueen sisällä olevat metalliputkistot on yhdistettävä sähköaseman maadoitusjärjestelmään. Sähköaseman ulkopuolelta tulevien putkien materiaalina olisi vältettävä metallia ja käytettävä eristävästä materiaalista tehtyjä putkia tai eristäviä välisosia. [2.]

Sähköistämättömän rautatien kiskot, jotka kulkevat sähköaseman alueen poikki, on yhdistettävä sähköaseman maadoitusjärjestelmään. Sähköaseman alueen rajalla on oltava eristäviä kiskoliitoksia siten, että kiskoliikennejärjestelmän muut osat ovat sähköisesti erillään. [2.]

2.3.2 Rautatiealue

Rautatiealueen maadoituksen suunnittelun ja toteutuksen vaatimukset tulevat Väyläviraston ohjeesta 13/2010: Rautatiealueelle tulevien kiinteiden laitteiden ja rakenteiden maadoitussuunnittelu. [5.]

Sähköradalla suojamaadoitus suoritetaan tekemällä sähköinen, eli metallinen yhteys rakenteen ja paluuvirtapiiriin välille. Paluuvirtapiiri on osa sähköradan virtapiiriä, jota pitkin virta palaa kuormitus- tai vikapaikasta syöttöasemalle. Suojamaadoituksen on vastattava sähkönjohtavuudeltaan 25 mm² kuparijohdinta tai 50 mm² kuumasinkittyä terästä. Poikkeustapauksissa voidaan käyttää alumiinijohdinta. [5.]

Varmistettu maadoitus tehdään käyttäen vähintään kahta maadoitusjohdinta, jotka täyttävät sähköiset ja mekaaniset vaatimukset yksinään. Maadoituksen tehtäessä suoraan M-johtimeen, riittää yksi liitäntäjohdin varmistetussakin maadoituksessa maadoitettavan kohteen ja M-johtimen välille. M-johdin on maadoitusjohdin, joka on yleensä ilmassa ja jota käytetään ratajohtopylväiden ja muiden rakenteiden maadoittamiseen paluukiskoon. [5.]

Varmistetusti maadoitettavia kohteita ovat:

- alikulkukäytävät ja sillat
- suuret laiturirakenteet, laiturikatokset ja rakennukset
- rataan välillisesti liittyvät kohteet kuten laitetilat, pääkeskukset, valonheitinmastot ym.
- imumuuntajapylväät eli muuntajapylväät, joiden tarkoitus on pakottaa paluuvirta kulkemaan paluujohdintimessa
- erotusjaksopylväät, erotinpylväät
- syöttöaseman maadoitukset. [5.]

Seuraavissa tapauksissa rakenteet on suojamaadoitettava paluuvirtapiiriin:

- Sähköistetyt raiteen keskiviivasta 5 m lähempänä sivusuunnassa sijaitseva osa
- Osa sijaitsee sää- ja kuormatiloissa 2,5 m lähempänä 25 kV jännitteistä osaa
- Osa sijaitsee sää- ja kuormatiloissa 1,5 m lähempänä paluujohdinta. [5.]

Edellä mainittujen etäisyysrajojen soveltamisessa on otettava huomioon 25 kV kannalta muun muassa virroittimen heilahdus, kääntöorren jännitteiset osat ja ajojohtimen siksak. [5.]

Paluuvirtapiiriin suojamaadoitettavia kohteita ovat muun muassa

- tukimuurit
- terässillat
- puiset ylikulkusillat
- metalliset alikulkukäytävät
- melusteet
- tunnelit
- ulkovalaistus
- pumppaamot. [5.]

Suojamaadoitettavaksi tulee suunnitella kaikki uudet sillat, tunnelit, melusteet ja muut suuret rakenteet, vaikkei rataosaa olisi sähköistetty. Suojamaadoittaa ei tarvitse sellaisia irrallisia esineitä tai pieniä erillisiä rakenteita, jotka eivät oleellisesti levitä pudonneen tai sinkoutuneen jännitteisen osan potentiaalia

vikakohtasta kauemmas, kunhan kyseessä oleva rakenteeseen ei saa liittyä johtoja. [5.]

Rataa ylittävät tai alittavat putkirakenteet ja kaapelit eristetään ensisijaisesti raiteen keskeltä 20 m etäisyydelle sivusuunnassa rataan maadoitetuista rakenteista. Jos eristäminen ei teknisesti ole mahdollista, rataa ylittävät tai alittavat putkirakenteet ja kaapelit maadoitetaan 5 m sivusuunnassa raiteen keskeltä olevalta etäisyydellä paluuvirtapiiriin. [5.]

Mikäli rakennus tai laitetilä sijaitsee rautatien maadoittamista edellyttävällä alueella, raiteen puoleisen sivun nurkat sekä räystäään reuna varustetaan paluukiskoon maadoitetuilla johtimilla, joko 25 mm² kuparijohtimella tai 50 mm² kuumasinkityllä teräksellä. Jos sähkörata kulkee rakennuksen sisältä, tehokas maadoitus pyritään varmistamaan sijoittamalla esimerkiksi betonielementeistä koottaviin seiniin elementtien väliin maadoitusrautoja, jotka yhdistetään paluukiskoon. [5.]

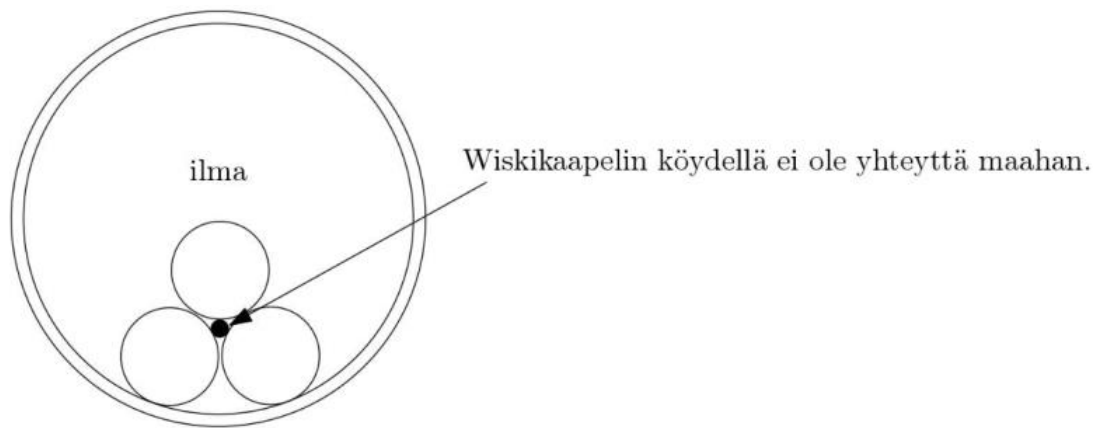
2.3.3 Helsingin keskijänniteverkko

Helen Sähköverkon maadoitusverkko on suurelta osin laaja maadoitusverkko. Tämä toteutetaan kytkemällä yhteen paikalliset maadoitusjärjestelmät. Kytköksellä varmistetaan, ettei vaarallisia kosketusjännitteitä esiinny. [10.]

Jännitteeltään 20 kV:n verkon alueilla asennettiin vuosina 1963–1989 maakaapeleiden yhteydessä 50 mm² paljas kupariköysi maahan vaakaelektrodiksi. Samoin tehtiin 10 kV:n verkolle vuosina 1975–1989. Ennen vuotta 1963 maadoituskupareita asennettiin satunnaisesti, joten näitä vuosilukuja vanhempia maadoituksia pidetään maadoitusverkon kannalta maadoitusjohtimina eikä maadoituselektrodeina. [10.]

Vuodesta 1989 eteenpäin keskijännitekaapeliksi on asennettu Wiskikaapeli, jossa kuvan 10 mukaisesti kulkee paljas 70 mm² kupari vaiheiden välissä. Koska kaikki uudet Wiskikaapelit putkitetaan, ei keskusköyttä voi pitää

maadoituselektrodina, koska sillä ei ole fyysistä kosketusta maahan. Tästä syystä Wiskikaapelin keskuskuparia pidetäänkin maadoitusjohtimena, joka yhdistää sähköasemien ja muiden elektrodien todellisia fyysisiä yhteyksiä maahan. [10.]



Kuva 10. Wiskikaapeli putkessa (Lähde: Helen Sähköverkko Oy sisäinen ohje, Maadoitusperiaatteet keski- ja pienjänniteverkoille, sivu 1)

Keskijänniteverkon maadoitusperiaatteet ovat seuraavanlaiset:

- Jokaiselta sähköasemalta lähtevän kaapelimaton mukana on vietävä yksi eristämätön 70 mm² kuparijohdin ensimmäiselle muuntamolle saakka. Haaroituksissa eristämätön 70 mm² kuparijohdin liitetään yhteen kaapelimattojen haarakohdissa. Maadoituskupari asennetaan paljaana maahan kaapeliputkien alapuolelle irti putkista.
- Keskijänniteverkon haaroituksessa säteittäiseksi (yksi syöttökaapeli), on Wiskikaapelin maadoitusjohtimen lisäksi asennettava eristämätön 70 mm² kuparijohdin muuntamolta muuntamolle. Jokaiselta muuntamolta on oltava vähintään kaksi maadoitusyhteyttä keskijännitetasolla laajaan maadoitukseen.
- Erillismuuntamoille on tehtävä rengaselektrodi kosketusjännitesuojauksen parantamiseksi, eli muuntamon ympäri kiertävä maadoitus. Rengaselektrodi on sitä tärkeämpi mitä johtavampi maaperä muuntamo ympäröi.
- Tapauksissa, jolloin muuntamon ympärille ei asenneta rengaselektrodiä, on muuntamoiden kaapeloimisen yhteydessä asennettava kaksi erillistä maadoitusjohdinta, jotka lähtevät muuntamolta sen sivusuunnassa vastakkaisiin suuntiin. Mitä johtavampi maaperä, sitä pidemmät elektrodit asennetaan. Vaakaelektrodit liitetään muuntamon sisällä keskijännitekaapelin keskusköysiin.

- Helen Sähköverkko Oy vie rengaselektrodin tai maadoitusjohtimen keskijännite-liittymän muuntamon kaapelipäätteisiin asti, jossa se liitetään kuluttajan päämaadoituskiskoon menevään kupariköyteen. [10.]

Maadoitusresistanssi

Elektrodin maadoitusresistanssi määräytyy sen muodon ja sijainnin sekä maaperän ominaisresistanssin suhteen. Suurin vaikutus maadoitusresistanssiin on ominaisresistanssilla, joka Helsingin alueella on 1000 Ωm (ohmimetri) luokkaa. Tämä on mitattu vuona 1971 Vuosaaren ja Kumpuyölin välisellä reitillä yhteensä 454 pisteessä. [10.]

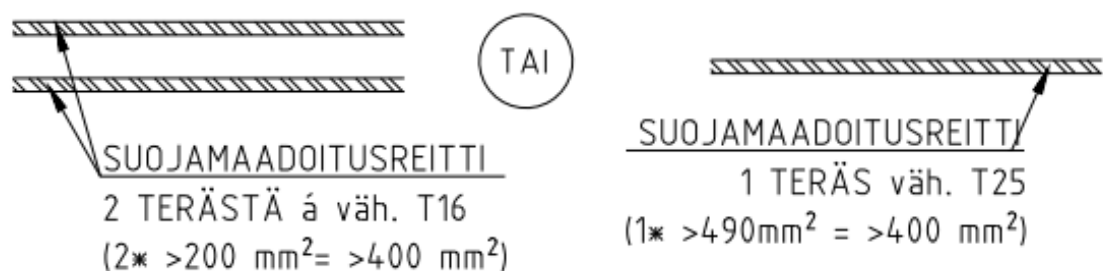
Wiskikaapelin 70 mm²:n kupariselle keskusköydelle on tehty maadoitusresistanssin mittauksia vuonna 1993. Mittauksissa todettiin, että yhden metrin pituisen maadoitussauvan lisääminen parantaa keskusköyden maadoitusresistanssia huomattavasti. Jatkossa mittauksia tehdään maadoituksen suhteen kriittisillä alueilla, joita on muun muassa Meri-Rastila, Viikki sekä Vuosaari. [10.]

Maadoitukset mereen ovat ominaisuuksiltaan parhaimpia, jolloin ominaisvastus on yhden ohmimetrin luokkaa. Tätä on hyödynnettävä silloin, kun se on mahdollista. Muuten tehokkain ja käytännöllisin vaihtoehto maadoitusarvoltaan jakeluverkon maadoitukseen on kaapeliojaan asennettu vaakaelektrodi, jos maaperän ominaisvastus on vakio. Vaakaelektrodin kupariköyden poikkipinta-alan hyvänä oletusarvona voidaan pitää 70 mm², jolloin johtimen pitkittäisresistanssi on 0,27 W/km. Poikkipinta-alalla on kuitenkin vain pieni vaikutus itse maadoitusresistanssiin. [10.]

2.3.4 Taitorakenteiden maadoitusperiaate

Suojamaadoitusreitti sillassa

Sillan suojamaadoitusteräksinä voidaan käyttää rakenneteräksiä. Suojamaadoitusreitti koostuu yhdestä tai kahdesta vierekkäisestä teräksestä, joilla saadaan teräspoikkipinta-alaksi vähintään 400 mm^2 . Suojamaadoitusreitti vietään aina kiinni pinnan raudoituksessa ja se kiinnitetään sidelangoin siihen. Vaihtoehtoiset suojamaadoitusreitit maadoitusteräkselle on kuvattuna kuvassa 11. [11.]



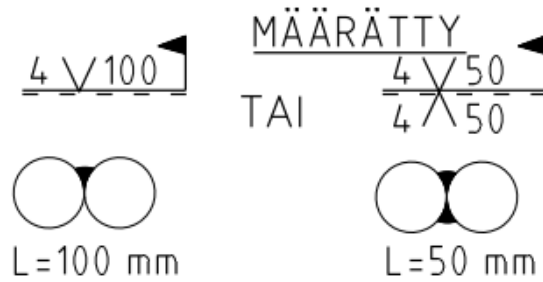
Kuva 11. Sillan suojamaadoitusreittien vaihtoehdot. (Lähde: Taitorakenteiden maadoitusperiaate. 2021. Kruunusillat allianssi.)

Maadoitushitsauksen vaatimukset

Suojamaadoitusreitien kaikki liitokset on hitsattava ja hitsiluokan oltava D. Tyypipiirustus vaatimuksista on esitetty kuvassa 12. Maadoitushitsaukset on aina oltava vähintään toinen seuraavista, ellei toisin ole määritelty [11.]

- V-hitsi yhdeltä puolelta, jonka paksuus on 4 mm ja pituus 100 mm
- V-hitsi molemmilta puolilta, joiden paksuudet on 4 mm ja pituus 50 mm. [11.]

H1) MAADOITUSHITSAUKSET AINA
VÄHINTÄÄN JA ELLEI TOISIN OLE

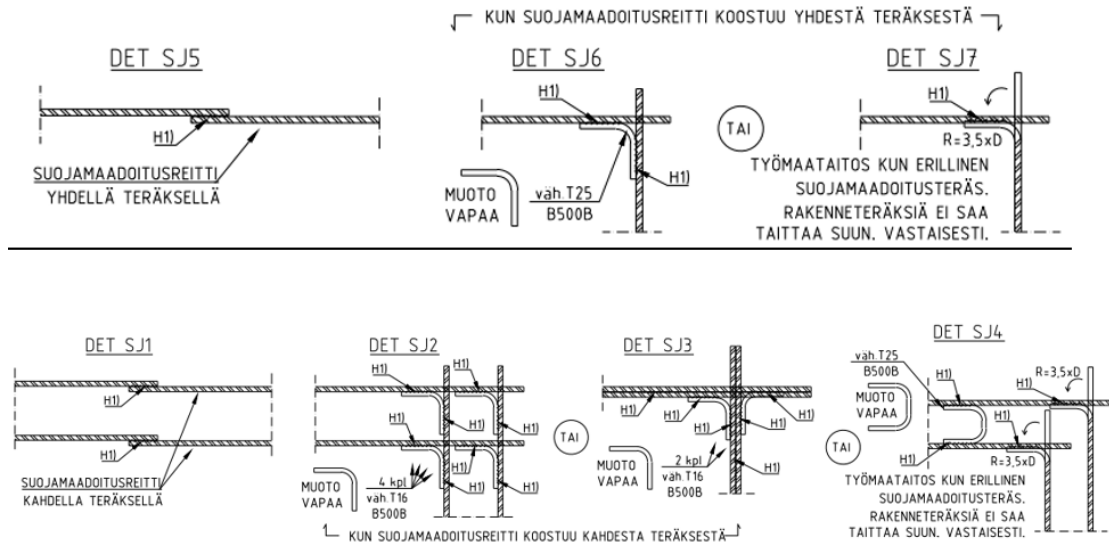


VASTAA 400 mm TERÄSPOIKKIPINTA-ALAA.
SUOJAMAADOITUSREITIN KAIKKI LIITOKSET
HITSATAAN. HITS AUSLUOKKA D, SFS EN

Kuva 12. Maadoitushitsauksen vaatimukset. (Lähde: Taitorakenteiden maadoitusperiaate. 2021. Kruunusillat allianssi.)

Suojamaadoitusreitin jatkokset

Suojamaadoitusreitin jatkoksen vaihtoehtoinen tapa perustuu sen mukaan, koostuuko suojamaadoitusreitti yhdestä vai kahdesta teräksestä. Vaihtoehdon voidaan valita työmaan valinnan mukaan. Vaihtoehdot suojamaadoitusreitin jatkoksille, kun suojamaadoitusreitti koostuu yhdestä tai kahdesta teräksestä, on esitetty kuvassa 13. [11.]



Kuva 13. Vaihtoehdot suojamaadoitusreitint jatkoksille. (Lähde: Taitorakenteiden maadoitusperiaate. 2021. Kruunusillat allianssi.)

Mittapiste

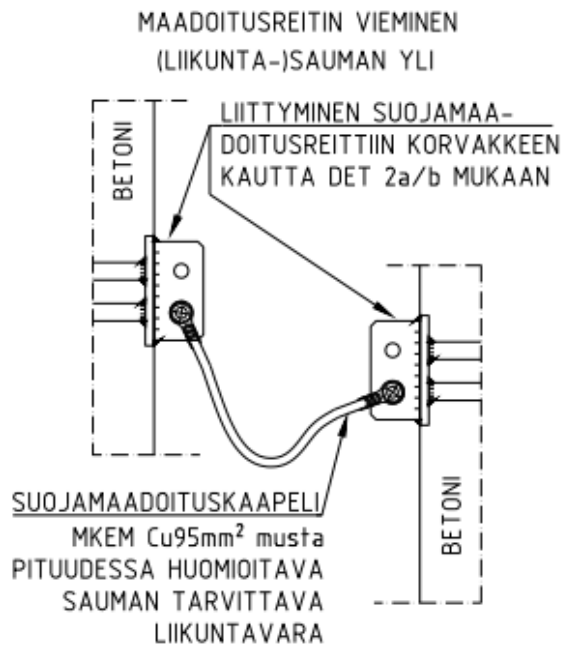
Taitorakennekohtaisessa maadoitussuunnitelmassa suojamaadoitusreitiverkko on muodostettu siten, että verkon sähköjohtavuus kahden suojamaadoituspisteen välillä vastaa vähintään teräspoikkipinta-alaltaan 800 mm^2 . Toisin sanoen kahden mittauspisteen välillä kulkee aina vähintään kaksi suojamaadoitusreittiä. Paikallisesti suojamaadoitusmittapisteen liittimessä poikkipinta-alan vaatimus on vähintään 400 mm^2 . [11.]

Maadoituskorvake ja -mittapisteen sijainnissa on huomioitava varusteiden paikat, pyrkimällä sijoittamaan ne niin, ettei ne ole näkyvillä paikoilla ja varusteiden kiinnitysten tiellä. Sijoittaminen pyritään tekemään yli 0,3 metrin korkeudelle maanpinnasta. [11.]

Maadoitussuunnittelija numeroi mittapisteillä (MP) kaikki metalliosat kohdekohtaisessa maadoitussuunnitelmassa mittausta varten. Mittapaikka on esitettävä yksiselitteisesti. [11.]

Maadoitusreitin vieminen (liikunta-)sauman yli

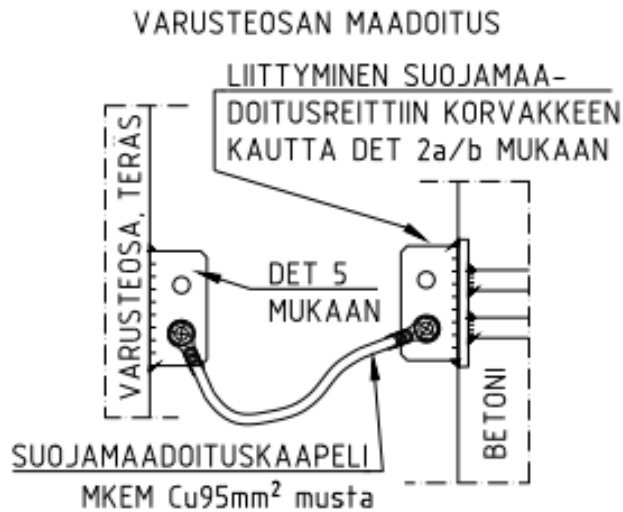
Maadoitusreitin vieminen liikuntasauman yli toteutetaan kuva 14 mukaisesti. Yhdistys toteutetaan korvakkeiden kautta käyttäen eristettyä 95 mm² maadoitusjohdinta (MKEM Cu95mm²). Johtimen pituudessa on huomioitava sauman tarvittava liikuntavara. [11.]



Kuva 14. Maadoitusreitin vieminen liikuntasauman yli. (Lähde: Taitorakenteiden maadoitusperiaate. 2021. Kruunusillat allianssi.)

Varusteosan maadoitus

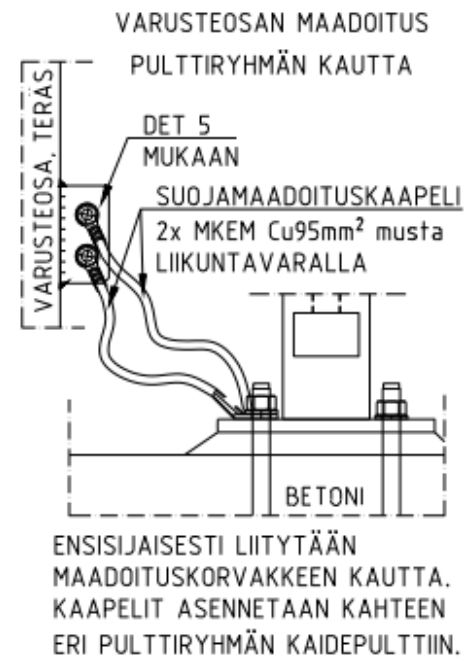
Varusteosan maadoitus on toteutettava kuvan 15 mukaisesti. Liittyminen suoja- maadoitusreittiin tapahtuu korvakkeen kautta käyttäen eristettyä 95 mm² kupari- johdinta. [11.]



Kuva 15. Varusteosan maadoitus. (Lähde: Taitorakenteiden maadoitusperiaate. 2021. Kruunusillat allianssi.)

Varusteosan maadoitus pulttiryhmän kautta

Varusteosan maadoitus pulttiryhmän kautta on toteutettava ensisijaisesti maadoituskorvakkeen kautta. Yhdistämisessä käytetään eristettyä 95 mm² kuparijohdinta, jonka pituudessa on huomioitava liikuntavara. Toteutus on kuvattu kuvassa 16. [11.]



Kuva 16. Varusteosan maadoitus pulttiryhmän kautta. (Lähde: Taitorakenteiden maadoitusperiaate. 2021. Kruunusillat allianssi.)

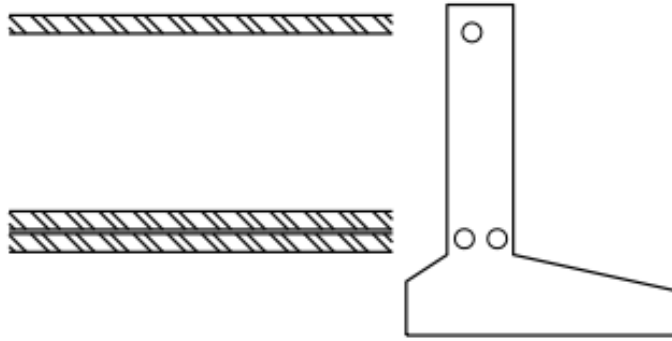
Jatkuvuusmittaus

Sillan suojamaadoituksen jatkuvuusmittaus suoritetaan vähintään 5 A virralla. Mittaus on suoritettava ennen ja jälkeen valun. [11.]

Suojamaadoitusreitti tukimuuri

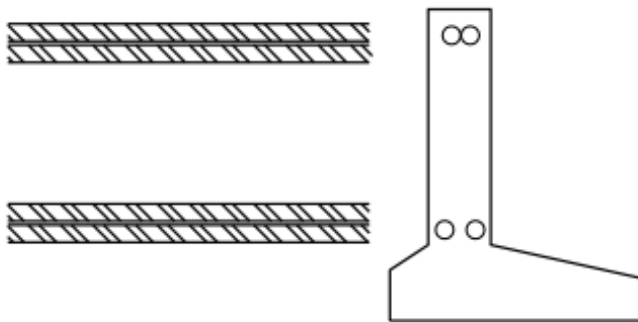
Tukimuurin suojamaadoitusreitti koostuu tukimuurin ylä- ja alaosassa kulkevasta suojamaadoitusreitistä, joilla saadaan teräspoikkipinta-ala $>800 \text{ mm}^2$ tukimuurin suuntaisesti. Suojamaadoitusteräksinä voidaan käyttää rakenneteräksiä. [11.]

Suojamaadoitusreitti voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla. Ensimmäinen vaihtoehto on esitetty kuvassa 17. Tämä koostuu kahdesta teräksestä alaosassa, jotka ovat vähintään T20 sekä yläosassa yksi teräs, joka vähintään T16. ($2 * >314 \text{ mm}^2 + 1 * >200 \text{ mm}^2 = 800 \text{ mm}^2$) [11.]



Kuva 17. Suojamaadoitusreitti tukimuurissa vaihtoehto 1. (Lähde: Taitorakenteiden maadoitusperiaate. 2021. Kruunusillat allianssi.)

Toinen vaihtoehto on kuvattuna kuvassa 18. Tämä koostuu kahdesta teräksestä alaosassa, jotka ovat vähintään T20 sekä kaksi terästä yläosassa, jotka ovat vähintään T16. ($2 * >314 \text{ mm}^2 + 2 * > 113 \text{ mm}^2 = 800 \text{ mm}^2$) [11.]

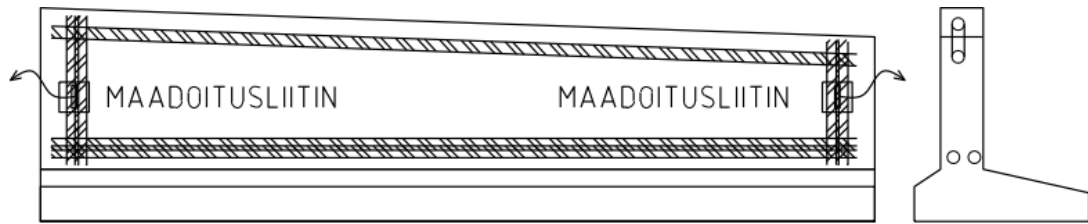


Kuva 18. Suojamaadoitusreitti tukimuurissa vaihtoehto 2. (Lähde: Taitorakenteiden maadoitusperiaate. 2021. Kruunusillat allianssi.)

Taitorakennekohtaisessa maadoitussuunnitelmassa tukimuurin suojamaadoitusreitiverkko muodostaa aina hitsatun lenkin muurin ympäri siten, että kahden mittauspisteen välillä on aina vähintään kaksi hitsattua teräsyhteyttä, toinen ylä- ja toinen alakautta. Yläkautta kulkeva reitti mukailee tukimuurin yläosan muotoa kaidepulttimaadoitusten vuoksi. [11.]

Tukimuurin päissä alaosan suojamaadoitusteräs (vähintään 2T20) jatketaan maadoitusliittimelle asti. Lisäksi maadoitusliittimeen on yhdistettävä yläosan yhteys. Paikallisesti suojamaadoitusmittauspisteen liittimessä poikkipinta-

alavaatimus on vähintään 400 mm². Maadoitusliitin tukimuurissa on kuvattuna kuvassa 19. [11.]



Kuva 19. Maadoitusliittimet tukimuurissa. (Lähde: Taitorakenteiden maadoitusperiaate. 2021. Kruunusillat allianssi.)

Suojamaadoitusreitti viedään aina kiinni pinnan raudoituksessa ja se kiinnitetään sidelangoin siihen. Ohjeellisesti (ei velvoittava) tukimuurin yläosassa suojamaadoitusreitti ja kaidepulttien kautta tapahtuva maadoitukseen liittyminen pyritään sijoittamaan ensisijaisesti raitiotien raiteiden puoleisiin betonipinnan raudotteisiin. [11.]

2.3.5 Raitiotie

Luvussa käsitellään raitiotien kohdetta, jota ei ole Kruunusillat allianssilla. Raitiotien muita kohteita, joita Hakaniemen osaprojektilla on, käsitellään kappaleessa 3. Ohjeet maadoituksen toteutukseen on Raide-Jokerin maadoitus- ja sähköturvallisuusohjeesta. [12.]

Tunneli

Maadoitettaessa raitiotien tunneli VLD-F-laitteen kautta paluukiskoon, eli laitteen, joka rajoittaa potentiaalieroja kiskon ja perusmaan välillä, on teräsbetonisen tunnelin kummallekin puolelle sijoitettava maadoitusteräokset (2 x 200 mm²). Lisäksi virroittimen alueella sijoitetaan tunnelin kattoon maadoitusteräokset (2 x 200 mm²). Pitkittäiset maadoitusteräokset kytketään poikittaisilla maadoitusteräöksillä toisiinsa noin 100 m välein ja aina liikuntasaumoissa. [12.]

Ajojohtimen vauriotapauksessa syötön poiskytkentä varmistetaan sijoittamalla tunnelin kumpaakin seinämää pitkin erilliset paljaat $2 \times 95 \text{ mm}^2$ kupariköydet, jotka kytketään kaikkiin maadoituksen liitospisteisiin. Käytettäessä kiinteää ajojohdinta tunnelissa ei näille kupariköysille ole tarvetta. [12.]

Tunnelin johtavat rakenteet, jotka sijaitsevat ajojohdon ja virroittimen ulottuma-alueella sekä vaaraulottuma-alueella, eli alueella, jonka sisäpuolella ajojohdon katkeaminen tai virroittimen vaurioituminen aiheuttaa sähköiskun vaaran, kytketään paluuvirtakiskoon VLD-F-laitteen kautta 95 mm^2 kuparikaapelilla. VLD-F-laitte rajoittaa potentiaaliero kiskon ja perusmaan välillä. Kiinteän ajojohdon alueella vaaraulottuman aluemäärityksen ajojohtimen tippumisen vaikutusalue voidaan jättää huomioimatta edellyttäen, että ajojohdin on asennettu riittävän luotettavasti. [12.]

Maadoittaessa tunnelin rakenteet paluuvirtakiskoon, riippuu tarvittavien VLD-F-laitteiden määrä tunnelin pituudesta. Tunnelin pituuden ollessa alle 250 metriä, asennetaan yksi VLD-laite keskelle tunnelia. Tunnelin pituuden ollessa 250–500 metriä, asennetaan kaksi VLD-laitetta enintään 250 m välein. Metrimäärät ovat laskettu maadoitettavien teräsrakenteiden mitoituksen arvoja käyttäen. [12.]

Virroittimen vaara-alueen (VATU) kohdalla, eli 4 m raiteen keskilinjasta sivusuunnassa olevan alueen tarvittavan maadoituksen laajuuteen voidaan vaikuttaa eristämällä tunneli ratajohdosta. [12.]

Käytettäessä kiintoajojohdinta ja tunnelin katon eristämistä, on mahdollista, ettei VLD-F-laitteen kautta toteutettavaa suojamaadoitusta tarvita. Mahdollisten hajoavien virtojen hallinta on kuitenkin tarkasteltava aina erikseen. [12.]

Nykyisten rakenteiden puuttuvia maadoituksia voidaan vahvistaa kuvan 20 tapaan sijoittamalla virroittimen alueelle 2 kpl 95 mm^2 kuparijohtimia, jotka kytketään paluukiskoon. Näiden avulla ratasähkösyöttö katkeaa virroittimen rikkoutumistapauksessa. [12.]



Kuva 20. Virroitinalueen maadoitusjohtimet. (Lähde Maadoitus- ja sähköturvallisuusohje. 2021. Raide-Jokeri, sivu 48)

2.4 Maadoituksen laadunvarmistus työmaalla

Dokumentointi

Maadoitusjärjestelmästä pitää olla käytettävissä asemapiirros, jossa on esitettynä maadoituselektrodien sijainti ja materiaali, elektrodien asennussyvyys sekä haaroituspisteet. Jotta suunnitelmien riittävyys voidaan varmentaa, on maadoitus asentamisen jälkeen tarkasteltava silmämääräisesti, valokuvata sekä tarkemmitattava. Jos asennukset sijaitsevat laajan maadoitusjärjestelmän ulkopuolella, on maadoitusresistanssit ja -jännite olla laskettuna tai mitattuna järjestelmällisesti. Asennusten sijaitessa laajan maadoitusjärjestelmän sisäpuolella, on maadoitussuunnitelman perussuunnitelma riittävä, eikä maadoitusresistanssin tai maadoitusjännitteen todentaminen ole tarpeen. On kuitenkin todennettava mitaamalla, että yksittäiset maadoitukset on yhdistetty laajaan maadoitusjärjestelmään. Dokumentoimalla nämä voidaan jälkikäteen tarkastella, että maadoitus on toteutettu suunnitelmien mukaisesti. [2.]

Mittaus

Maadoituksista mitataan sen maadoitusresistanssia, jolla tarkoitetaan sähköistä vastusta. Resistanssi sisältää maadoitusjohtimen sähköisen vastuksen sekä sähköisen vastuksen maadoituselektrodin ja maan neutraalin pisteen välillä, eli pisteen, jossa sähköinen potentiaali on nolla ja joka on maadoitusjärjestelmien ulkopuolella. Maadoitusresistanssin arvo riippuu elektrodin rakenteesta ja maan ominaisresistanssista. [13.]

Mittaus on tehtävä aina silloin, kun maadoitusresistanssille on määrätty suurin sallittu arvo. Maadoitusresistanssin arvon määräävät yleensä maasulkuvirta ja maadoitusjännitteelle sekä sen kestoajalle asetetut raja-arvot. Pienjänniteverkon liittymän maadoituselektrodin resistanssia ei yleensä tarvitse mitata, sillä sille ei ole annettu raja-arvoa standardeissa. [13.]

Tyypillisesti maadoitusresistanssimittauksia joudutaan tekemään seuraavissa kohteissa

- suurjännite-erottimen suojamaadoituksissa
- muuntajan suurjännitepuolen suojamaadoituksissa
- sähköaseman maadoituksissa
- enintään 1kv jakeluverkon maadoituksissa silloin, kun järjestelmä on alttiina yli 1kv jännitteille

Sekä edellä mainittujen järjestelmien yhteisissä maadoituksissa. [13.]

Mitattavat kohteet ja vaatimukset

Yleensä mittaus tehdään laitteiston käyttöönoton yhteydessä sekä määräajoin tehtävissä tarkastuksissa. Poikkeuksena on talviolosuhteet, jolloin mittaus voidaan tehdä myöhemmin, kuitenkin mahdollisimman pian roudan sulamisen jälkeen. Kuitenkin edellytys jakelumuuntajan käyttöönotolle on, että pienjänniteverkon johtohaarojen päiden ja liittymien maadoitukset on pääosin tehty. Poikkeuksena myös maadoitussauvat ja maadoitusteräs, joissa mittaus suositellaan tehtäväksi sauvan asennuksen yhteydessä sekä maadoitusteräs ennen valua,

jotta saadaan varmistettua oikeat mittaustulokset ennen seuraavaan työvaiheeseen siirtymistä. [13.]

Osana laitteiston kunnossapitoa ja huoltoa ovat määrävällein tehtävät maadoitusresistanssien mittaukset. Määrävälit mittaukselle määritellään laitteiston kunnossapito- ja huolto-ohjelmassa, jonka laatii laitteiston haltija. Mittauksen määräväli voi yleensä olla enintään 6–12 vuotta maadoitusjärjestelmän rakenteesta ja luotettavuudesta riippuen. [13.]

Jos useiden laitteiden maadoittamiseen on käytetty samaa elektrodijärjestelmää erillisten maadoitusjohtimien välityksellä, riittää tällöin yhdestä maadoitusjohtimesta tehty maadoitusresistanssin mittaus. Tämä edellyttää sen, että tämän ja muiden maadoitusjohtimien välinen eheys tarkistetaan. [13.]

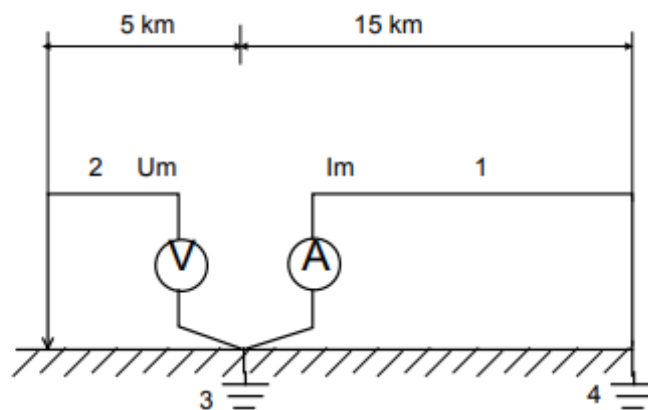
Maaperän ominaisresistanssi vaihtelee riippuen maaperän tyypistä, raekoosta, tiheydestä ja kosteudesta. Arvojen vaihtelua on kuvattu taulukossa 2. Kosteus ja sen muutokset voivat aiheuttaa maaperän ominaisresistanssiin tilapäisiä vaihteluja muutaman metrin syvyyteen saakka. Lisäksi koska maaperä koostuu yleensä erityyppisistä maakerroksista, on otettava huomioon, että maaperän ominaisresistanssi voi vaihdella huomattavasti syvyyden mukaan. [2.]

Taulukko 2. Maan ominaisresistanssin arvoja. (Lähde: ST kortisto 53.22 Maadoitusresistanssin mittaus, sivu 2)

Aine	Keskimääräinen Wm	Vaihteluvälit Wm
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
Järvi- ja jokivesi	250	100–400
Merivesi (Suomenlahti)	2,5	1–5

Mittausmenetelmät

Maadoitusresistanssin mittaamiseen on käytettävissä useita eri menetelmiä. Tavallinen tapa mitata on voltti-ampeerimittarimenetelmä. Menetelmässä mitataan tutkittavan maadoituselektrodin kautta kulkeva mittausvirta sekä sen yli vaikuttava jännite. Menetelmällä pyritään jäljittelemään todellista maasulkutilannetta eli vikatilannetta, joka aiheutuu jännitteisen johtimen kytkeytymisestä maahan tai sen ja maan välisen eristysresistanssin pientymistä alle määrätyn raja-arvon. Mittaus toteutetaan johtamalla virransyöttömuuntajan syöttämä mittausvirta maadoitukseen kaukaa, esimerkiksi avojohtoa myöten. Tällöin virta kulkee kauempana sijaitsevan vastamaadoituselektrodin ja mitattavan maadoituselektrodin kautta. Menetelmän periaate on esitetty kuvassa 21. Maadoitusjännite (U_m) mitataan apuelektrodin ja maadoituksen väliltä. [2,13.]

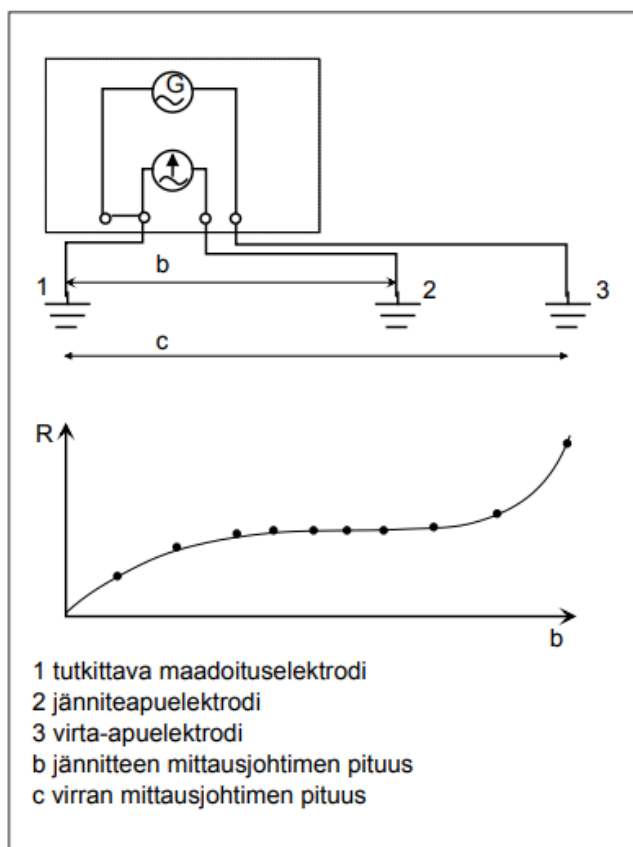


- 1 virransyöttöjohto
- 2 jännitteen mittausjohdin
- 3 käyttömaadoituselektrodi
- 4 vastamaadoituksen elektrodi

Kuva 21. Voltti-ampeerimittarimenetelmän periaatekuva. (Lähde: ST kortisto 53.22 Maadoitusresistanssin mittaus, sivu 3)

Mittauksessa käytettävät apuelektrodit viedään eri puolille mitattavaa maadoitusta ja etäälle toisistaan sekä mitattavasta maadoituselektrodista. Mittauksessa on noudatettava sille asetettuja erityisvaatimuksia, koska virransyöttömuuntajalla voidaan syöttää mittauspiiriin suuria jännitteitä. [13.]

Toinen mittaustapa on käännepistemenetelmä, joka on kuvattuna kuvassa 22. Tässä mitataan suoraan resistanssiarvoja, joista muodostetaan käyrä. Käyrän käännepisteestä saadaan tutkittavan elektrodin tai elektrodijärjestelmän maadoitusresistanssi. Mittaus tehdään maadoitusresistanssin mittalaitteella, joka käyttää kompensatioperiaatetta, eli saadut arvot tasataan. Mittauksessa käytetään mittalaitteen syöttämää vaihtojännitettä, jonka suuruus vaihtelee laitteen valmistajan mukaan 100-500V. Taajuus vaihtelee 70-140Hz. Mittauksessa käytettävät apuelektrodit on sijoitettava mitattavan maadoituksen vaikutusalueen ulkopuolella. Riittävä etäisyys on yleensä 200 m. Apuelektrodit on myös sijoitettava siten, ettei muita maadoituselektrodeja tai metallisia vesijohtoja ole lähitöllä. Jos mitattava maadoitus koostuu useasta osaelektrodista, mittauskohta on valittava mahdollisimman keskeltä järjestelmää. [13.]



Kuva 22. Mittaus käännepistemenetelmällä. (Lähde: ST kortisto 53.22 Maadoitusresistanssin mittaus, sivu 2)

Edellä mainitut mittaustavat soveltuvat huonosti esimerkiksi jakeluverkon maadoituksen mittaukseen pitkien etäisyyksien takia. Tämän takia suoja- tai yleensä PEN-johtimen jatkuvuus on varmistettava paremmin soveltuvin menetelmin, kuten silmukkaimpedanssimittauksella. Tällä menetelmällä mitataan verkkojännitettä käyttäen vaiheen ja suojajohtimen muodostaman piirin silmukkaimpedanssi. Tähän on käytettävä riittävän suurta mittausvirtaa, jotta saadaan riittävä varmuus myös suojajohtimen kunnosta. Jotta mittauksen aikainen mahdollinen kosketusjännite ei aiheuttaisi vaaraa, mitataan useimmissa nykyisissä mittalaitteissa simpukkaimpedanssi kytkemällä mittavastus vaihejohtimen ja suojajohtimen välille korkeintaan muutamaksi kymmeneksi millisekunniksi. Jos ei voida olla varmoja mittausjännitteen turvallisuudesta, ei tätä menetelmää tule käyttää. Tämä tilanne voi olla esimerkiksi vanhempien mittalaitteiden kohdalla. [4.]

Mittausmenetelmien vertailu ja valinta

Mittausmenetelmän valinnassa pitää ottaa huomioon elektrodijärjestelmän laajuus ja muoto, maaperä ja mittauksen tarkoitus. Käyttöönottotarkastuksessa tehty mittaus on tehtävä mahdollisimman luotettavalla mittausmenetelmällä. Mitä lähempänä maadoitusresistanssin sallittua rajaa ollaan, sitä tarkempi mittauksen on oltava. [13.]

Mitattaessa yksittäisiä maadoituselektrodeja sekä pieniä tai keskikokoisia maadoitusjärjestelmiä, voidaan käyttää käännepistemenetelmää. Esimerkkikohteita ovat muun muassa sauvaelektrodin ja vaakaelektrodin mittaukset sekä keskijänniteverkon ja erillisten pienjänniteverkon maadoitusjärjestelmän mittaukset. Menetelmään ei yleensä tarvita erikoiskytkentöjä tai käyttökeskeytyksiä, joka helpottaa mittauksia. Menetelmän haittapuolena on, ettei kaikkia virhetekijöitä pystytä aina poistamaan, jolloin mitattu resistanssi saattaa poiketa huomattavasti todellisesta resistanssista. Yleensä mittauksen poikkeama on kuitenkin turvalliseen suuntaan, eli saadaan suurempi arvo kuin voltti-ampeerimittarimenetelmällä mitattu. Toinen käännepistemenetelmän ongelmana on mittauksessa käytettävät pitkätköt mittajohtimet. [13, 2.]

Menetelmällä, joka vastaa parhaiten todellista maasulkutilannetta, saadaan kaikkein tarkimmat arvot. Tällainen menetelmä on esimerkiksi voltti-ampeerimitarimenetelmä. Menetelmää käytetään erityisesti mittaamaan suurien maadoitusjärjestelmien sekä kantaverkon maadoitusimpedanssia ja yleensä myös silloin, kun pitää saada mitattua erittäin pieniä maadoitusresistanssin arvoja tarkkoina lukuina. Menetelmä vaatii erikoiskaluston, pitkät mittausjohdot ja usein käyttökeskeytyksiä keskijänniteverkossa. [13, 2.]

3 Case Kruunusillat allianssi (KSA)

3.1 Kohteen yleisesittely

Kruunusillat allianssi on mukana rakentamassa Kruunusillat-raitiotietä, joka yhdistää Laajasalon, Korkeasaaren ja Kalasataman Hakaniemeen vuonna 2027. Yhteyden rakentamisen toteuttaa Kruunusillat allianssi pois lukien Kruunuvuorensillan, Finkensillan sekä Korkeasaaren maarakentamisen, jonka toteuttaa kokonaisurakkana YIT Suomi Oy ja Kreate Oy. Allianssiin sisältyy uuden raitiotien rakentamisen lisäksi maarakennus-, kadunrakennus- ja kunnallisteknisiä töitä sekä kahden sillan rakennus, Hakaniemensilta ja Merihaansilta. [14.]

Kruunusillat-allianssin osapuolet ovat Helsingin kaupunki, Kaupunkiliikenne Oy, YIT Suomi Oy, NRC Group Finland Oy, Ramboll Finland Oy, Sweco Finland Oy ja Sitowise Oy. [14.]

Kruunusillat-raitiotien tavoitteena on järjestää sujuva ja luotettava joukkoliikenneyhteys kasvavalle Laajasalolle keskustaan. Yhteys varmistaa sen, että Laajasalon liikenne toimii, vaikka asukasmäärä noin kaksinkertaistuu. Yhteys parantaa myös liikenneyhteyksiä Kalasataman eteläosaan sekä Korkeasaareen. Yhteyden reitti on esitelty kuvassa 23. [14.]

Rakentamispäätös hankkeesta teki Helsingin kaupunginvaltuusto elokuussa 2016. Rakentaminen aloitettiin syksyllä 2021. Raitiotien liikennöinti on suunniteltu alkavaksi vuonna 2027. [14.]

Tämän työn case projektina on Kruunusillat allianssin Hakaniemen osaprojekti. Hakaniemen osaprojektiin kuuluu Helsingin Hakaniemi sekä Kruunuhaka. Osaprojektissa rakennetaan uutta kunnallistekniikkaa, Hakaniemen-, Merihaan- ja Näkinsilta, raitiotie sekä katujen perustuksia varten laaja paalulaatta. [14.]



Kuva 23. Kruunusillat-raitiotien reitti. Rajattuna Hakaniemen osaprojektin alue. (Lähde: Kruunusillat verkkosivu. <https://www.kruunusillat.fi> luettu 27.3.2023)

3.2 Suunnittelu

Raitiotie

Kruunusillat-hankkeen sähköjärjestelmä suunnitellaan ja rakennetaan EN50122-standardin mukaisena maasta erotettuna tasasähköjärjestelmänä. Raitiotien maadoitusjärjestelmä ja hajavirtojen hallinta sekä ratajohdon sähköturvallisuus on huomioitava ja yhteensovitettava suunnittelun, rakentamisen ja kunnossapidon kaikissa vaiheissa. Hankkeelle on tehty oma maadoitus- ja sähköturvallisuusohje, jossa käsitellään raitiotiehen liittyvien maadoitusten suunnittelu ja toteutusta. [8.]

Raitiotielle suunnitellaan ja rakennetaan oma maadoitusjärjestelmä. Maadoituksen suunnittelussa ja rakentamisessa on huomioitava kaikki raitiotien

läheisyydessä olevat sähköjärjestelmät, verkkoyhtiön laaja maadoitusverkko sekä kaikki sähköä johtavat rakenteet. [8.]

Kruunusillat-allianssin linjaraiteen ajokiskot eristetään Kaupunkiliikenne Oy:n linjaraiteen kiskoista kiskoeristysjaksolla Hakaniemessä, sillä kantakaupungin raitiotieverkoston paluuvirtapiiriä ei ole erotettu maasta. [8.]

Raitiotien maadoitettaviksi rakenteiksi määritellään seuraavat rakenteet ja kohteet:

- VATU:n sisällä kokonaan tai osittain olevat sähköä johtavat rakenteet
- Pysäkkialueella olevat sähköä johtavat rakenteet. [8.]

Ei-maadoitettaviksi rakenteiksi määritellään seuraavat:

- VATU:n ulkopuolella kokonaisuudessaan olevat rakenteet
- Kokonaan maan alla olevat rakenteet
- VATU:n sisällä kokonaan tai osittain olevat rakenteet seuraavissa tapauksissa
 - pienet johtavat rakenteet, mikäli niissä ei ole suojamaadoitettuja laitteita kuten:
 - yhteiskäyttöpylväs
 - puunsuoja
 - kaivonkansi
 - aitapylväiden väliset aitaelementit, mikäli niitä ei ole eristetty maadoitetuista aitapylväistä
 - ratasähköstä eristetyt ylikulkusillat
 - sillat ja portaalit, mikäli eristetty ratasähköstä. [8.]

Raitiotien vaaraulottuman sisäpuolella olevia pieniä sähköä johtavia rakenteita ei tarvitse suojamaadoittaa tai eristää, jos kaikki seuraavat ehdot täyttyvät:

- Kappalekoko
 - johtavan rakenteen sähköinen kokonaispituus radansuuntaisesti on < 15 m
 - johtavan rakenteen sähköinen kokonaispituus radan poikkisuuntaisesti < 2 m
- rakenne on erotettu muista johtavista rakenteista
- rakenteessa ei ole kaksoiseristämättömiä sähköjärjestelmiä tai johtavia putkistoja
- rakenne ei sijaitse pysäkkialueella. [8.]

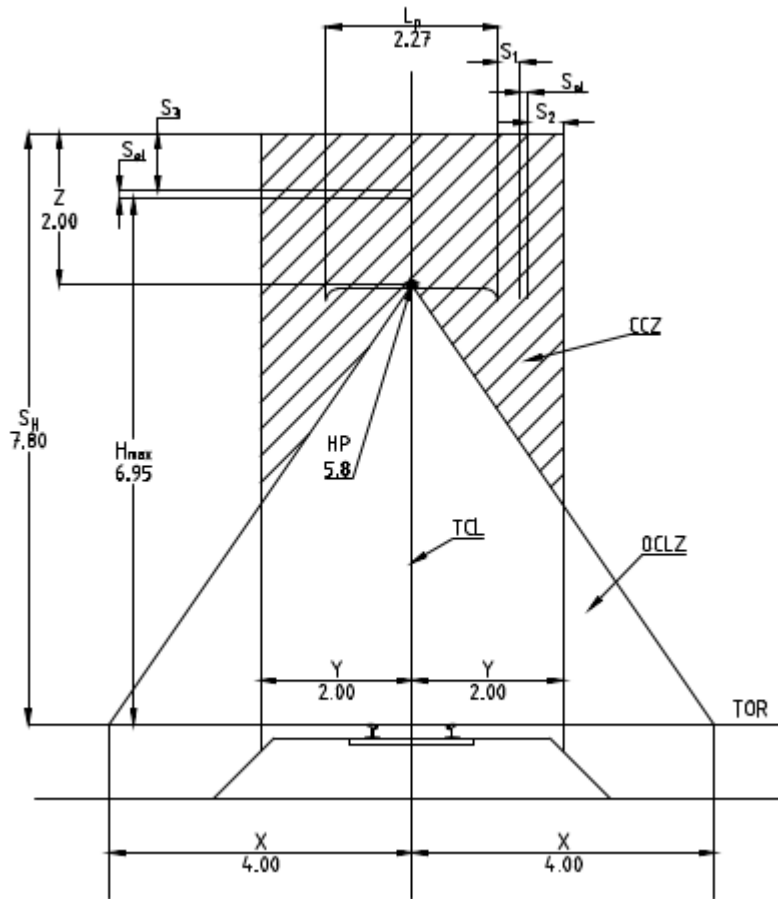
Ensisijaisesti pienillä kappaleilla tarkoitetaan liikennemerkkejä, aitoja, yksittäisiä pylväitä, kaivonkansia, kasvualustoja tai näihin rinnastettavia rakenteita. [8.]

Raitiotien vaaraulottuma

VATU ja VIVA muodostavat raitiotien vaaraulottuman, joka on raiteen poikkileikkaus, jonka sisäpuolella olevat sähköä johtavat rakenteet voivat tulla jännitteiksi ratajohdon tai virroittimen vaurioitaneissa. [8.]

VATU eli ratajohdon vaaraulottuma, on alue, jonka sisäpuolella ajojohdon katkeaminen tai virroittimen vaurioituminen aiheuttaa sähköiskun vaaran. VIVA eli virroittimen vaara-alue, on alue, jonka sisäpuolella virroittimen vaurioituminen aiheuttaa sähköiskun vaaran. Kuva 24 havainnollistaa VATU-alueen ulottumaa. [8.]

Vaaran poistamiseksi ja vaurion havaitsemiseksi VATU ja VIVA -alueilla olevat sähköä johtavat rakenteet on suojamaadoitettava VLD-F-laitteen kautta raitiotien paluuvirtakiskoon. Vaaran poistamiseksi voidaan käyttää myös jännitteelle alltiin kohteen eristämistä. [8.]



Kuva 24. Raitiotien VATU ja VIVA -alue. VATU-alue vaalealla ja VIVA viivoitettu alue (Lähde: Tyyppipiirustus Ajojohtimen ja virroittimen vaara-alue. 2022. Kruunusillat allianssi.)

Järjestelmien ja rakenteiden sijoittaminen ja vaatimukset

Raitiotien vaaraulottuman sisäpuolelle tai pysäkkialueelle ei lähtökohtaisesti tule sijoittaa raitiotiejärjestelmän ulkopuolisia sähkölaitteita, -järjestelmiä tai sähkölaitoksen jakeluverkosta syötettyjä laitekaappeja eikä näiden maadoituksia. Alueella olemassa olevat laitekaapit on siirrettävä vaaraulottuman ulkopuolelle. [8.]

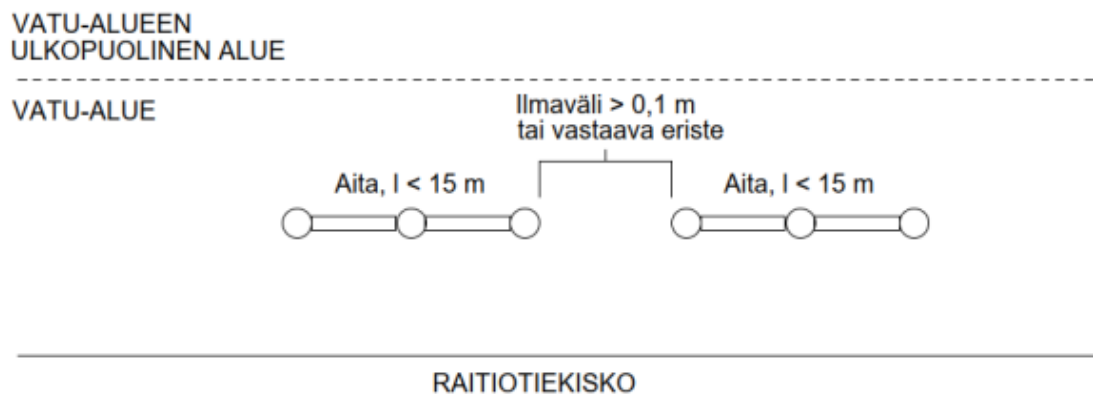
Järjestelmät ja rakenteet, jotka ovat kokonaan tai osittain vaaraulottuman sisäpuolella suunnitellaan ja rakennetaan kaksoiseristettynä rakenteena. Jos laitekaappia ei voida kaksoiseristää eikä sen ulkokuori ole eristeaineinen, on järjestelmä suunniteltava ja rakennettava käyttäen suojaustapana erotusmuuntajaa ja

laitekaapin runko on suojamaadoitettava VLD-F-laitteen kautta paluuvirtapiiriin. Syöttävän verkon maadoitus viedään tällöin vähintään 2,5 m etäisyydelle sekä raitiotien vaaraulottuman alueen rajasta että ratamaahan maadoitetuista rakenteista. [8.]

Aita- ja kaiderakenteet

Vaaraulottumassa sijaitsevat aita- ja kaiderakenteet on suojamaadoitettava, ellei ne täytä pienen kappaleen vaatimuksia. Tällaisen rakenteen on kuitenkin oltava sähköisesti erotettu viereisestä rakenteesta. Rakenteet katsotaan sähköisesti erotetuksi, kun seuraavat ehdot täyttyvät. [8.]

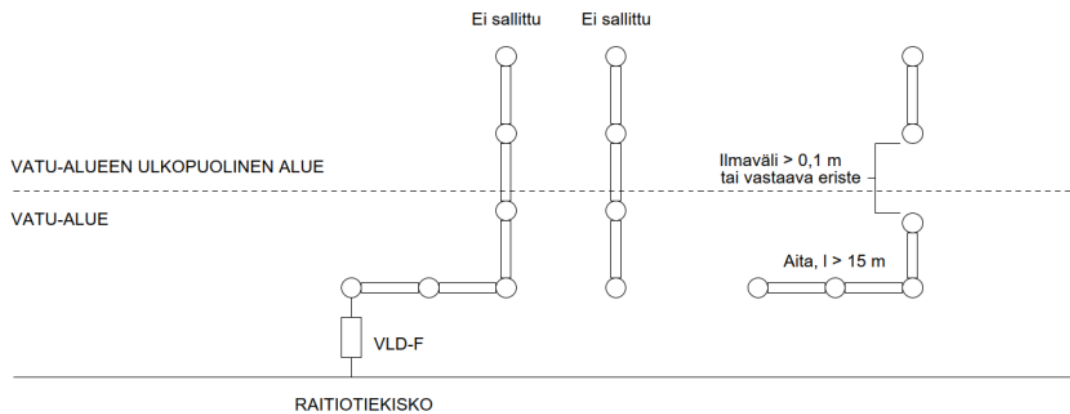
- Rakenteiden välissä on 0,1 m ilmaväli tai sitä vastaava sähköinen eristys, ks. kuva 25.
- Rakenteiden perustusten on oltava 0,5 m erillään toisistaan. Mikäli etäisyys on tätä pienempi, on perustusten väliin laitettava esimerkiksi bitumieristys.
- Maassa olevien eri järjestelmien elektrodien on oltava 2,5 m etäisyydellä toisistaan. [8.]



Kuva 25. Aita- tai kaiderakenteen toteutus VATU-alueella ilmavälillä. (Lähde: Maadoitus- ja sähköturvallisuusohje. 2023. Kruunusillat allianssi)

VATU-alueella sijaitseva käsijohde on suojamaadoitettava VLD-F-laitteen kautta joko suoraan tai esimerkiksi tukimuurin suojamaadoituksen kautta kiskoon. Käsijohde voi olla maalattu. [8.]

Raitiotien vaaraulottuman rajan ylittävät sähköisesti yhtenäiset aidat on sähköisesti katkaistava vaaraulottuman rajalla, jottei vaarajännitteitä siirtyisi VATU-alueen ulkopuolelle VLD-laitteen vikatilanteessa. Katkaisu voi toteuttaa ilmavälillä, joka on vähintään 0,1 m tai käyttämällä vastaavaa eristettä. Kuvassa 26 on esitetty kaksi ei sallittua toteutustapaa sekä sallittu toteutustapa. [8.]



Kuva 26. Vaaraulottuman rajan ylittävät aidat. (Lähde: Maadoitus- ja sähköturvallisuusohje. 2023. Kruunusillat allianssi)

Kuitubetonirakenteet

Teräsverkottomaan kuitubetonirakenteeseen ei tarvitse sähköturvallisuusmielessä rakentaa yhtenäistä maadoitettua teräsraudoitusta, sillä se ei ole sähköä johtava rakenne eikä siinä juurikaan kulje hajavirtoja, sillä kuitubetonirakenteessa ei ole yhtenäistä johtavaa metallirakennetta. [8.]

Mahdollisten saumojen liityntäraudoitus on kuitubetonirakenteessa pituudeltaan lyhyt, joten raudoituksessa esiintyvä hajavirran synnyttämä potentiaaliero maahan nähden jää normaalisti alle 200 mV. [8.]

Raitiotien laattarakenteen pintavalun materiaalina käytetään muovikuitubetonia ja pohjavalussa voi käyttää teräskuitubetonia. [8.]

Portaalirakenteet

Portaalirakenteiden suojamaadoitustarve tarkastellaan aina tapauskohtaisesti. Tarkastelussa on varmistettava, että portaalirakenne ei levitä vaarajännitettä muihin rakenteisiin tai järjestelmiin. [8.]

Pylväät

Yksittäisiä vaaralottoman sisäpuolella osittain tai kokonaan olevia pylväitä, jotka täyttävät pienen johtavan rakenteen määritelmän ei tarvitse suojamaadoittaa. Suojamaadoitusta käytettäessä on varmistettava, että maadoitettu pylväs ei levitä vaarajännitettä muihin rakenteisiin tai järjestelmiin. Syöttöpylväät on maadoitettava ja maadoitus on toteutettava omalla maadoituselektrodilla. [8.]

Syöttö- ja paluuvirtakaapit sekä syöttöpylväät

Syöttö- ja paluuvirtakaapit sekä syöttöpylväät ovat yhteydessä ratamaahan, joten etäisyys verkkomaahan yhdistettyihin kaappeihin sekä niiden elektrodeihin on oltava vähintään 2,5 m. Sama etäisyysvaatimus on myös sähkönsyöttöasemaan. [8.]

Raitiotiejärjestelmän ulkopuoliset järjestelmät

Raitiotien ja ulkopuolisen jakeluverkon maadoitusjärjestelmään liitettyjen sähköä johtavien rakenteiden yhtäaikainen koskettaminen on estettävä. Jos koskettamista ei ole muutoin estetty, on rakenteiden välillä oltava vähintään 2,5 m kosketusetäisyys. Vaatimus koskee kaikkia rakenteita, jotka on liitetty maadoitusjärjestelmiin. Riskit mikäli järjestelmät sijoitetaan liian lähelle toisiaan, on hajavirtojen leviäminen ja kosketusjännite eri järjestelmien välillä. [8.]

Liikennevalokeskus

Järjestelmän maadoitusten suunnittelun vaatimukset tulevat standardeista SFS 6000, joka käsittelee pienjännitesähköasennuksia sekä SFS-EN 50556 joka käsittelee tieliikennemerkkijärjestelmiä. [18.]

Ulkovalaistus

Raitiotien läheisyydessä ulkovalaistuksen jalustan ja keskuksen maadoitukset toteutetaan tilaajan ohjeiden mukaisesti. Jos tilaajakohtaisia ohjeita ei ole, sovelletaan Väyläviraston ohjeita Rautatiealueelle tulevien kiinteiden laitteiden ja rakenteiden maadoitussuunnittelu ja Laitetilojen ja valaisimien maadoittaminen. [7.]

Bussipysäkki

Pysäkin maadoitus liitetään Helsingin kaupungin ulkovalaistusverkkoon, jolloin on noudatettava Helsingin kaupungin ulkovalaistuverkkoon liitettävien laitteiden maadoitus- ja syöttöperiaatetta. [15.]

Teräsbetonirakenteet

Teräsbetonirakenteet ovat sähköä johtavia rakenteita. Sähköturvallisuuden kannalta teräsbetonirakenteita ei tarvitse suojamaadoittaa, jos ne eivät ole koskettavissa, kuten esimerkiksi paalulaatat yleensä. Koskettavissa olevan rakenteen suojamaadoitusta varten betoniin tehdään suojamaadoitusverkko, jonka johtavuus pitää vastata vähintään 800 mm² teräksen johtavuutta. Teräsbetonisia rakenteita, jotka on maadoitettava hankkeella ovat sillat ja tukimuurit. [8.]

Sillat

Kaikkien siltojen maadoitustarve ja -ratkaisu pitää suunnitella kohdekohtaisesti. Rata- ja alikulkusiltojen osalta kiinteiden tukipilareiden raudoitusta ei tarvitse liittää teräsbetonirakenteen suojamaadoitusteräksiin. Ei-kiinteät rakenteet, kuten

sillan maatumien laakerit pitää yhdistää johtavuudeltaan vähintään 95 mm² kuparijohtimella. [8.]

Ylikulkusiltojen rakenteet, jotka ovat ratajohdon vaaraulottuman alueella, suojataan eristämällä standardin SFS-EN 50122 raitiotien asennukset vaatimuksien mukaisesti. Siltarakenne voidaan myös suojamaadoittaa teräsbetonirakenteen periaatteiden mukaisesti, mutta tässä yhteydessä pitää varmistaa, että maadoitusrakenne ei johda vaarajännitettä laajalle alueelle. [8.]

Olemassa olevat sillat suojataan eristämällä aina kun mahdollista. Muutoin sillasta eristetty johtavaa materiaalia oleva suojarakenne maadoitetaan VLD:n kautta paluuvirtakiskoon. Ylikulkusiltojen suojamaadoituksen ja eristeen suunnittelussa pitää huomioida sillan kosketussuojarakenteet. [8.]

Merihaan sähkönsyöttöasema

Sähkönsyöttöasemien maadoitus suunnitellaan aina tapauskohtaisesti. Haasteltaessa Merihaan sähkönsyöttöaseman suunnittelijaa, kertoi hän suunnittelun prosessin alkavan siitä, että standardit ja määräykset on oltava tiedossa. Tämän jälkeen suunnittelu aloitetaan sähkönsyöttöaseman pohjasta. Perustuksen alle tai ympärille on suunniteltava kuparielektrodi, jonka pituus ei saa ylittää 50 m. Pituus liittyy ukkossuojaukseen maadoitussauvoilla. Jos pituus ylittäisi 50 m pituuden, tällöin salaman kokema maadoitusvastusarvo ei ala alenemaan heti samalla tavalla, kuin jos matka olisi lyhyempi. Tällöin suojattava laite näkee suuremman jännitteen, eikä välttämättä kestä sitä rikkoutumatta. [8, 16.]

Koska Helsingin maaperä on kallioista ja huonosti johtavaa, on maadoitusjohdon lisäksi asennettava maadoitussauvoja rakennuksen jokaiseen nurkkaan. Jos tarvittava maadoitusresistanssia ei saavutettaisi näillä, olisi sauvojen määrää lisättävä tai sauvat porattava kallioon täyteaineen kanssa. Tavoiteltu maadoitusresistanssin arvo sähkönsyöttöasemalle on 10Ω. [16.]

3.3 Maadoituskohteet

Hankkeella on laajasti erilaisia maadoituskohteita. Karkeasti kohteet voidaan jakaa raitiotiehen kuuluviin tai sen ulkopuolella oleviin maadoituksiin. Maadoitusten toteutus on raitiotien kohteissa erilainen kuin sen ulkopuolella olevissa, sillä raitiotien sähkölaitteet ovat yhdistettynä sähköverkkoon muuntajan kautta. Tästä syystä raitiotien maadoitukset eivät ole yhteydessä maahan, vaan ne maadoitetaan ratasähkön paluuvirtatiehen VLD-F-laitteeseen kautta. [8.]

Työssä kohteet jaetaan raitiotien maadoituksiin sekä sähköverkon maadoituksiin, jotka näkyvät taulukossa 3.

Taulukko 3. Raitiotien ja sähköverkon maadoitettavat kohteet.

Raitiotien maadoituskohteet
<ul style="list-style-type: none"> • Pysäkkialue • Pysäkkikeskus • Vaihteenohjauksen syöttöpylväs • Kiintolaatta
Sähköverkon maadoitukset
<ul style="list-style-type: none"> • Yhteiskäyttökaivo • Ulkovalaistuksen jalusta • Poliisikamera • Linja-autopysäkki • MEH-syöttöpylväs • Keskukset <ul style="list-style-type: none"> • Vaihteenlämmitys- ja vaihteenohjauskeskus • Liikennevalokeskus • Ulkovalaistuskeskus • Pienjännitekeskus • Saattolämpökeskus • Teräsbetonirakenteet <ul style="list-style-type: none"> • Tukimuuri • Aidat ja vastaavat pulttikiinnitteiset rakenteet teräsbetonirakenteissa • Näkinsillan pumppaamo • Mittauskaivo • Hakaniemensilta • Merihaansilta

3.3.1 Raitiotien maadoitukset

Raitiotien maadoitettavat kohteet on koottu maadoitusluetteloon, jossa on eriteltyinä raitiotiepysäkin, syöttöpylväiden, muiden maanpäällisten rakenteiden sekä kisko- ja raideyhdistyksien rakenteet. Listasta on helppo tarkastella maadoitettavat ja eristettävät rakenteet. Ratkaisuille on annettu perusteet ja tarvittaessa kommentoitu lisää. Listasta voi tarkistaa myös mihin VLD-laitteeseen kohde maadoitetaan, millaisella kaapelilla kohde maadoitetaan sekä arvioitu pituus maadoituskaapelille ja kaapelinsuojaputkelle. [8.]

Maadoitettavat rakenteet maadoitetaan ratakiskoon eli ratasähkön paluuvirtatiehen yleisesti joko $1 \times 95 \text{ mm}^2$ tai $2 \times 50 \text{ mm}^2$ eristetyllä kuparikaapelilla VLD-F-laitteen kautta. Jos rakenne ei ole kaksoiseristetty, tehdään yhdistys $1 \times 6 \text{ mm}^2$ eristetyllä kuparikaapelilla. Maadoitettavan rakenteen pituuden lähennellessä rakenteiden maksimipituutta, voidaan käyttää esimerkiksi $2 \times 95 \text{ mm}^2$ kaapelointia, jolloin päästään laskennallisesti hyväksyttävään lopputulokseen. [8.]

Pysäkkialue

Pysäkin maadoitus toteutetaan pysäkin kaapelikaivon potentiaalintauskiskolta maadoituselektrodina eristämättömällä 16 mm^2 kuparikaapelilla 25 m. Maadoitus voidaan asettaa esimerkiksi VATU-alueella pysäkin putkireittien kaivantoon tai pysäkkikatoksen pohjalaatan ympärille. [8.]

Pysäkkialueen maadoitettavia kohteita ovat kaikki metalliset ja sähköä johtavat rakenteet. Tällaisia ovat muun muassa kaide, katos, roskakori, pylväät, pysäkki- ja orsinäyttö sekä portaali. Maadoitettavat kohteet suojamaadoitetaan lähtökohdaisesti pysäkkialueen suojamaadoituskiskoon kuparikaapelilla, joka kytketään VLD-F-laitteen kautta raitiotien paluuvirtapiiriin. [8.]

Ensisijaisesti kaikki pysäkkilaitteet/ -asennukset on oltava kaksoiseristettyjä. Näissä yhdistys toteutetaan eristetyllä 95 mm^2 kuparijohtimella. Jos laite ei ole kaksoiseristetty, kuten pysäkinäytöt, on yhdistys toteutettava eristetyllä 6 mm^2 kuparijohtimella. Maadoitusjohtimet asennetaan kaapelinsuojaputkeen (MP50 B-

luokka). Maadoitusten reitit sekä käytettävät johtimet sekä niiden pituudet näkyvät Maadoitus- ja paluuvirtatiesuunnitelmasta. [8.]

Pysäkkikeskus

Pysäkkikeskuksen maadoituksessa on kaksi eri toteutustapaa riippuen, sijaitseeko keskus VATU-alueella vai sen ulkopuolella. Kummassakin tapauksessa maadoitukset toteutetaan kaapilta kahteen eri suuntaan, sähkölaitoksen maahan, joka on raitiotien ulkopuoliseen maahan ja toinen ratamaahan, eli raitiotien sisäpuoliseen maahan. [17, 18.]

Pysäkkikeskus VATU-alueen ulkopuolella

Pysäkkikeskukselta kulkee maadoitukset keskuksen molemmilta puolilta, kaksi ratamaahan suojaputkessa ja yksi sähkölaitoksen maahan paljaana kuparina. [17.]

Sähköverkon maa (raitiotien ulkopuolinen maa)

Sähkölaitoksen maahan asennetaan sähkölaitoksen maan maadoituselektrodina eristämätön kuparijohdin 16 mm² 25 m. Maadoituksen voi asentaa esimerkiksi sähkölaitoksen syöttökaapelin kaivantoon. Maadoituksen on kuljettava vähintään 2,5 m etäisyydellä ratamaasta ja kaikista ratamaahan maadoitetuista rakenteista. [17.]

Ratamaa (raitiotiealueen sisäpuolinen maa)

Ratamaahan asennetaan kaksi maadoitusta, jotka kulkevat kaapelinsuojaputkissa. Toinen maadoituksista yhdistyy VLD-F-laitteelle, jonka toteutus tehdään eristetyllä 95 mm² kuparijohtimella. Toinen maadoituksista toimii pysäkkikeskuksen maadoituksen yhdysjohtona, joka toteutetaan eristetyllä 16 mm² kuparijohtimella yhdistettynä pysäkin kaapelikaivon potentiaalintasauskiskoon. Maadoitus on oltava eristettynä vähintään 2,5 m etäisyydelle sähköverkon maan maadoituselektrodista ja sähkökeskuksen rungosta. [17.]

Pysäkkikeskus VATU-alueella

Pysäkkikeskuksesta kulkee maadoituksia keskuksen molemmilta puolilta, kaksi ratamaahan joista toinen suojaputkessa ja toinen paljaana sekä yksi sähköverkon maahan osittain suojaputkessa ja osittain eristämättömänä. [18.]

Sähköverkon maa (raitiotien ulkopuolinen maa)

Sähköverkon maahan asennetaan sähkölaitoksen maan maadoituksen yhdysjohto, joka toteutetaan 16 mm² kuparijohtimella putkituksessa vähintään 2,5 m päähän eristettynä ratamaan maadoituselektrodista ja radan maadoituksista. Kaapelia jatketaan eristämättömällä 16 mm² maadoitusjohtimella 25 m esimerkiksi sähkölaitoksen syöttökaapelin kaivantoon. [18.]

Ratamaa (raitiotiealueen sisäpuolinen maa)

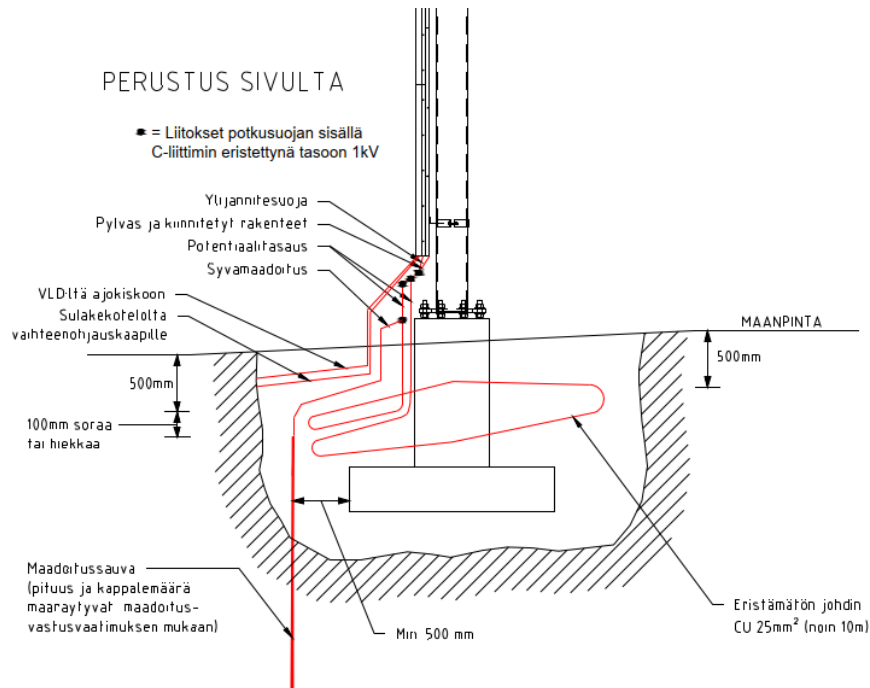
Ratamaahan asennetaan kaksi maadoitusta, joista toinen kulkee kaapelinsuojaputkessa ja toinen eristämättömänä. Suojaputkessa kulkeva maadoitus yhdistyy VLD-F laitteelle, jonka toteutus tehdään eristetyllä 95 mm² kuparijohtimella. Eristämätön maadoitusjohdin toteutetaan 16 mm² kuparijohtimella 25 m esimerkiksi raitiotien pysäkin putkireitin kaivantoon. Maadoitus on asennettava vähintään 2,5 m etäisyydellä sähkölaitoksen maasta ja kaikista sähkölaitoksen maahan maadoitetuista rakenteista. [18.]

VLD-F:n liittäminen

VLD-F liitetään paluuvirtakiskoon 95 mm² tai vaihtoehtoisesti 2x50 mm² eristetyllä kuparijohtimella. VLD-F-laitteeseen voidaan liittää useita suojamaadoitettavia rakenteita käyttäen 95 mm² tai vaihtoehtoisesti 2x50 mm² eristettyä kuparijohdinta. Lähtökohtaisesti laitteeseen voidaan kytkeä suojamaadoitettavia kohteita 125 m etäisyydellä. Vikapaikan ja kiskoliitoksen välinen virtatien pituus ei saa ylittää 150 m. [8.]

Vaihteenohjauksen syöttöpylväs

Syöttöpylvään maadoituksen toteutus tehdään KSA:lla eristetyllä ja eristämättömällä kuparijohtimella sekä maadoitussauvalla. Tyypik kuva maadoituksesta on esitettyä kuvassa 27. [19.]



Kuva 27. Vaihteenohjauksen syöttöpylvään maadoitus perustuksen sivulta. (Lähde: Tyypik kuva Vaihteenohjauksen syöttö- ja erotinpylvään maadoitusperiaate. 2022. Kruunusillat allianssi)

Erikoistapauksissa, jos maapohja ei ole soveltuva sauvojen asentamiseen, voidaan tehdä poikkeava toteutus kuten esimerkiksi käyttäen maadoituksen apuna porapaaluperustuksia. Tärkeintä toteutuksessa on huomioitava, että maadoitusvaatimukset täyttyvät sähköisesti, eli saadaan maadoituksen resistanssin arvoksi alle 100Ω. Toteutus on kuitenkin suunniteltava aina tapauskohtaisesti. [20.]

Vaakaelektrodi

Vaakaelektrodina käytetään 25 mm² eristämätöntä kuparijohdinta, jonka pituus on noin 10 m. Elektrodi kiepautetaan jalustan ympärille ja johtimen molemmat päät tuodaan jalustan pylväälle. Johdin asennetaan vähintään 0,7 m maanpinnan alapuolelle. [19.]

Maadoitussauva

Maadoitussauvan pituus ja kappalemäärä määräytyvät maadoitusvastuksen mukaan. Jos yhdellä sauvalla saavutetaan vaadittu maadoitusvastus (100Ω), ei enempää sauvoja tarvitse asentaa. [19.]

Sauvan voi asentaa jalustan ympärille asennushetkellä sopivimpaan kohtaan. Sauva asennetaan vähintään 500 mm päähän syöttöpylvään jalustasta, kunhan ei kadun alle. Sauva lyödään maahan niin, että sen pää on 0,6 m maanpinnan alapuolelle. Sauvan päässä olevaan liitospisteeseen yhdistetään maadoituselektrodi, joka tuodaan pylväälle ja yhdistetään jalustaa ympäröivään maadoituselektrodiin c-liittimellä. [19.]

Perustukselta asennetaan myös eristetty 95 mm² kuparijohdin kaapelinsuojaputkessa, joka liitetään radan VLD-F-laitteeseen. [19.]

Kiintolaatta

Suojamaadoituksessa voidaan käyttää laatan toimivia teräksiä, jos rakennesuunnittelu sen sallii. Suojamaadoitusverkko koostuu pitkittäisistä ja poikittaisista teräksistä, joiden yhdistysten väli saa olla maksimissaan 50 m ja rakenteen molemmissa päissä. Teräsbetonirakenteen pintaan tehdään maadoitusliittimet tai -korvakkeet, joiden avulla suojamaadoitusteräksset voidaan liittää maadoitusjärjestelmään. Maadoitusliittimet ja -korvakkeet pitää olla ruostumatonta terästä. [8.]

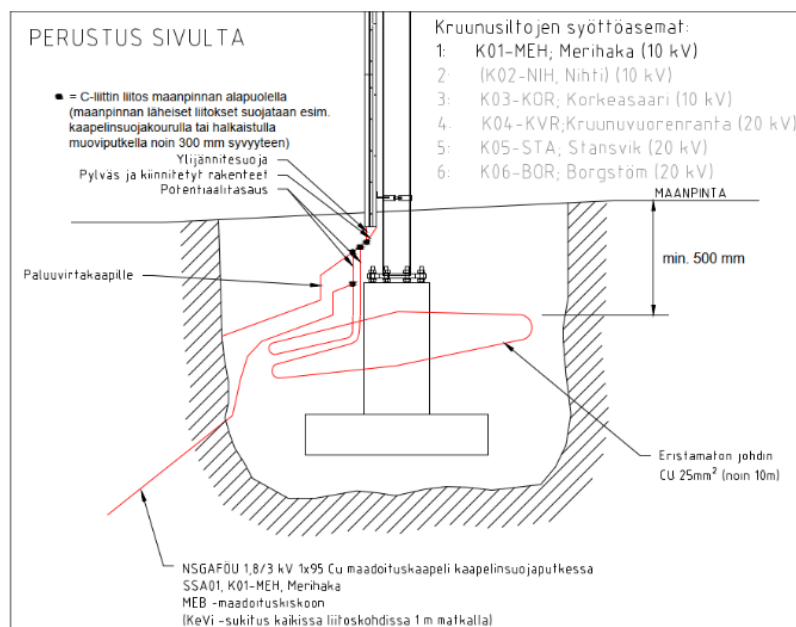
3.3.2 Sähköverkon maadoitukset

Yhteiskäyttökaivo

Yhteiskäyttökaivojen asennuksen yhteydessä kaivoihin asennetaan eristämätön 16 mm² kuparijohdin. Johtimen kokonaispituus on 25 m joista 20 m asennetaan kaivolle tulevien kaapelien kaivannon pohjalle ja loput 5 m jätetään kaivon sisälle. Kaivon sisälle tulevaan 5 m johtimeen teleoperaattorit voivat tarvittaessa yhdistää kaapeleitaan. Läpivienti kaivoon johtimelle kulkee suojaputkille porattujen reikien alareunasta. Mikäli erillistä kaapelikaivantoa ei tehdä kaivon asennuksen yhteydessä, kaivetaan erikseen vaadittava vaakamaadoitus tai asennetaan kaivoon vaatimusten mukainen pystyamaadoitus. [21.]

MEH syöttöpylväs (VATU-alueen ulkopuolella)

Syöttöpylväältä lähtee kaksi eristettyä 95 mm² johdinta sekä yksi eristämätön 25 mm² kuparijohdin. Tyypikuva maadoituksien toteutuksesta on esitettyä kuvassa 28. [22.]



Kuva 28. MEH-syöttöpylvään maadoituksen toteutus perustan sivulta. (Lähde: Tyypikuva MEH syöttö- ja erotinpylvään maadoitusperiaate. 2022. Kruunusillat allianssi.)

Eristämätön 25 mm² kuparijohdin asennetaan jalustan ympärille noin 10 m lenkinä. Johdin kiepautetaan jalustan ympärille ja johtimen molemmat päät tuodaan jalustan pylväälle. Johdin asennetaan vähintään 0,7 m maanpinnan alapuolelle. Kuparin molemmat päät liitetään pylvästä tulevaan potentiaalintasausjohtoon c-liittimellä. Liitos on oltava maanpinnan alapuolella. [22.]

Eristetyistä 95 mm² johtimista toinen viedään paluuvirtakaapille ja toinen Merihaan sähkönsyöttöasemalle. Molemmat asennetaan kulkemaan kaapelinsuojaputkessa. Johtimet liitetään jalustan maadoituskupariin c-liittimellä. Sähkönsyöttöasemalle menevän johtimeen tehdään johtimen sukitus kaikissa liitoskohdissa 1 m matkalla. [22.]

Maanpinnan läheiset c-liitokset on suojattava esimerkiksi kaapelinsuojakourulla tai halkaistulla muoviputkella noin 300 mm syvyydessä. [22.]

Liikennevalokeskus

VATU-alueen ulkopuolella

Maadoitus asennetaan vähintään 0,7 m maanpinnasta keskuksen kaapelikaivantoon eristämättömällä 16 mm² kuparijohtimella 25 m. Johtimen toinen pää tuodaan ylös keskukselle ja toinen pää jää maahan. [23.]

VATU-alueella

Maadoitus on vietävä VATU-alueen ulkopuolelle eristetyesti vähintään 2,5 m päähän alueen rajasta. Eristys tehdään muoviputkella, jonka sisällä kuparina käytetään eristettyä 16 mm² kuparijohdinta. VATU-alueen ulkopuolelta maadoitusta jatketaan eristämättömällä 16 mm² kuparijohtimella 25 m. Keskukselta lähtevä johtimen pää jätetään keskukselle niin, että se saadaan asennettua kaappiin. [23.]

Vaihteenlämmitys- ja vaihteenohjauskeskus

Maadoitus asennetaan vähintään 0,7 m maanpinnasta keskuksen perustuksen ympärille tai runkoreitin kaivantoon eristämättömällä 16 mm² kuparijohtimella 25 m. Johtimen toinen pää tuodaan ylös keskukselle ja toinen pää jää maahan. [23.]

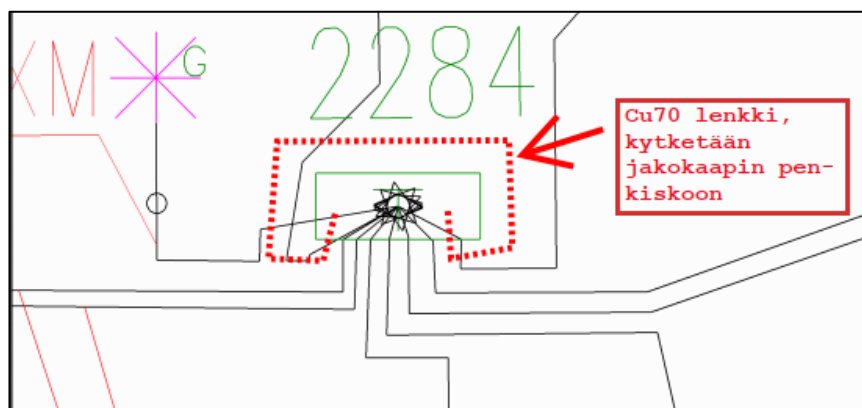
Ulkovalaistuskeskus

Maadoitus asennetaan vähintään 0,7 m maanpinnasta keskuksen perustuksen ympärille tai kaapelikaivantoon eristämättömällä 16 mm² kuparijohtimella 20 m. Johtimen toinen pää tuodaan ylös keskukselle ja toinen pää jää maahan. [24.]

Pienjännitekeskus

Maadoitus asennetaan vähintään 0,7 m maanpinnasta keskuksen jalustan ympärille eristämättömällä 70 mm² kuparijohtimella. Johtimen molemmat päät tuodaan ylös keskukselle. Toteutus esitettynä kuvassa 29. [23.]

Mikäli maadoituslenkkiä ei voida asentaa, toteutetaan maadoitus vaakaelektrodeina kahteen suuntaan jättäen kaapilta lähtevät päät niin, että ne saadaan yhdistettyä keskukseseen myöhemmin. [23.]



Kuva 29. Pienjännitekeskuksen maadoituksen toteutus. (Lähde: Ohje, kuva jakokaapin maadoituksesta. 2022. Kruunusillat allianssi)

Saattolämpökeskus

Maadoitus asennetaan vähintään 0,7 m maanpinnasta keskuksen kaapeli-kaivantoon eristämättömällä 16 mm² kuparijohtimella 25 m. Johtimen toinen pää tuodaan ylös keskukselle ja toinen pää jää maahan. [23.]

Ulkovalaistuksen jalusta

VATU-alueella

Maadoitus viedään VATU-alueen ulkopuolelle eristetyllä 16 mm² kuparijohtimella asennettuna kaapelinsuojaputkeen. VATU-alueen ulkopuolelta maadoitus jatkuu paljaana 16 mm² kuparina 25 metriä vähintään 0,7 m maanpinnasta. Johtimen toinen pää tuodaan ylös jalustalle ja toinen pää jää maahan [23.]

VATU-alueen ulkopuolella

Maadoitus asennetaan vähintään 0,7 m maanpinnasta eristämättömällä 16 mm² kuparijohtimella ensin jalustan ympärille yhden kierroksen, josta kaapelikaivannon pohjamaan reunaan 20 m. Johtimen toinen pää tuodaan ylös jalustalle ja toinen pää jää maahan. [23.]

Poliisikamera

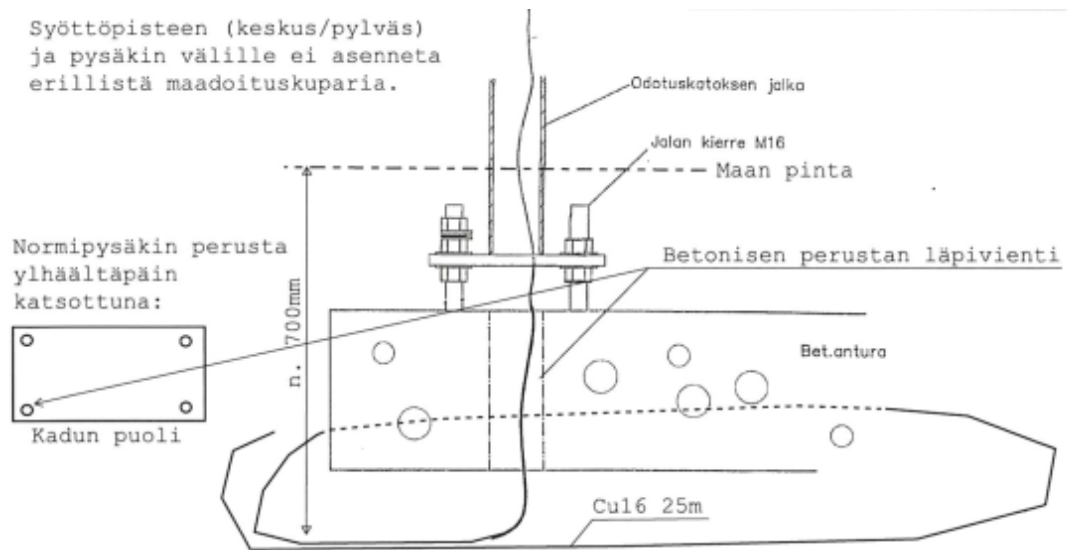
Maadoitus asennetaan vähintään 0,7 m maanpinnasta eristämättömällä 16 mm² kuparijohtimella kaapelikaivannon pohjamaan reunaan 25 m. Johtimen toinen pää tuodaan ylös jalustalle ja toinen pää jää maahan. [23.]

Linja-autopysäkki

Pysäkin perustuksen ympärille asennetaan eristämätön 16 mm² kuparijohdin 25 m siten, että toinen pää nostetaan ylös pysäkin katoksen jalalle ja loppuosa kiertää perustuksen. Elektrodi kulkee katoksen jalalta maahan perustan

läpiviennin kautta. Läpivientiä ja maadoituksen asennusta havainnoi kuva 30. Kiertävän johtimen asennussyvyys on noin 0,7 m. [15.]

Maadoituselektrodi voidaan asentaa katoksen syöttävän kaapelin kanssa samaan kaivantoon, mutta vain, mikäli ympärille kaivettavan elektrodin asentaminen on huomattavasti työläämpää. Tällainen tilanne olisi esim. mikäli vain syöttö uusitaan eikä maadoituskuparia entuudestaan ole. Tästä työtavasta on sovittava kaupunkiympäristön toimialan edustajan kanssa erikseen. [15.]



Kuva 30. Maadoituksen toteutus linja-autopysäkillä. (Lähde: Helsingin kaupungin ulkovalaistusverkkoon liitettävien laitteiden maadoitus- ja syöttöperiaate ohje. 2015. Helsingin Kaupunki)

Teräsbetonirakenteet

Teräsbetonirakenteet ovat sähköä johtavia rakenteita, mutta jos rakenne ei ole kosketeltavissa, ei sitä tarvitse suojamaadoittaa sähköturvallisuuden kannalta. Jos rakenne on kosketeltavissa, on betoniin tehtävä suojamaadoitusverkko, jonka johtavuus vastaa vähintään 800 mm² teräksen johtavuutta. Jos rakennesuunnittelu sallii, voidaan suojamaadoituksessa käyttää laatan toimivia teräksiä. Suojamaadoitusverkko koostuu pitkittäisistä ja poikittaisista teräksistä, joiden yhdistysten väli saa olla enintään 50 m ja rakenteen molemmissa päissä. Jotta suojamaadoitusteräokset voidaan liittää maadoitusjärjestelmään, tehdään

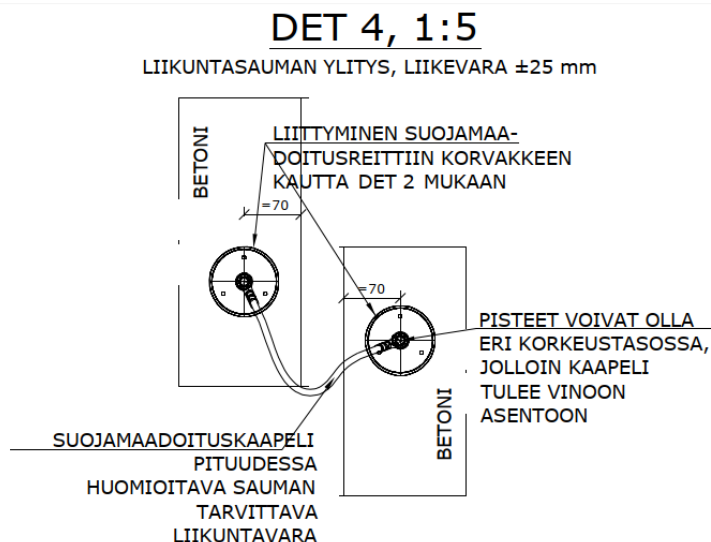
teräsbetonirakenteen pintaan maadoitusliittimet tai -korvakkeet, jotka on oltava ruostumatonta terästä. [8.]

Teräsbetonirakenteeseen kiinnittyvät pulttikiinnitteiset rakenteet kuten aidat voidaan yhdistää suojamaadoitusteräksiin pulttikorin kautta. Jokaisesta pulttikorista vähintään yksi pultti hitsataan suojamaadoitusteräksiin. [8.]

Tukimuuri

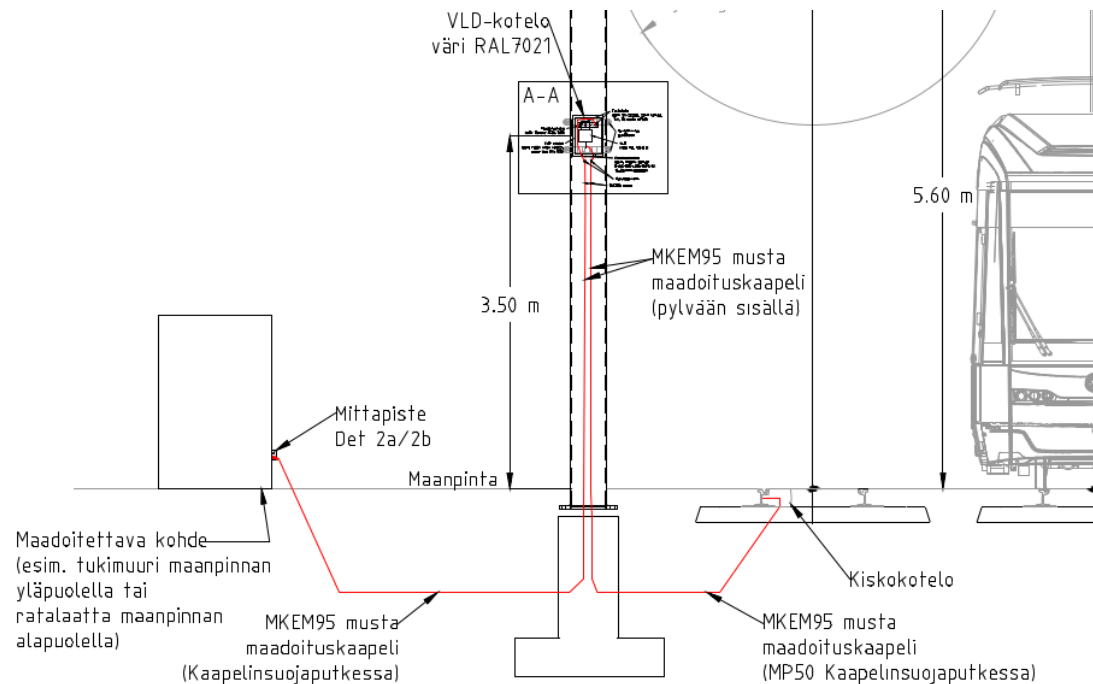
VATU-alueella sijaitseva tukimuuri on maadoitettava VLD-F-laitteen kautta radan paluukiskoon. [25.]

Tukimuurin liikuntasauaman molemmin puolin varustetaan maadoitusliittimillä ja ne yhdistetään eristetyllä 95 mm² kuparijohtimella kuvan 31 mukaisesti. Johtimen pituudessa on huomioitava sauman tarvittava liikuntavara, +/- 25 mm. Liitäntäpiste on oltava mahdollisimman lähellä maanpintaa, mutta kuitenkin maanpinnan päällä. Kaapelin päälle on asennettava suojakouru suojaamaan kaapelia ilkivallalta. [25.]



Kuva 31. Maadoituksen toteutus liikuntasauaman ylitse. (Lähde: Maadoitussuunnitelma VATU-alueen tukimuuri Hakaniemenranta. 2021. Kruunusillat allianssi)

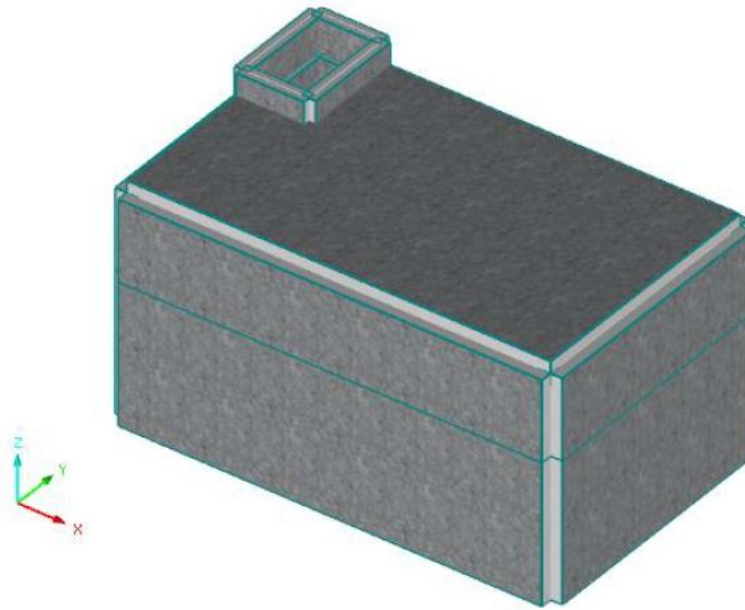
Toisesta liittimestä vedetään eristetyllä 95 mm² kuparijohtimella yhdistys VLD-F-laitteelle kuvan 32 mukaisesti, joka liitetään myös paluuvirtakiskoon eristetyllä 95 mm² kuparijohtimella. Kummatkin johtimet asennetaan kokonaisuudessaan suojaputkeen. VLD-F-laite asennetaan yhteiskäyttöpylvääseen tai pylvään perustukseen asennusluukkuun. Päätetty asennuskohta näkyy alueen Maadoitus- ja paluuvirtatiesuunnitelmassa. [25.]



Kuva 32. Yhdistys tukimuurin ja VLD-F-laitteen välillä. (Lähde: Tyypikuva VLD-laitteen asennus pylvääseen, eristetty koteloon. 2022. Kruunusillat allianssi)

Mittauskaivo

Mittauskaivon maadoitus tehdään rengasmaisesti eristämättömällä 16 mm² kuparijohtimella perustuksen alle, ei kuitenkaan paalulaatan alle. Kuparijohtimen molemmat päät yhdistetään mittauskaivon MEB-päämaadoituskiskoon. Kuvassa 33 on havainnointia hankkeen Merihaankadun mittauskaivosta. [26.]



Kuva 33. Merihaankadun mittauskaivo. (Lähde: Laskentaraaportti Merihaankatu mittauskaivo. 2021.)

Näkinsillan hulevesipumppaamo

Uuden hulevesipumppaamon rakenteet ovat integroitu Näkinsillan T1 tukirakenteeseen. Kuva 34 havainnoi valmiin sillan ja pumppaamon sijaintia.

Pumppaamon maadoitus tehdään rengasmaisesti eristämättömällä 16 mm² kuparijohtimella perustuksen alle. Kuparijohtimen molemmat pää tuodaan pumppaamon pumppusaliin, josta yhdistys 1. kerroksen MEB-kiskoon tehdään eristetyllä 16 mm² kuparijohtimella. [27.]



Kuva 34. Näkinsillan T1 tuki ja hulevesipumppaamon sisäänkäynti. (Lähde: <https://www.kruunusillat.fi>. Luettu 27.3.2023)

Pumppaamon perustan lisäksi pumppaamon paineentasausputki maadoitetaan. Maadoitus tehdään hitsaamalla putkeen HST-kannake, johon kiinnitetään tinatulla kaapelikengällä ja HST-pultilla eristämätön 16 mm² kuparijohdin. Kuparijohdin liitetään pumppaamon perustuksen maadoitukseen kolmella tinatulla c-liittimellä. [28.]

Hakaniemensilta

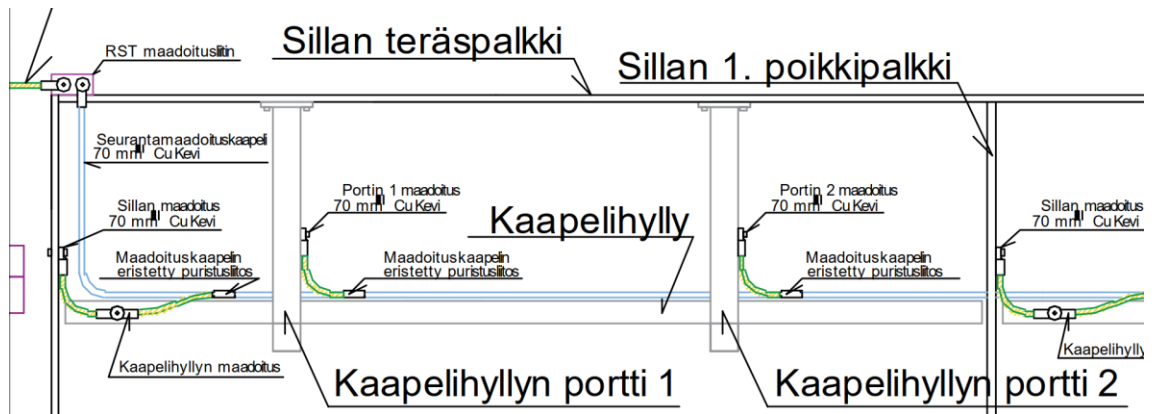
Uuden Hakaniemensillan maadoitus koostuu maadoituselektrodeista sekä maadoitusteräksistä. Sillan maadoitus on osa Helen sähköverkon laajaan maadoitusverkkoa. Kuva 35 on havainnekuvaa sillasta sen valmistuttua. [29.]



Kuva 35. Hakaniemensillan havainnekuva. (Lähde: Kruunusillat verkkosivu. <https://www.kruunusillat.fi>. Luettu 27.3.2023)

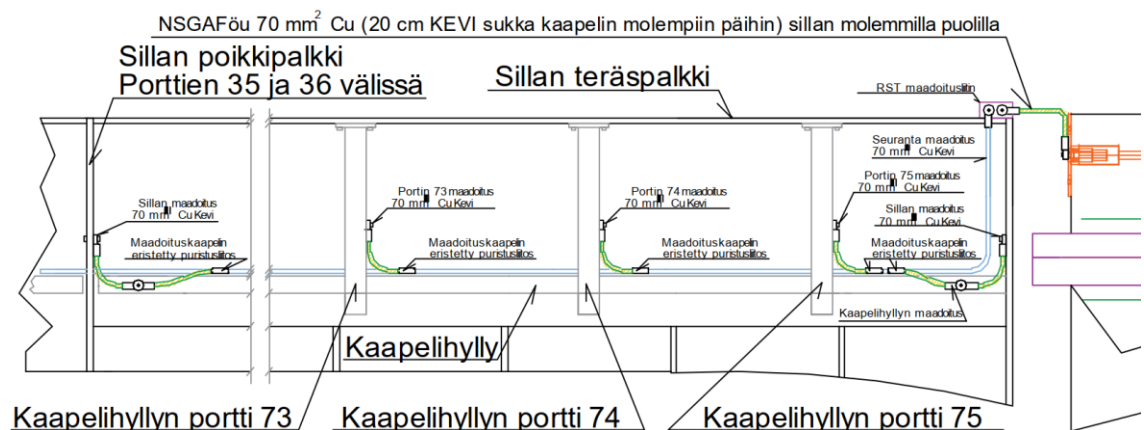
Sillan läpi kulkee eristetty 70 mm² kuparijohdin. Johtimen yhdistys toteutetaan sillan Kruunuhaan puolella maatuen ja sillan välillä sillan RST maadoitusliittimeen. Maatuesta johdin yhdistyy HSV:n muuntamoon ja HSV:n laajaan maadoitusverkkoon. [29.]

Sillalla maadoitus yhdistetään eristetyllä 70 mm² kuparijohtimella sillan teräspalkkien, kaapelihyllyjen ja eristetyllä 70 mm² seurantamaadoituskaapelin välillä. Kuvissa 36 ja 37 on esitetty tarkemmin maadoituksen liitännät ja asennukset. [29.]



Kuva 36. Maadoituksen toteutus sillan Kruunuhaan puolella. (Merihaka, 10kV 750 VDC maadoituskaavio. 2021. Kruunusillat allianssi)

Sillan Merihaan puoleisessa päässä johdin yhdistetään RST-maadoitusliittimen kautta Merihaan Sähkönsyöttöaseman MEB-kiskoon. Johtimeen on asennettava 20 cm sukitus johtimen molempiin päihin sillan molemmilla puolilla. [29.]



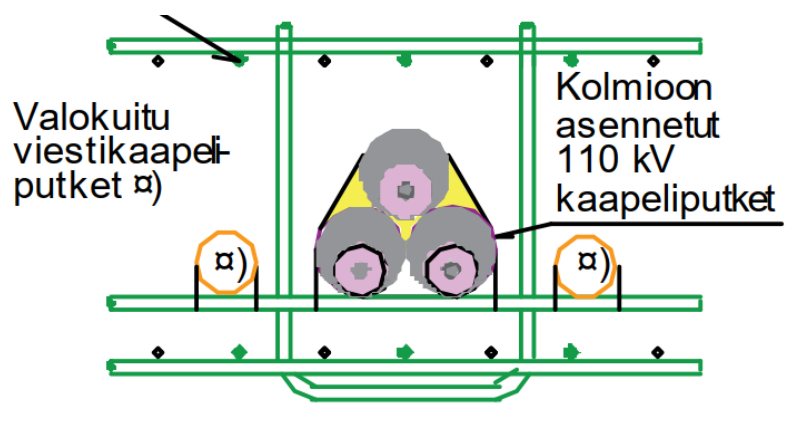
Kuva 37. Maadoituksen toteutus sillan Merihaan puolella. (Merihaka, 10kV 750 VDC maadoituskaavio. 2021. Kruunusillat allianssi)

Sillan maatuon betoniteräkset on varustettava terässillan Kruunuhaan sekä Merihaan päässä standardin EN50164-1 (salamansuojauskomponentit) vaatimukset täyttävällä maadoitusliittimillä. Sillan betoniosien yhteen hitsattavat teräkset on merkittävällä maalilla. Teräkset on tarkastettava ja niiden johtavuus mitattava

ennen valamista. Sillan teräspalkkiosaan on hitsattava sillan päähän 2 kpl RST-lattaliittimet. [29.]

Maadoitusteräket betonisillassa

Betonisillassa maadoitus koostuu 6 kpl yhteen hitsatuista 16 mm teräksistä muodostaen 110 kV kaapelin ylä- ja alapuolella virtatien kaapelin vikatilanteen maadoitukselle. Kuvassa 38 maadoituksen teräket ovat esitettyinä vihreällä. [29.]



Kuva 38. Maadoitusteräket betonisillassa 110kV kaapelin ympärillä. (Merihaka, 10kV 750 VDC maadoituskaavio. 2021. Kruunusillat allianssi.)

Kaapeliputket kiinnitetään vanteella betoniteräksiin. Vanteen ja kaapeliputken väliin asennetaan vahvennettu kaapelisuoja muovinauhalla. [29.]

Maadoitus sillan ja Merihaan sähkönsyöttöaseman välillä

Sillan maadoitusliittimestä asennetaan 2 kpl eristettyä 95 mm² kuparijohdinta Merihaan sähkönsyöttöaseman perustuksen läpi menevän läpivientiholkin kahteen 95 mm² maadoitusterästankoon. [29.]

Merihaan sähkönsyöttöasema

Merihaan sähkönsyöttöasema sijaitsee uuden Hakaniemensillan pohjoisessa maatuessa. Sähkönsyöttöaseman maadoitus koostuu vaakamaadoituselektrodista sekä sauvamaadoituksista. [30.]

Vaakamaadoituselektrodin asennus

Vaakamaadoituselektrodina käytetään routimattomaan maahan renkaaksi asennettua eristämätöntä 95 mm² kuparijohdinta. Asennuksessa johdin ympäröidään kevyesti tiivistetyllä maalla niin, että kivet ja sora eivät ole suorassa kosketuksessa johtimen kanssa. Ensisijaisesti maadoituselektrodi sijoitetaan perustuksen alle märkään maahan. Jos tämä ei ole toteutettavissa, on maadoituselektrodi sijoitettava heti perustuksen viereen märkään maahan. Maadoitusjohtimen molemmat päät tuodaan sähkönsyöttöaseman läpiviennille, jossa ne yhdistetään läpivientiholkissa oleviin kahteen 95 mm² kuparitankoon. Aseman sisäpuolella maadoitus jatkuu kuparitangoista eristetyllä 95 mm² kuparijohtimella aseman MAB-kiskoon. [30.]

Sauvamaadoituselektrodien asennus

Sauvamaadoituselektrodit liitetään syöttöaseman alla kiertävään vaakaelektrodiin liittimillä, joihin kutistetaan kutistesukka päälle suojaksi. Elektrodit asennetaan pystysuoraan. Mikäli suunnittelukuvassa esitetty sijoittelu tai yksittäisen elektrodin pituus aiheuttaa haasteita, voidaan sauvaelektrodeja yhdistää pidemmäksi tähän tarkoitettulla jatkoskappaleilla tai sijoittaa lähemmäksi toisiaan. Elektrodien väliin on jätävä käytettyä sauvan pituutta suurempi väli seuraavaan elektrodiin. Esimerkiksi 2 metriset sauvat asennetaan yli 2 metrin välein ja kahdesta sauvasta koottuun 4 metrin sauvaan jätetään 4 metrin väli lähimpään pystyelektrodisauvaan. [30.]

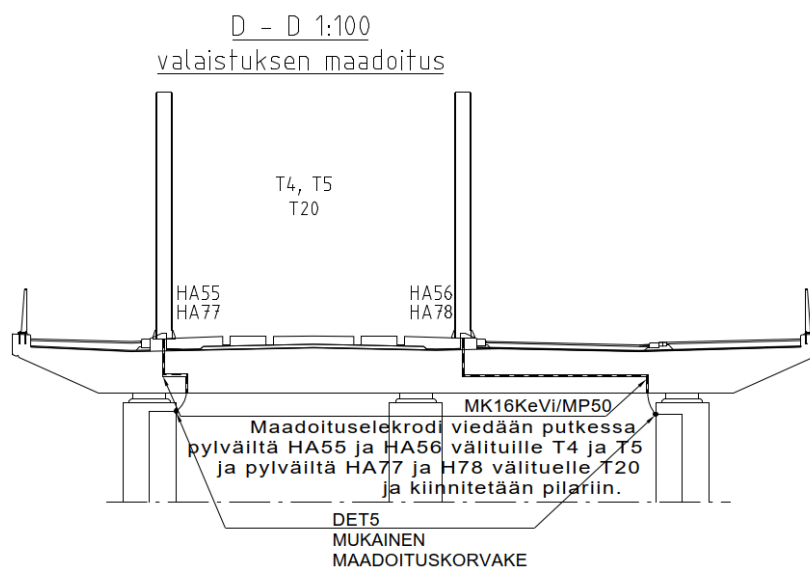
Sauvamaadoituselektrodi kallioperällä

Elektrodi voidaan tarvittaessa porata myös kallioon. Reiän halkaisija kasvaa tarvittavan maadoitusyvyyden kasvaessa, kuitenkin vähintään 65 mm. Kallioelektrodin asentamisesta tarvitaan oma ohjeistuksensa, josta on oltava yhteydessä syöttöaseman prosessilaitesuunnitteluun. [30.]

Merihaansilta

Sillalla maadoitus toteutuu sillan maadoitusteräksillä (400 mm²). Tämän lisäksi on maadoitettava sillan ulkovalaistus, liikuntasaumot sekä raitiotien sähköä johtavat rakenteet. [31.]

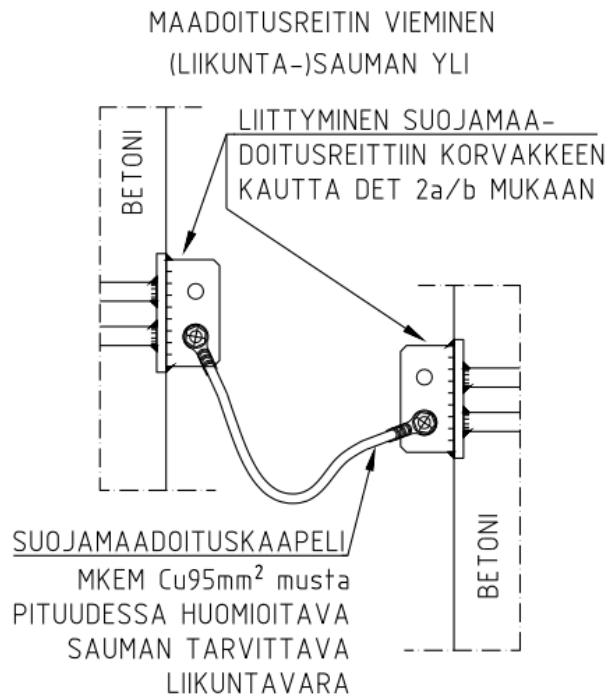
Sillan valaisinylväät sijaitsevat VATU-alueella, jolloin maadoitusta ei voi yhdistää valaistusverkkoon. Valaistuksen maadoitus toteutetaan eristetyllä 16 mm² maadoitusjohtimella. Johdin viedään valaistuksen jalustalta kaapelinsuojaputkessa sillan välituelle ja kiinnitetään sillan pilarin maadoituskorvakkeeseen. Kuvassa 39 on kuvattu maadoituksen asennusreitti. [31.]



Kuva 39. Sillan valaistuksen maadoitus. (Merihaansilta maadoituspiirustus. 2022. Kruunusillat allianssi.)

Sillan liikuntasaumojen ylityksissä maadoitus toteutetaan maadoituskorvakkeiden kautta eristetyllä 95 mm² kuparijohtimella. Johtimen pituudessa on huomiotava sauman tarvittava liikuntavara. Maadoituksen toteutusta esittää kuva 40.

[31.]



Kuva 40. Tyyppiirustus maadoitusreitinviemisestä liikuntasauman yli. (Taitorakenteiden maadoitusperiaate. 2021. Kruunusillat allianssi.)

3.4 Maadoituksen laadunvarmistus Hakaniemen osaprojektilla

Kruunusillat allianssin Hakaniemen osaprojektilla maadoitusten laadunvarmistus toteutetaan seuraavilla tavoilla

- valokuvaamalla maadoitus ja lisäämällä valokuva infrakit-pilvipalveluun
- tarkkeiden otto maadoituksesta, tarkkeet lisätään infrakit-pilvipalveluun
- mittaamalla sellaisissa kohteissa, joissa on vaadittu tietty resistanssin arvo.

Valokuva ja tarkkeet on otettava jokaisesta maadoituskohteesta.

Mitattavat kohteet osaprojektilla ovat: maadoitusteräs, raitiotie, liikennevalokeskus, MEH-syöttöpylväs, vaihteenohjauksen syöttöpylväs, joiden tarkempi mitaus on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Mitattavat kohteet osaprojektilla ja mittauksen huomioitavat asiat.

<h3>Maadoitusteräs</h3>
<ul style="list-style-type: none"> • Maadoitusteräksen tarkastukset tehdään, kun suojamaadoitusrakenteet ovat nähtävillä ja vielä tarvittaessa korjattavissa. Maadoitettavien rakenteiden sähköinen jatkuvuus varmistetaan suorittamalla peräkkäisten maadoituspisteiden välillä resistanssimittaus ennen rakenteen valua. [8] • Maadoituksen jatkuvuuden mittausta varten piirustuksissa esitetään mittauspisteet (MP-piste). MP-pisteessä on oltava johtava, maadoitukseen yhteydessä oleva pinta. Maadoituksen jatkuvuus mitataan MP-pisteiden väliltä. [8] • Mittauksessa käytetään standardin EN 61557-4 mukaista mittalaitetta, jonka testijännitteen pitää olla vähintään 4 V ja enintään 24 V tasa- tai vaihtojännitettä ja testivirran pitää olla vähintään 0,2A. [6] • Mittauksista laaditaan pöytäkirja, josta on toimitettava kopio käytönjohtajalle sekä kaupungin sähköpiirustusarkistoon. [6]
<h3>Raitiotie</h3>
<ul style="list-style-type: none"> • Radan maadoituksista jatkuvuusmittaukset tehdään maadoitusteräksisistä rakenteista. Raitiotiejärjestelmän keskukset on erotettu erotusmuuntajalla sähkölaitoksen maadoitusjärjestelmästä. Järjestelmän maadoitusvastuksen minimiarvoksi on sovittu $< 100 \Omega$. [8]
<h3>Liikennevalokeskus</h3>
<ul style="list-style-type: none"> • Liikennevalokeskuksen maadoituksen resistanssi on mitattava, ja mittausravon on oltava alle 30Ω. [32]
<h3>MEH syöttöpylväs</h3>
<ul style="list-style-type: none"> • Syöttöpylvään maadoituksen resistanssi on mitattava, ja pylvään jalustan ympäri menevän maadoituselektrodin maadoitusresistanssin arvo on oltava alle 100Ω. [22]
<h3>Vaihteenohjauksen syöttöpylväs</h3>
<ul style="list-style-type: none"> • Syöttöpylvään maadoituksen resistanssi on mitattava ja pylvään jalustan ympäri menevän maadoituselektrodin sekä sauvamaadoituksen maadoitusresistanssin arvo on oltava alle 100Ω. Mittauksesta laaditaan syvämaadoituksen pöytäkirja. [19]

4 Case KSA haasteet ja kehitystarpeet

4.1 Haastattelut

Opinnäytetyöhön haastateltiin 11 henkilöä, jotka ovat olleet mukana yhdellä tai useammalla seuraavista projekteista: Kruunusillat allianssi, Raide-Jokeri sekä Tampereen Raitiotie. Haastatteluihin valittiin henkilöitä suunnittelun sekä tuotannon puolelta, jotta saataisiin näkökulmia molemmilta puolilta. Haastatteluita toteutettiin suurimmaksi osaksi Teams-videopuhelun välityksellä, mutta muutamia myös Kruunusillat allianssin Big Roomilla sekä Hakaniemen osaprojektin työmaatoimistossa. Haastattelut ovat esitettyinä liitteessä 2.

Haastatteluista haluttiin saada näkemystä tuotannon sekä suunnittelun näkökulmiin sekä selvittää heidän näkemyksiänsä, miten maadoituksissa on onnistuttu, mitä kehitettävää on sekä vertailla projektien välistä kehitystä. Lisäksi käsitelään yleisesti läpi, miten maadoituksen suunnittelun prosessi toimii. Haastattelun teemat ja kysymykset ovat esitettyinä taulukossa 5.

Taulukko 5. Haastattelun teemat ja kysymykset.

Suunnittelu	Tuotanto
<ul style="list-style-type: none"> • Maadoituksen suunnittelun prosessi. • Suunnittelun haasteet KSA:lla. • KSA:n maadoitusten suunnittelu verrattuna Tampereen ratikkaan ja Raide-Jokeriin. • Haasteet Tampereen ratikassa sekä Raide-Jokerissa maadoitusten osalta. • Aiemmiltä alliansseilta siirtyneet opit KSA:lle. • Maadoitusten suunnitelmien parempi toteutus. • Tärkeät seikat maadoitusten onnistumiseen. • Kehityskohteet. 	<ul style="list-style-type: none"> • Yleisimmät haasteet maadoitusten teossa. • Haasteet Tampereen ratikassa sekä Raide-Jokerissa maadoitusten osalta. • Tärkeät seikat maadoitusten onnistumiseen. • Huomioitavat asiat rakentamisen aikana. • Maadoitusten keskittäminen. • Kehityskohteet.

4.2 Haastatteluiden vastaukset teemoittain

Tässä luvussa on esitelty teemahaastatteluiden vastaukset suunnittelun ja tuotannon vastauksiin teemoittain.

4.2.1 Suunnittelu

Maadoituksen suunnittelun prosessi

Sähköturvallisuuden mukaan maadoitettaessa, on alkuun mietittävä, millaiset vaatimukset ohjeissa ja säädöksissä on. Tällä hetkellä Suomella ei ole maakoh-
taisia vaatimuksia, joten noudatetaan EU-standardia. Jos maakoh-
taisia vaatimuksia olisi, tulisi mennä niiden mukaan.

Raitiotien alueen suunnitteluprosessin alkuun käydään läpi VATU-alueet ja se, että pyritään välttämään suunnittelema-
sta VATU-alueelle mitään sähköä johtavia
laitteita tai rakenteita. Tähän lukeutuu myös raudoitettu betoni, sillä tämä johtaa
sähköä. Vältetään myös asentamasta ylimääräisiä metallisia rakenteita pysäkki-
alueelle.

Kun katusuunnitelmat ovat melko valmiita tai valmiita radan lähettyviltä, käy-
dään läpi katusuunnittelijan kanssa VATU-alue ja tarkastellaan, onko alueella,
sen lähettyvillä tai maan alla maadoitettavia kohteita. Kohteiden tunnistamisen
jälkeen on mietittävä, tullaanko kohde maadoittamaan vai eristämään. Kun vali-
taan kohteen suojamaadoittaminen, on mietittävä, miten maadoitus toteutetaan
ja miten kaluste saadaan liitettyä paluuvirtakiskoon ja VLD-laitteeseen.

Pysäkkialueet ovat käytännössä kaikkein työläimpiä, sillä yhteensovitettavia
maadoituskohteita on paljon. Alueita käydään sitä mukaan läpi, kun eri tekniik-
kalajeilta saadaan suunnitelmia.

Rata-alueella voi olla myös erilaisia teknisiä taitorakenteita, joissa maadoitukset
on huomioitava. Tällaisia on muun muassa sillat, tukimuurit sekä alikulkukäytä-
vät ja mahdolliset olemassa olevat rakenteet.

Joissain kohteissa on mietittävä ratkaisuja myös esteettisestä näkökulmasta. Esimerkiksi jos rakenteessa, kuten tukimuurin liikuntasaumassa, käytetään piuhoja, on mietittävä miltä liitos näyttää ulospäin sekä se, ettei kohdassa kulje esimerkiksi aura-auto talvella, joka saattaisi rikkoa sen.

Suunnittelun haasteet KSA:lla

KSA:n suunnittelussa koettiin haasteeksi se, että siinä on ollut enemmän erikoiskohteita verrattuna muihin projekteihin. Esimerkiksi siltojen osalta on täytynyt käydä rakennussuunnittelijoiden kanssa läpi, miten maadoitukset toteutetaan sillan VATU-alueella. Ei ole voitu mennä niin sanotusti saman kaavan mukaan, miten aiemmilla projekteilla on voitu. Myös Hakaniemen osalta haasteita suunnitteluun toi se, että alueella on vanhempaa niin sanottua normaalia sähkömaadoituksia, joita on pitänyt yhteensovittaa uusiin ratasähkön maadoituksiin.

Uusien maadoitusten osalta radan ja kadun maadoitusten yhteensovitus ja kommunikointi niistä koettiin sellaiseksi, että se voi tuoda haasteita. Myös se, että yhteensovitettavia kohteita ja tekniikkalajeja on paljon, tuo haasteita. Kaikkien tekniikkalajien maadoitukset on pitänyt saada vastaamaan kaikkien tarpeita.

Suunnittelussa todettiin haasteeksi myös se, että suunnitellut asiat tultaisiin huomioimaan myös työmailla, sillä aiemmin on ollut ongelmia työmaan ja suunnittelun kommunikoinnin välillä. Rakentaessa tulisi toteutus olla suunnitelmien mukaisesti tehtynä. Myös se, että kaikki maadoitettavat kohteet huomioitaisiin, sillä jotkut maadoituksista saattaa näkyä vain yksityiskohtaisimmissa suunnitelmissa.

KSA:n maadoitusten suunnittelu verrattuna Tampereen ratikkaan ja Raide-Jokeriin

Monissa haastatteluissa nousi esiin, että KSA:lla on jouduttu tekemään enemmän erikoisratkaisuja ja hankkeella on ollut enemmän haastavimpia kohteita, mutta yhdessä haastattelussa koettiin, että KSA:lla olisi paljon vähemmän

jouduttu tekemään erikoisratkaisuja. Erona tuotiin esimerkiksi, että Raide-Jokerilla oli myös olemassa olevia siltoja sekä alikulkuja, jotka tuli maadoittaa.

Yhdessä haastattelussa koettiin myös, että Hakaniemeä lukuun ottamatta KSA:n suunnittelu on ollut samanlaista kuin Raide-Jokerilla, josta on saatu paljon oppeja maadoituksista siirrettyä. Raide-Jokerilta on esimerkiksi siirtynyt maadoitus- ja sähköturvallisuusohje, joka päivitettiin KSA:n osalta lisäämällä raitiotien sillan maadoitukset ja poistamalla Raide-Jokerilla olleet tunnelin ja alikulun maadoitukset. Samanlaisia rakenteita kuin Raide-Jokerilla on esimerkiksi pysäkkikatoksen maadoitus, joka on mietitty jo Raide-Jokerilla, että mihin kohtaan maadoituksen putkitus asennetaan ja missä se toimii.

Haastateltavat, jotka kokivat KSA:n olleen haastavampi, kertoivat että varsinkin sillat ovat olleet haastavampia ja erilaisia verrattuna muihin projekteihin.

Sweco on ollut mukana kaikissa raitiotiealliansseissa (Tampereen raitiotie, Raide-Jokeri, KSA, Kalasatamasta Pasilaan-hanke), jolloin sisäinen näkemys suunnittelusta on kehittynyt vuosien saatossa, joka näkynyt myös ohjeistuksissa ja ratkaisuissa sekä mukaan on saatu kokeneempia henkilöitä, jotka toivottavasti laajentaneet myös muiden osaamista.

Haasteet Tampereen ratikassa sekä Raide-Jokerissa maadoitusten osalta

Suunnittelun isoimpana ongelmana ilmeni suunnitteluiden välinen yhteistyö. Rakenteita suunnitellessa suunnittelijoiden pitäisi tehdä enemmän yhteistyötä sen suhteen, että he tietäisivät mitä tulisi maadoittaa, jottei suunnitelmat olisi puutteellisia. Koska suunnittelussa oli epäselvää, mitkä kohteet tulisi maadoittaa, saattoi maadoitettavia kohteita ilmestyä suunnitelmiin lyhyelläkin aikataululla. Tällöin saatettiin joutua suunnittelijoiden ja rakentajien kesken yhdessä ratkaisemaan miten kohde pystyttäisiin toteuttamaan.

Esimerkiksi Tampereella suunnitelmissa ei ollut alkuun huomioitu VATU-alueita, ja että kaikki alueen kaiteet, roskakorit yms. pitäisi maadoittaa. Myös

esimerkiksi tiekaiteita jouduttiin pätkimään jälkikäteen lyhyemmiksi, ettei kaidetta jouduttaisi maadoittamaan jälkikäteen.

Koska VATU-alue oli alkuun epäselvä maadoitusten osalta, saatettiin alkuun sopia jonkun rakenneratkaisun olevan hyvä, mutta jonka todettiin myöhemmin olevan väärin. Epäselvyyttä oli myös siitä, miten varmistetaan ja varmennetaan VATU:n ulkopuolisten maadoitusten etäisyydet, sillä jotkut rakenteet sijoittuvat aivan rajalle ja tulkinta saattoi muuttua tarkastellessa.

Tampereella kompastuttiin myös siinä, että katurakentamista aloittaessa ei ollut vielä tarkasteltu tarvittavia putkituksia radan ja sähkön maadoituksia varten, vaan niiden tarkasteleminen aloitettiin vasta jälkikäteen.

Aiemmilta alliansseilta siirtyneet opit KSA:lle

Avainasemassa on, että on nimetty koordinaattori, joka kerää yhteen maadoitukset niin radan ja kadun tarpeisiin. Näistä tiedoista on koottu apukartta, josta löytyy kaikki alueen maadoitukset ja lyhyet ohjeet niiden tekemiseen tai mistä tarkemmat suunnitelmat löytyvät.

Yhdessä haastatteluista tuli esiin se, että yhteensovitus on parantunut koko ajan, kun allianssi ei hae enää paikkaansa yhtä paljon ja monilla on jo kokemusta, miten allianssi toimii. Varsinkin yhteensovitus koettiin parantuneen koko allianssin kanssa niin suunnittelun radan, päällysrakenteiden ja muiden osapuolten kanssa. Kuitenkin toisessa haastattelussa koettiin, että kuten edellisilläkin hankkeilla ongelmana on ollut, ei tieto liiku eteenpäin oppien osalta.

Yhdessä haastattelussa todettiin, että maadoituskartan ja nimetyn koordinaattorin lisäksi vaikuttaa siltä, ettei maadoitusten osalta ole vielä kukaan opittu aiempien projektien virheistä.

Maadoitusten suunnitelmien parempi toteutus

Varsinkin työmaan puolelta saaduista haastatteluista nousi esiin se, että tärkeinä olisi, että suunnitelmat maadoitusten tekemiseen ylipäätään olisi tehtynä siihen mennessä, kun kohteen rakentaminen aloitetaan. Myös se, että olisi selkeästi kootut suunnitelmat sekä maadoituskartta, jossa maadoitettavat kohteet olisi selkeästi esitettynä.

Suunnitelmien ja työsuunnitelmien on tärkeää olla selkeät ja yksiselitteiset, sillä yleensä työn toteuttaja ei ole erikoistunut sähköasennuksiin vaan on maanrakentaja, jolloin pelkkien ohjeiden perusteella pitäisi pystyä toteuttamaan oikeanlainen maadoitus. Toteutuksen yksityiskohdat pitäisi olla ohjekorteissa tai kuvissa esillä. Tekijöiden kanssa olisi hyvä käydä suunnitelmia ja toteutusta läpi, jolloin tulisi esiin mahdolliset epäselvyydet.

Haastatteluissa tuli esiin myös se, että tällä hetkellä tietoa saattaa joutua etsimään eri kuvien väliltä. Suunnitelmiin tulisi saada enemmän ilmenemään se, että esimerkiksi keskuksen maadoitukset saattavat näkyä radan asentajien kuvissa eikä maanrakentajien kuvissa. Kehityskohteena olisi, että maadoitukset esitettäisiin myös maanrakentajien kuvissa, jotta riskiä maadoituksen huomauttamatta ja asentamatta jäämisestä ei tulisi.

Suunnittelun puolelta nousi esiin, että suunnittelijallakaan ei välttämättä ole tarpeeksi tietoa maadoituksista tai tarkista tietoja loppuun asti, jolloin laittaa vain viittauksen maadoituksista suunnitelmaan. Tällöin saatetaan helposti tulkita asioita väärin. Muutenkin koettiin, ettei kaikilla suunnittelijoilla ole välttämättä tietoa mitä pitää maadoittaa. Myös se nousi yhdessä haastattelussa esille, että kohteiden yhteensovitus kuvien suhteen olisi tärkeää.

Myös se nousi esiin, että olisi hyvä olla myös Vectoriin mallinnettuna maadoitukset, jotta niitä pääsisi tarkastelemaan myös 3D-kuvana. Maadoituskartta on ollut sopiva välimaaston työkalu, joka selkeyttää maadoitettavat kohteet sopivasti.

Tärkeät seikat maadoitusten onnistumiseen

Tärkeää onnistumisen kannalta on, että kaikki suunnittelijat, jotka suunnittelevat radan ympärille rakenteita, ovat tarpeeksi tietoisia radan sähköturvallisuuksista. Myös kommunikointi suunnittelun ja sähköturvatiimin välillä on tärkeää, jotta voidaan keskustella mitkä rakenteet on maadoitettava ja miten.

Toinen tärkeä asia maadoitusten onnistumisen kannalta on se, että suunnitelmat on ennen rakentamista valmiina. Isoissa hankkeissa kuten KSA, lisäyksiä voi tulla, kun suunnitelmat päivittyvät, mutta pääasia kuitenkin on, että kaikki olisi valmista ennenkö rakentaminen aloitetaan. Tästä syystä on tärkeää, että suunnittelulla on tilannetietoisuus työmaasta ja sen aikatauluista.

Kehityskohteet

KSA:lla on havaittu olevan samat haasteet, joita Raide-Jokerillakin oli ollut. Esimerkiksi eri tekniikkalajien välisessä yhteistyössä haasteena on se, että suunnitelmien osalta tarkastukset jäävät kiireessä tekemättä tarkasti.

Maadoituksen asiat pitäisi puristaa niin yksinkertaiseksi, että sen ymmärtäisivät kaikki. Hankkeella on vain muutama, joille maadoituksen asiat ovat selviä, eikä heillä ole aina aikaa neuvoa, eikä välttämättä tiedetä, että heiltä voisi kysyä vinkkejä ja neuvoja.

Suunnittelun osalta kehityksenä nousi yhdessä haastattelussa se, että suunnittelijoilla pitäisi olla enemmän suunnittelutaitoa, jotta he osaisivat suunnitella omat rakenteensa sähköturvallisesti sekä halua oppia esimerkiksi VATU-alueesta ja sen vaatimuksista. Esille nousi myös se, että maadoituskuparien putkistusten mallintamien ei ole ollut täysin selkeätä, miltä osin mallinnusta olisi syytä tehdä.

4.2.2 Tuotanto

Yleisimmät haasteet maadoitusten teossa

Yhtenä yleisenä haasteena on ollut, jos toteutusta ei pystytäkään tekemään työmaalla suunnitelmien mukaan. Tällöin jouduttu soveltamaan standardien mukaan, jotta toteutus olisi mahdollisimman hyvin ja siististi tehty, vaikka ei tehdäkään suunnitelman mukaan. Esimerkiksi silloissa, jos joudutaan tekemään pintavetoja, ettei maadoitukset jää liian näkyviin. Yleensä ongelmat on saatu hyvin ratkaistua, eikä ole ollut mitään ylitsepääsemättömiä ongelmia.

Kuvien tulkitseminen saattaa olla epäselvää työmaalla. Tässä tärkeinä olisi yhteistyö ja että osataan tarvittaessa kysyä epäselvistä asioista. Kadunrakentajilla pitäisi olla myös selkeä ohje tai ohjekortti, miten esimerkiksi maadoituselektrodi pitäisi toteuttaa, jotta toteutus olisi samanlainen kuin suunnitelmissa.

Koettiin myös, ettei kommunikointia työmaan ja suunnittelun välillä ole ollut tarpeeksi, jolloin päivityksistä suunnitelmiin ei ole tullut tietoa työmaalle, ja töitä on tehty vanhoilla kuvilla. Myös se on ollut suunnitelmien kannalta ongelmana, jos suunnitelmia ei ole saatu työmaalle ajallaan, suunnitelmat ovat olleet puutteellisia tai maadoitusta ei ole suunniteltu kohtiin, joissa on tarve maadoitukselle. Tällöin maadoituksia saattaa jäädä tekemättä ja ne joudutaan tekemään jälkikäteen ja pahimmassa tapauksessa pintarakenteita voidaan joutua rikkomaan. Rakentamisen ohella harvemmin mietitään, tarvitseeko kohteessa olla maadoitusta, jos sitä ei ole selvästi esitettyä suunnitelmissa.

Myös se, jos työjärjestystä ei ole suunniteltu kunnolla, on riskinä, että maadoitukset rikkoutuvat seuraavan työvaiheen yhteydessä.

Haasteet Tampereen ratikassa sekä Raide-Jokerissa maadoitusten osalta

Isoimpana haasteena koettiin Tampereen raitiotiellä sekä Raide-Jokerilla se, että suunnitelmat olivat puutteellisia maadoitusten osalta. Koska suunnitelmissa

oli ollut puutteita, saatettiin maadoitusten tarpeisiin havahtua vasta, kun valmistusta oli jo tehty.

Raide-Jokerilla esiintyi haasteita myös siinä, ettei maadoituksia ollut toteutettu suunnitelmien mukaisesti. Putkia oli muun muassa jäänyt asentamatta tai ne olivat päässeet tukkeutumaan. Siltakohteissa putkituksia saattoi jäädä asentamatta ennen valua, jolloin putkia on jouduttu tehdä pintavetoina tai jouduttiin keksiä muita ratkaisuja. Silloissa saattoi jäädä puuttumaan myös maadoituskorvakkeita tai niitä oli asennettu väärin kohtiin.

Haasteena esiintyi myös suunnitelmien muuttuminen ja se, ettei tieto muutoksista tavoittanut työmaata. Tästä syystä esimerkiksi putkituksia saattoi jäädä tekemättä.

Kun Raide-Jokerilla suunnitelmia saatiin korjattua tarpeeksi kattaviksi, olivat ne liian sähkötekniisiä, jotta työmaalla henkilöt, joilla ei ole tuntemusta sähkömaailmasta, olisi pystynyt työskentelemään niillä. Tähän saatiin ratkaisuna työmaalle henkilö, joka osasi selkeyttää suunnitelmia tuotannolle. Koettiin kuitenkin, että olisi ollut tarvetta järjestää työmaalla lyhyt ja ymmärrettävä perehdytys sähköturvallisuudesta, jossa selvennettäisiin mitä se on, miten se toteutuu ja miten sähköturvallisuus varmistetaan hankkeella. Lyhyt perehdytys sähköturvallisuudesta ja maadoituksista pidettiin, mutta sitä ei koettu tarpeeksi ymmärrettäväksi.

Raide-Jokerilla koettiin, että maadoituksien asentamista olisi selkeyttänyt myös se, että aikaisessa vaiheessa olisi yhdessä tuotannon ja suunnittelun välillä keskusteltu sekä käyty lohkoittain läpi maadoitettavat kohteet.

Suunnitelmien ongelmana koettiin myös se, ettei alueiden maadoituksia ollut koottu yhteen ja samaan suunnitelmaan tarkastettavaksi. Myös se koettiin ongelmana, ettei maadoitettavia kohteita ollut nimetty ja koottu yhteen taulukkoon, josta kohteita olisi voinut tarkastella.

Ainakin Raide-Jokerilla haasteita ilmeni myös kolmansien osapuolten kanssa. Esimerkiksi kaapelikaivojen kohdalla suunniteltiin vain se, mihin kaivo

asennetaan, mutta ei sitä, tarvitseeko sitä maadoittaa. Kolmansien osapuolten tekniikka ei ollut huomionnut maadoituksia suunnittelussa, vaan tieto maadoituksen tarpeesta oli tullut jälkikäteen.

Maadoitusten suojauksen kanssa olisi pitänyt olla myös tarkempia, sillä esimerkiksi ennen talvea asennetut maadoitusjohtimet saattoivat rikkoutua talven aikana aura-auton ajosta. Suojauksessa olisi pitänyt olla tarkempi myös sen kanalta, ettei työmaalta olisi päästy varastamaan keskeneräisistä maadoituksista maadoitusjohtoja.

Yksi haastateltavista kertoi, että vaikka hänellä on osaamista ja kokemusta maadoituksista, ei hän silti koe pystyvänsä suoraan välttämättä antamaan kaikkia tietoja maadoituksista ja niiden toteuttamisesta. Täten muille, kuten katurakentajille, on maadoituksen asiat vielä enemmän epäselvä asia eikä välttämättä tiedetä mitä maadoitus tarkalleen tarkoittaa. Tämä voi tuoda haasteita, kun maadoitus saattaa olla uusi asia kokeneellekin rakentajalle.

Jos maadoitukseen liittyen on epäselvyyksiä ja kova vauhti rakentaa, jää helposti rakenteita maadoittamatta. Tästä syystä olisi hyvä olla perustiedot maadoituksista kunnossa sekä tiedossa henkilö, jolta maadoitusten asioita voi kysyä.

Tärkeät seikat maadoitusten onnistumiseen

Maadoitusten onnistumisen kannalta tärkeitä asioita olisi ajantasaiset ja helposti luettavat suunnitelmat. Myös se, että valmiit suunnitelmat saadaan hyvissä ajoin, ettei maadoitussuunnitelmiin tulisi muutoksia viime tipassa tai jälkikäteen, kun esimerkiksi valmista pintaa on jo tehty. Olisi myös tärkeää, että alueen maadoitustiedot löytyisivät kootusti yhdestä paikkaa, ettei niitä tarvitsisi etsiä eri suunnitelmista.

Radan maadoituksissa tärkeää on se, että on selkeä tieto siitä, mitkä kohteet on oltava maadoitettu, miten maadoitus on toteutettava ja mitkä VATU:n etäisyydet ovat sekä millä etäisyydellä VATU:sta muut maadoitukset saavat olla. Tärkeää

on myös osata lukea maadoitusten suunnitelmia, jotta väärinymmärryksiä ei synny. Suunnitelmien ja ohjeiden on oltava yksioikoisen selkeitä.

Toiseksi se, että saadaan oikeanlaiset suunnitelmat ja työkuvat tekemistä varten. Työohje on tärkeä, jotta saadaan oikeanlaiset työn tulokset ja osataan dokumentoida oikein. Myös, koska hankkeella on eri tahoja ja paljon rakentajia, on tärkeää, että ohjeistus ja suunnitelmat ovat kunnossa.

Ohjekortit ovat tärkeässä avainasemassa tekemisessä, sillä maadoituksissa on eroja, miten minkäkin kohteen maadoitus toteutetaan.

Muutostenhallinta on keskeinen onnistumisen avain ja se, että muutokset tulevat kaikkien tietoon. Vuorovaikutus on tärkeää, jotta tiedetään mitä muutoksia on tullut ja jotta pystytään kertomaan, jos joku rakenne ei radan puolella onnistukaan.

Huomioitavat asiat rakentamisen aikana

On tärkeä huomioida kohteet, joissa maadoitus asennetaan muun rakenteen kanssa samaan aikaan. Näitä ovat muun muassa kaapin jalusta, pysäkkilaatta, pylvää ja valaisimen jalusta. Pysäkillä on huomioitava, että tarvittavat reiät maadoitukselle on tehtynä. Myös esimerkiksi kaideasennusten tekemisessä on huomioitava hyvissä ajoin mahdolliset maadoitukset.

Pysäkin maadoitusten toteutus pitää aikatauluttaa muiden töiden väliin, sillä maadoitus saadaan tehtyä osissa. Pysäkillä maadoitettavat kohteet saadaan esimerkiksi kaivoon asti tehtyä, mutta kaiteet saadaan tehtyä myöhemmin. Jos odotetaan, että kaikki rakenteet ovat pysäkillä valmiita ennen kuin maadoituksen kaapelit vedetään, on putkireiitit saattaneet mennä jo tukkoon. Tästä syystä maadoitustyöt on pakko tehdä osissa, jotta välttyttäisiin riskeiltä. Esimerkiksi Raide-Jokerilla kiskokotelon putki oli valun aikana hajonnut. Jos kaapelointi olisi tehty ennen valua, olisi putken irtoaminen voitu estää. Tämän takia esimerkiksi rataa-alueissa kaapelointi olisi hyvä tehdä ennen valua. Myös VATU-alueen ja

sen ulkopuolisen alueen eri vaiheissa rakennettavat putkitusten johtojen yhteensovitus on huomioitava hyvissä ajoin.

Tärkeinä on kuitenkin se, että rakentamisen aikana huomioidaan maadoitusten tekeminen oikeaan aikaan, ettei pintarakenteita jouduta purkamaan jälkikäteen.

Maadoitusten keskittäminen

Ehdotusta maadoitusten keskittämiseen tuli, että kadun pääsuunnittelijalla tai tuotantotaustaisella henkilöllä olisi tehtävänä varmistaa, että maadoitusta vaativat kohteet olisi suunniteltu. Henkilön ei tarvitsisi ymmärtää sähkötekniikkaa niinkään, mutta tulisi tulla toimeen erilaisten ihmisten kanssa, kuunnella, seurata ja varmistaa miten tilanteet etenevät. Tuotantotaustaisella henkilöllä olisi enemmän tietoa, mitä haasteita on mahdollista tulla eteen. Suunnittelupöydällä saattaa välillä unohtua tuotantolähtöisyys ja se, miten kohteet tulisi esittää, jotta suunnitelmat tulisi ymmärretyksi ja tuotanto osaisi toteuttaa ne.

KSA:lla keskitystä on tehty jo niin, että nimitettiin maadoituskoordinaattori, jonka tehtävänä oli koota maadoituskartta, jossa on esillä kadun ja radan maadoitukset. Kartassa on myös lyhyet ohjeet maadoitusten toteuttamiseen. Koordinaattori tekee yhteistyötä työmaainsinöörin kanssa, jotta tuotannolla olisi tarvittavat tiedot maadoituksista.

Kehityskohteet

Yhdessä haastatteluissa tuli esiin, että tuntuu, että Hakaniemellä ja Saarilla on omat tapansa tehdä, eikä toimita allianssina yhtenäisesti. Vaikka maadoitus palaveri on pidetty, olisi tietoisuuden lisääminen silti vielä perusteltua.

Muutamassa haastattelussa tuli toivetta, että maadoitusten rakenteiden tarkoituksia perusteltaisiin. Esimerkiksi se, että miksi joissain kohdissa maadoitus laitetaan kulkemaan putkessa ja toisissa kohteissa ei. Myös se, että mitä ATU- ja VATU-alueet ovat ja millaiset vaikutukset näillä on maadoituksiin. Tällä hetkellä

ei välttämättä puolellakaan ole tietoa perus termeistä. Termien lisäksi tieto siitä, keneltä asioista voi kysyä pitäisi olla yleisessä tiedossa.

Eräässä haastattelussa tuli ehdotus, että KSA:n kokoisessa projektissa voitaisiin tyyppikohteen valmistuessa, esimerkiksi pysäkkialueen valmistuessa, järjestää koko projektin laajuinen katselmus, jossa käytäisiin kohde läpi. Katselmuksessa käytäisiin läpi, miten kohde on onnistunut tai jos on jouduttu tekemään suunnitelmapoikkeamia, niin tieto tästä menisi heti läpi hankkeen. Myös se, että kaikilla olisi mahdollista nähdä miten kohde on toteutunut. Katselmuksessa olisi mahdollista myös nähdä itse mahdolliset virheet, jolloin muualla osattaisi välttää ne. Koska samanlaiset ongelmat toistuvat projektista toiseen, niin pitäisi pystyä edes hankkeen sisällä osata hyödyntää tällaista katselmusta. Myös Raide-Jokerilla voisi käydä katselmoimassa siellä tehdyt ratkaisut ja miettiä niiden pohjalta pitäisikö KSA:lla tehdä samanlaiset toteutukset vai kehittää uusia ratkaisuja. Hankkeilla koitetaan tehdä aina uutta ja uniikkia kohdetta, mutta silloin pitäisi ratkaisut toimia ensimmäisellä kerralla oikein, kun voitaisiin hankkia oppeja toisilta projekteilta. Hankkeen sisälläkin jokainen työnjohtaja tuntuu joutuvan itse tekemään alusta loppuun eikä tieto kulje. Vaikka suurin osa tunnistaa ongelmat, ei ratkaisua tunnu löytyvän, sillä henkilöt vaihtuvat.

4.3 Johtopäätökset haastatteluista

Suurimpana tarpeena maadoituksiin nousi esiin saada selkeät suunnitelmat ja kuvat maadoituksista ja niiden toteuttamisesta. Henkilöt, jotka ovat vuosia työskennelleet infratyömailla, eivät välttämättä ymmärrä nykyisiä maadoituksen suunnitelmia ja kuvia. Haasteena tähän vaikuttaa olevan kaksi erilaista syytä. Ensimmäinen on se, että suunnittelijalle maadoituksen asiat ovat sähkötekniisesti tuttuja, eikä ole osannut havainnollistaa näitä suunnitelmiin kadunrakentajan näkökulmasta. Ratkaisu tähän olisi suunnitelmia tehdessä muistaa se, että suunnitelmia lukee henkilöitä, joilla ei ole välttämättä sähkötekniillistä osaamista. Toinen syy, joka vaikuttaa olevan yleisempi, on se, että suunnittelijalla itsellään ei ole tarpeeksi osaamista tai tietämystä maadoituksista, jotta hän pystyisi havainnoimaan niitä selkeästi suunnitelmissa. Ratkaisuna tähän olisi tarjota

suunnittelijoille koulutusta, jotta he pystyisivät toteuttaa suunnitelmiin oman tekniikkalajiinsa tarvittavat maadoitukset sähköteknisesti oikein.

Sen lisäksi, että suunnitelmat olisivat helppolukuisempia, olisi tärkeää saada suunnitelmat koottua enemmän yhteen ja samaan suunnitelmaan tarkastettavaksi. Se, että alueen maadoitettavia kohteita ja toteutusta on tällä hetkellä tarkasteltava eri suunnitelmien väliltä, nostaa sen riskiä, että joku maadoituksista jää huomaamatta ja toteuttamatta.

Jotta tieto suunnitelmien muutoksista kuten maadoituskohteiden lisäämisestä tai muuttamisesta tavoittaisi myös tuotannon, tulisi suunnittelun ja tuotannon kommunikointia kehittää. Jo nyt hankkeella on jäänyt huomioimatta lisättyjä maadoittamisen kohteita, koska näistä ei ollut tiedotettu työnjohtoa. Tähän mielestäni olisi avainasemassa maadoituksen koordinaatti. Vaikka hankkeella on jo maadoituksiin nimetty koordinaattori, ei hänen tehtäviinsä kuulu kommunikointi muutoksista eteenpäin tuotannolle.

Jotta maadoituksien toteutus tulisi olemaan suunnitelmien mukainen ja jotta tuotannolla olisi varma tieto, miten maadoitus tulisi toteuttaa, olisi tuotannon ja suunnittelun hyvä tehdä enemmän yhteistyötä esimerkiksi käymällä läpi maadoitettavat kohteet ja niiden toteutukset. Tässä saataisiin varmuus sille, että toteutus on selkeä ja tässä saattaisi nousta esiin mahdollisesti kysymyksiä, joihin voitaisiin yhdessä miettiä ratkaisuja.

Myös se, että olisi selkeät yhteyshenkilöt, joihin voisi olla yhteydessä epäselvissä maadoituksen asioissa olisi tärkeää. Tällä hetkellä ei ole selkeää listaa, keihin voisi olla yhteydessä. Kaikilla ei ole edes tiedossa, että hankkeella on nimitettyä maadoituksiin koordinaattori, johon voisi olla yhteydessä.

Selvästi olisi tarvetta myös tuotannon henkilölle, joka olisi keskittynyt ja perehtynyt hankkeen maadoituksiin ja joka on ajan tasalla työmaan aikataulusta. Henkilö tekisi yhteistyötä tuotannon ja suunnittelun välillä niin, että esimerkiksi työnjohtajat voisivat olla tähän henkilöön yhteydessä epäselvistä asioista ja hän voisi selvittää tarpeen vaatiessa asiaa myös suunnittelun kanssa. Henkilö myös

seuraisi, mitä maadoituksia on tehty ja milloin niitä ollaan tekemässä, voisi varmistaa että maadoitus toteutetaan oikein ja vaadittavat dokumentoinnit tehdään.

Työmaalle niin työnjohtajille kuin rakentajille olisi hyvä toteuttaa selkeää perehdytys miten maadoitus toteutetaan ja selkeyttää miksi maadoituksia tehdään. Varsinkin raitiotien maadoituksista olisi tarpeellista toteuttaa perehdytystä, jottei esimerkiksi radan ja radan ulkopuolisia maadoituksia sijoitettaisi liian lähelle ja selvennettäisiin, miksi on tärkeää toteuttaa osa maadoituksista putkituksella.

5 Työmaaohje KSA Hakaniemen osaprojektille

Opinnäytetyön taustaselvitysten pohjalta laadittiin Hakaniemen osaprojektia varten työmaaohje, johon on tiivistetty mahdollisimman lyhyeen sekä yksinkertaiseen muotoon miten osaprojektin infrarakentamisen kohteiden maadoitus on toteutettava. Ohjeen osaa maadoitetuista kohteista ja niiden toteutuksista voidaan antaa ohjeena työmaalla ja toteutus tulisi onnistua niiden pohjalta. Ohje on kokonaisuudessaan liitteenä 1.

5.1 Ohjeen sisältö

Ohjeen alussa on kerrottu, miten maadoitusjohtimen c-liitos toteutetaan, sekä muistutetaan, että maadoitetuista rakenteista on otettava valokuva infrakit-palveluun sekä tarkemittaus. Niiden kohteiden kohdalla, joissa on tehtävä resistanssin mittaus, on siitä maininta.

Työmaan toiveesta kohteiden maadoitusten toteutukset on kirjoitettu mahdollisimman yksinkertaiseen ja lyhyeen muotoon. Kohteista on kerrottu mitä materiaaleja on käytettävä, mihin maadoitus on asennettava ja kuinka syvälle maanpinnasta, tarvittavat huomioitavat asiat sekä se, että tarkemman maadoituksen reitin löytää hankkeen maadoituskartasta. Maadoitukset on jaettu tarpeen mukaan myös VATU-alueen ja VATU-alueen ulkopuolisiin ohjeisiin, jos hankkeella kohteita esiintyy molemmissa.

Kohteiden jälkeen ohjeessa on kerrottu uudestaan miten maadoitusten dokumentointi on tehtävä työmaalla sekä kerrottu lyhyesti maadoituksen resistanssista ja kohteista, joista tämä on mitattava. Seuraavaksi ohjeessa kerrotaan lyhyesti maadoituksista yleisesti ja hankkeella kuten mikä on VATU ja miten raitiotienjärjestelmät ja sen ulkopuoliset järjestelmät on pidettävä erillään. Lopuksi kerrotaan lyhyesti käytetyistä materiaaleista sekä hankkeen ohjekorteista maadoitukseen liittyen.

5.2 Johtopäätökset työmaaohjeesta

Ohje on vastaus työmaan tarpeeseen tuoda yhteen pääpointit maadoituksen toteutuksesta selkeässä muodossa. Varsinkin kesän kiirekautta lähestyessä, helpottaa ohje työnjohtoa sekä rakentajia. Ohjeen avulla voidaan välttämään ainakin osittain samat virheet, jotka ovat toistuneet hankkeelta toiselle. Ohje voidaan ottaa käyttöön ja testata työmaalla ja testauksen jälkeen sitä voidaan parantaa tarpeen mukaan.

Ohjetta on jatkossa tarpeen mukaan päivitettävä, sillä muutokset suunnitelmiin ovat yhä mahdollisia. Jotta ohje pysyisi ajan tasalla, tulisi siihen olla nimettynä tietty henkilö, joka pitää ohjeen ajantasaisuudesta huolen. Yhdessä ohjeen kanssa on hyvä käyttää osaprojektin maadoituskarttaa, johon maadoituskoordinaatti on koonnut kartalle maadoitusten sijainnit.

Ohje ei kuitenkaan poista maadoituksista nousseita ongelmia, joita on esiintynyt suunnittelun tasolla. Se, että suunnittelijoiden sähkötekkinen osaaminen oman tekniikkalajin maadoitusten toteutukseen saattaa olla puutteellinen, johtaa helposti siihen, että suunnitelmiin tulee virheitä tai ei osata ottaa esimerkiksi VATU- aluetta tarpeeksi huomioon. Jos virhe tai puute huomataan vasta työn toteutuksen jälkeen, voidaan pahimmassa tapauksessa maadoituksen takia joutua purkamaan jo valmiita rakenteita.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyö tehtiin Kruunusillat allianssille, sillä tarve ohjeelle infrarakentamisen maadoitusten tekoon oli tullut esiin tällä sekä aikaisemmilla raitiotien allianssihankeilla. Työn tavoitteena oli selventää epäselvyydet ja luoda ohje, jossa suunnitelmien toteutukset ovat koottuina yhteen.

Infrarakentamisen maadoitukset -luvussa käytiin läpi maadoituksen yleisperiaatteita, maadoitustapoja ja niiden käyttöä eri infrarakentamisen kohteissa sekä miten maadoitusten laadunvarmistusta toteutetaan työmaalla.

Yleisperiaatteista käytiin läpi muun muassa, miksi maadoituksia on tehtävä, maadoitusjärjestelmän tarkoituksia, suunnittelun lähtökohtia sekä avattiin yleisimpiä maadoituksen termejä.

Maadoitustavoista kerrottiin, millä erilaisilla tavoilla maadoituksia voidaan toteuttaa sekä käytiin läpi maadoituselektrodin, maadoitusjohtimen sekä VLD-laitteen tarkoitus ja käyttö sekä maadoitusjohtimien liitokset. Järjestelmistä kerrottiin laajan sekä yhteen liitetyn maadoitusjärjestelmän käyttötarkoitukset.

Maadoitustapojen käytöstä eri kohteissa kerrottiin, miten sähköaseman, rautatiealueen, Helsingin keskijänniteverkon, taitorakenteiden sekä raitiotien tunneliosuudet maadoitetaan. Lopuksi luvussa kerrotaan, kuinka maadoitusten laadunvarmistus tulisi toteutua työmaalla sekä tarkemmin maadoitusten resistanssin mittauksesta.

Case Kruunusillat allianssi luvussa käsiteltiin aluksi hankkeen yleisesittelyä ja kerrotaan tarkemmin, mikä hankkeen tarkoitus on ja keitä sen osapuolet ovat. Tämän jälkeen käytiin läpi mihin hankkeen eri maadoitettavien kohteiden suunnittelu perustuu sekä raitiotien ja sen ulkopuolisten järjestelmien eroista. Suunnittelun jälkeen käydään läpi maadoituskohteet sekä niiden maadoitusten toteutus. Kohteet on jaettu kahteen eri alueeseen, raitiotien maadoituskohteisiin sekä sähköverkon maadoituskohteisiin. Lisäksi luvussa on käsitelty, kuinka hankkeen työmaalla toteutetaan maadoitusten laadunvarmistus, sekä mitkä

kohteista on sellaisia, joista maadoitusresistanssi on mitattava ja mitkä niiden vaatimukset ovat.

Case KSA haasteet ja kehitystarpeet luvussa käytiin läpi haastatteluista, jotka toteutettiin työtä varten. Haastatteluihin valittiin 11 henkilöä, jotka ovat olleet mukana yhdellä tai useammalla raitiotien allianssilla, ja jotka ovat olleet tekemisessä maadoitusten kanssa joko suunnittelussa tai tuotannossa. Haastatteluiden vastaukset on jaoteltu teemoittain sekä suunnitteluun liittyvien ja tuotantoon liittyvien vastausten mukaan. Luvun lopuksi on johtopäätökset haastatteluiden läpikäynnistä.

Työmaaohjeen luvussa kerrottiin työmaaohjeen tarpeesta, kuinka se toteutettiin ja sen sisällöstä. Sisällöltään ohjeessa on tiivistettynä tästä työstä maadoituskohteet sekä niiden toteutustavat, kuinka kohteet tulee dokumentoida työmaalla, maadoituksen resistanssin mittaaminen, maadoituksen yleisperiaatteet hankkeella, käytettävät materiaalit, hankkeen ohjekortit sekä henkilöt, joihin hankkeella voi olla yhteydessä maadoituksen asioissa. Luvun lopussa on johtopäätökset työmaaohjeesta.

Lähteet

- 1 Ylinen, T. 2016. Maadoitusopas. 3. painos. STUL ry. Helsinki. ISBN 978-952-231-187-0
- 2 SFS 6001 2018. Suurjännitesähköasennukset. 5. painos. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki
- 3 Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus. <https://www.stek.fi>. Luettu 20.2.2023
- 4 Tiainen, E., Nurmi, T. & Koivisto, P. 2019. Maadoituskirja 7. painos. Sähköinfo Oy. Helsinki. ISBN 978-952-231-273-0.
- 5 Granlund, M., Männikkö, J., Saarro, J. & Tiippana, E. 2010. Väylävirasto ohje 13/2010, Rautatiealueelle tulevien kiinteiden laitteiden ja rakenteiden maadoitussuunnittelu. Väylävirasto. Helsinki. ISBN 978-952-255-556-4.
- 6 SFS 6000 2022. Pienjännitesähköasennukset. 5. painos. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki
- 7 Rakennustietosäätiö RTS. 2022. InfraRYL. Rakennustieto Oy. ISBN 978-952-267-213-1
- 8 Maadoitus- ja sähköturvallisuusohje. 2023. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti.
- 9 STK-tietopalvelut Oy. <https://www.sahkonumerot.fi>. Luettu 29.3.2023
- 10 Maadoitusperiaatteet keski- ja pienjänniteverkoille. 2023 Helen Sähköverkko Oy. Julkaisematon yhtiön dokumentti.
- 11 Taitorakenteiden maadoitusperiaate. 2021. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti.
- 12 Maadoitus- ja sähköturvallisuusohje. 2021. Raide-Jokeri. Julkaisematon hankkeen dokumentti.
- 13 ST 53.22. 2016. Maadoitusresistanssin mittausta. Espoo: Sähkötieto Ry.
- 14 Kruunusillat. <https://www.kruunusillat.fi> luettu 7.3.2023

- 15 Holvilainen, C. 2015. Ohje: Helsingin kaupungin ulkovalaistusverkkoon liitettävien laitteiden maadoitus- ja syöttöperiaate. Helsingin kaupunki.
- 16 Sähköposti. Kari Rossi. Sweco Finland Oy, Vanhempi konsultti. 5.4.2023.
- 17 Tyypikuva, Pysäkkikeskuksen maadoitusperiaate, Pysäkkikeskus VATU-alueen ulkopuolella. 2022. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti.
- 18 Tyypikuva, Pysäkkikeskuksen maadoitusperiaate, Pysäkkikeskus VATU-alueella. 2022. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti.
- 19 Tyypikuva Vaihteenohjauksen syöttö- ja erotinpylvään maadoitusperiaate. 2022. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti.
- 20 Sähköposti. Atte Rautanen. Vahvavirta-asiantuntija, Sweco Finland Oy, Rami Aavasalo. Vahvavirtasuunnittelu ja sähkönsyötön mitoitus. Sweco Finland Oy. 31.3.2023.
- 21 Maadoituskartta. 2022. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti.
- 22 Tyypikuva MEH syöttö- ja erotinpylvään maadoitusperiaate. 2022. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti
- 23 Suunnitelma Maadoitus- ja paluuvirtatiesuunnitelma HAK02. 2022. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti
- 24 Markkanen, O., Yrttiaho, J., Rinne, T., Hovilainen, C., Karjalainen, T., Takala, H. & Turunen, A. 2020. Helsingin kaupungin ulkovalaistuksen yleiset laatuvaatimukset. Helsingin kaupunki.
- 25 Maadoitussuunnitelma VATU-alueen tukimuuri Hakaniemenranta. 2021. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti.
- 26 Merihaankadun mitta-asema sähkö maadoituskaavio. 2022. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti.
- 27 Näkinsillan pumppaamo SIA maadoituskaavio. 2021. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti.
- 28 Näkinsillan pumppaamon VHT asemapiirustus. 2022. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti.

- 29 Sähkönsyöttöasema HAK12 10kV 750 VDC maadoituskaavio. 2021. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti.
- 30 Sähkönsyöttöasema HAK12 maadoituselektrodi asennuksen periaatekuva. 2021. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti.
- 31 Merihaansilta maadoituspiirustus. 2022. Kruunusillat allianssi. Julkaisematon hankkeen dokumentti.
- 32 Väylävirasto. 2004. Tyyppi- ja maadoituspiirustus 12/245 Liikennevalot Järjestelmän maadoitus ja potentiaalintasaus.

Liite 1 Työmaaohje maadoituksista KSA Hakaniemen osaprojekti

Raitiotien pysäkkialue
Keskukset <ul style="list-style-type: none">• Pysäkkikeskus• Liikennevalokeskus• Pienjännitekeskus• Ulkovaistutuskeskus• Vaihteenlämmityskeskus• Saattolämpökeskus• Vaihteenlämmitys- ja vaihteenohjauskeskus
Syöttöpylväät <ul style="list-style-type: none">• Vaihteenohjauksen syöttöpylväs• MEH-syöttöpylväs
Linja-autopysäkki
Yhteiskäyttökaivo
Poliisikamera
Ulkovaistutuksen jalusta
Tukimuuri
Paineentasausputki

Maadoitettavat kohteet

Mikäli maadoitusjohdinta joudutaan jatkamaan, tulee luotettavan liitoksen saamiseksi käyttää kahta c-liitintä. Liitoksen pituuden tulee olla vähintään 200 mm ja johtimien tulee olla rinnakkain.

Maadoitusten sijainnit näkyvät kootusti hankkeen maadoituskartassa.

! Kaikista maadoituksista tulee ottaa valokuva, joka lisätään infrakit-palveluun sekä tarkkeet !

Raitiotien pysäkkialue

Maadoitettavat kohteet yhdistetään pysäkin kaapelikaivon potentiaalitasauskiskoon joko eristetyllä 6 mm² tai 95 mm² kuparijohtimella. Maadoitusten reitit sekä käytettävät johtimet sekä niiden pituudet näkyvät maadoitus- ja paluuvirtatiesuunnitelmasta.

Pysäkkikeskus (sisältää raitiotien pysäkin maadoituksen) **Mitattava maadoituksen resistanssi!**

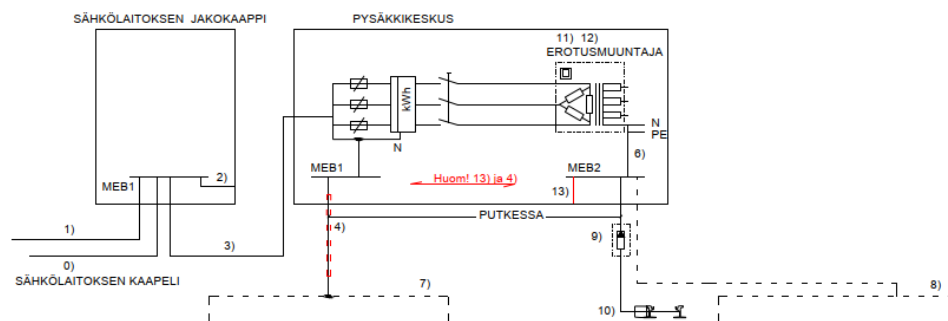
Keskukselta lähtevät johtimien päät jätetään keskukselle niin, että ne saadaan asennettua kaappiin.

VATU-alueella

Keskukselta sähkölaitoksen maahan lähtee eristetty 16 mm² kuparijohdin putkituksessa vähintään 2,5 m päähän eristettynä ratamaan maadoituselektrodista ja radan maadoituksista. Kaapelia jatketaan eristämättömällä 16 mm² maadoituskuparilla 25 m vähintään 0,7 m maanpinnasta. Asennetaan esimerkiksi sähkölaitoksen syöttökaapelin kaivantoon.

Keskukselta ratamaan maahan lähtee kaksi maadoitusta, toinen suojaputkessa ja toinen ilman putkitusta.

Putkitettu maadoitus vie radan VLD-F laitteelle. Putkeen asennetaan eristetty 95 mm² kuparijohdin. Ratamaan puolen toinen maadoitus on ratamaan maadoituselektrodi, joka tehdään eristämättömällä 16 mm² kuparijohtimella 25 m vähintään 2,5 m etäisyydellä sähkölaitoksen maasta ja kaikista sähkölaitoksen maahan maadoitetuista rakenteista. Maadoitus voidaan asettaa esimerkiksi VATU-alueella pysäkin putkireitin kaivantoon.

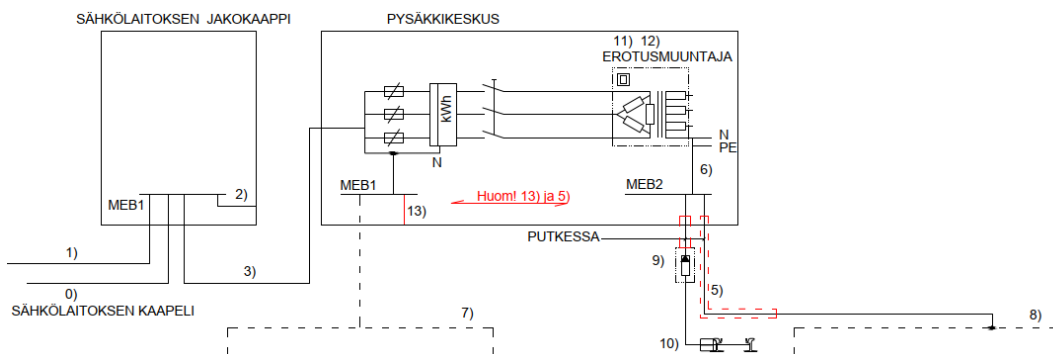


VATU-alueen ulkopuolella

Keskukselta sähkölaitoksen maahan lähtee sähkölaitoksen maan maadoituselektrodina eristämätön kuparijohdin 16mm² 25 m. Asennetaan esimerkiksi sähkölaitoksen syöttökaapelin kaivantoon vähintään 0,7 m maanpinnasta. Maadoituksen tulee mennä vähintään 2,5 m etäisyydellä ratamaasta ja kaikista ratamaahan maadoitetuista rakenteista.

Keskukselta ratamaahan lähtee kaksi suojaputkea. Toinen putkista menee radan VLD-F laitteelle, johon yhdistys tehdään eristetyllä 95 mm² kuparijohtimella.

Toinen putkitus vie radan kaapelikaivolle. Maadoitus tehdään eristetyllä 16 mm² kuparijohtimella. Kaivolta maadoitusta jatketaan potentiaalitasauskiskoon kautta eristämättömällä 16 mm² kuparikaapelilla 25 m. Asennetaan esimerkiksi VATU-alueella pysäkin putkireittien kaivantoon tai pysäkkikatoksen pohjalaatan ympärille vähintään 0,7 m maanpinnasta.



Liikennevalokeskus **Mitattava maadoituksen resistanssi!**

VATU-alueella

Eristämätön 16 mm² kuparijohdin asennetaan 25 m pituudella kaapelikaivantoon vähintään 0,7 m syvyyteen. Keskukselta lähtevä johtimen pää jätetään keskukselle niin, että se saadaan asennettua kaappiin.

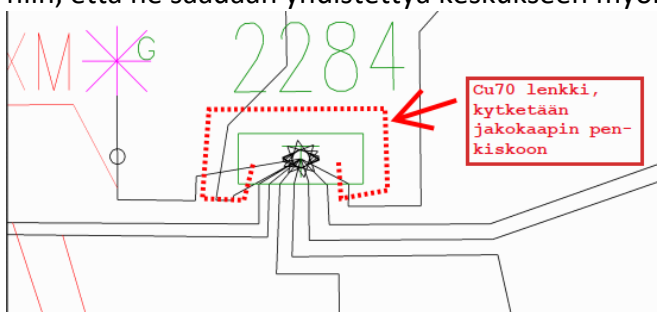
VATU-alueen ulkopuolella

Maadoitus viedä eristetyksi alueen ulkopuolelle vähintään 2.5 m päähän alueen rajasta. Eristys tehdään muoviputkella, jonka sisällä kuparina käytetään eristettyä 16 mm² kuparijohdinta. VATU-alueen ulkopuolelta maadoitusta jatketaan eristämättömällä 16mm² kuparijohtimella 25 m.

Keskukselta lähtevä johtimen pää jätetään keskukselle niin, että se saadaan asennettua kaappiin.

Pienjännitekeskus

Keskuksen jalusta ympärille noin 0,7 m maanpinnasta asennetaan eristämätön 70 mm² maadoituskupari silmukan muotoisesti keskuksen jalustan ympärille niin, että johtimen päät tuodaan kaapille. Mikäli maadoitusjohdinta ei saa asennettua lenkin muotoon, toteutetaan maadoitus vaakatasossa kahteen eri suuntaan, jättäen kaapilta lähtevät päät niin, että ne saadaan yhdistettyä keskukseseen myöhemmin.



Ulkovalaistuskeskus

Eristämätön 16 mm² kuparijohdin asennetaan silmukan muotoisesti noin 0,7 m maanpinnana alapuolelle keskuksen jalustan ympärille tai kaapelikaivannon reunaan pohjaan ja asennusalueen rajapintaan siten, että vain toinen pää tuodaan ylös keskukselle ja toinen pää jää maahan. Vähimmäispituus maadoitusjohtimelle maassa on 20 m.

Vaihteenlämmityskeskus

Eristämätön 16 mm² kuparijohdin asennetaan silmukan muotoisesti noin 0,7 m maanpinnana alapuolelle keskuksen jalustan ympärille tai kaapelikaivannon reunaan pohjamaan ja asennusalueen rajapintaan siten, että vain toinen pää tuodaan ylös keskukselle ja toinen pää jää maahan. Vähimmäispituus maadoitusjohtimelle maassa on 20 m.

Saattolämpökeskus

Eristämätön 16 mm² kuparijohdin asennetaan noin 0,7 m maanpinnasta 25 m esimerkiksi kaapelikaivannon reunaan pohjamaan ja asennusalueen rajapintaan siten, että vain toinen johtimen pää tuodaan ylös keskukselle ja toinen pää jää maahan.

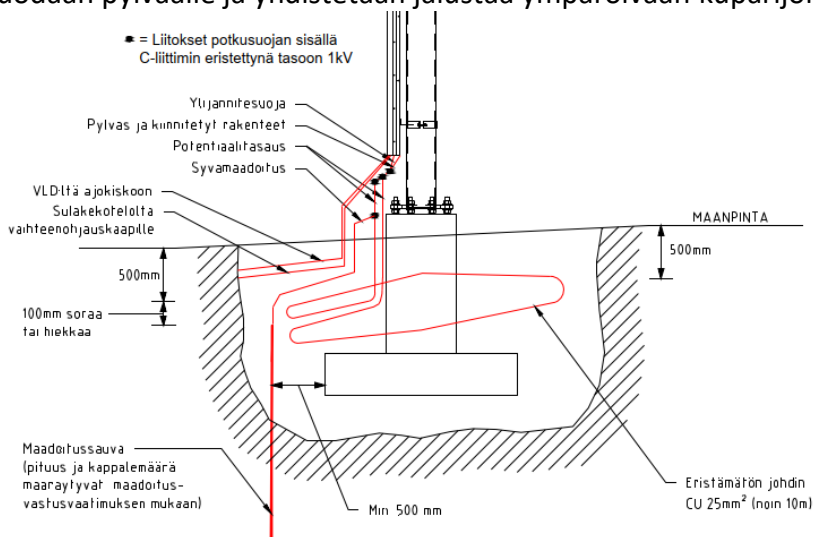
Vaihteenlämmitys- ja vaihteenohjauskeskus

Eristämätön 16 mm² kuparijohdin asennetaan silmukan muotoisesti noin 0,7 m maanpinnana alapuolelle keskuksen jalustan ympärille tai kaapelikaivannon reunaan pohjamaan ja asennusalueen rajapintaan siten, että vain toinen pää tuodaan ylös keskukselle ja toinen pää jää maahan. Vähimmäispituus maadoitusjohtimelle maassa on 20 m.

Vaihteenohjauksen syöttöpylväs **Mitattava maadoituksen resistanssi!**

Eristämätön 25 mm² kuparijohdin kiepautetaan jalustan ympärille noin 0,7 m maanpinnasta. Pituus noin 10 m. Johtimen molemmat päät tuodaan jalustan pylväälle.

Maadoitussauvan voi asentaa jalustan ympärille asennushetkellä sopivimpaan kohtaan. Sauva tulee asentaa vähintään 500 mm päähän syöttöpylvään jalustasta, kunhan ei kadun alle. Sauva lyödään maahan niin, että sen pää tulee 600 mm maanpinnan alapuolelle. Sauvan päässä olevaan liitospisteeseen yhdistetään maadoituselektrodi, joka tuodaan pylväälle ja yhdistetään jalustaa ympäröivään kuparijohtimeen c-liittimellä.



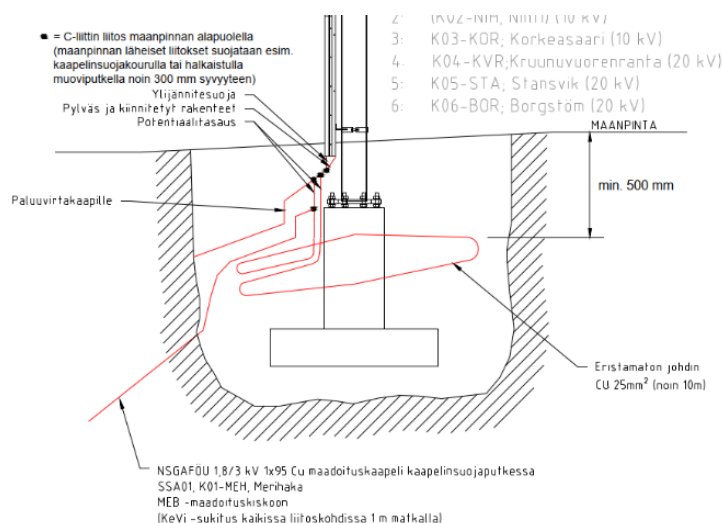
MEH-syöttöpylväs **Mitattava maadoituksen resistanssi!**

Sisältää kolme eri maadoitusjohtinta.

Eristämätön 25 mm² kuparijohdin asennetaan jalustan ympärille noin 10 m lenkinä ja johtimen molemmat päät tuodaan jalustan pylväälle. Johdin tulee asettaa vähintään

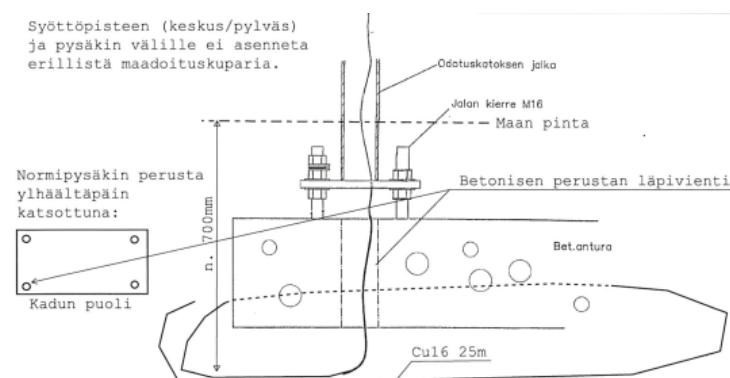
0,7 m maanpinnan alapuolelle. Kuparin molemmat päät liitetään pylvästä tulevaan potentiaalintasausjohtoon c-liittimellä. Liitos tulee olla maanpinnan alapuolella. Eristetystä 95 mm² johtimista toinen vieään paluuvirtakaapille ja toinen Merihaan sähkönsyöttöasemalle. Molemmille tulee asentaa kaapelinsuojaputki, joihin johdin asennetaan. Johtimet liitetään jalustan maadoituskupariin c-liittimellä. Sähkönsyöttöasemalle menevän johtimeen tulee tehdä johtimen sukitus kaikissa liitoskohdissa 1 m matkalla.

Maanpinnan läheiset c-liitokset tulee suojata esimerkiksi kaapelinsuojakourulla tai halkaistulla muoviputkella noin 300 mm syvyydessä.



Linja-autopysäkki

Pysäkin perustuksen ympärille asennetaan eristämätön 16 mm² maadoituselektrodi siten, että toinen pää nostetaan ylös pysäkin katoksen jalalle ja loppuosa kiertää perustuksen 25 m. Elektrodi kulkee katoksen jalalta maahan perustan läpiviennin kautta! Asennussyvyys on noin 0,7 m.



Yhteiskäyttökaivo

Eristämätön 16 mm² kuparijohdin asennetaan vähintään 0,7 m maanpinnasta kaivolle tulevien kaapelien kaivannon pohjalle 20 m ja 5 m jätetään kaivon sisälle. Läpivienti kaivon johtimelle kulkee suojaputkille porattujen reikien alareunasta. Mikäli erillistä kaapelikaivantoa ei tehdä kaivon asennuksen yhteydessä, kaivetaan erikseen vaadittava vaakamaadoitus tai asennetaan kaivon vaatimusten mukainen pystymaadoitus.

Poliisikamera

Eristämätön 16 mm² kuparijohdin asennetaan 25 m kaapelikaivannon reunaan pohjamaan ja asennusalustan rajapintaan vähintään 0,7 m maanpinnasta siten, että vain toinen pää tuodaan ylös keskukselle ja toinen pää jää maahan.

Ulkovalaistuksen jalusta

VATU-alueella

Maadoitus viedään VATU-alueen ulkopuolelle eristetyllä 16 mm² kuparijohtimella, asennettuna kaapelisuoja-putkeen. VATU-alueen ulkopuolelta maadoitus jatkuu eristämättömänä 16 mm² kuparijohtimena 25 metriä. Jalustalta lähtevä johtimen pää jätetään jalustalle niin, että se saadaan asennettua valaisinylvääseen.

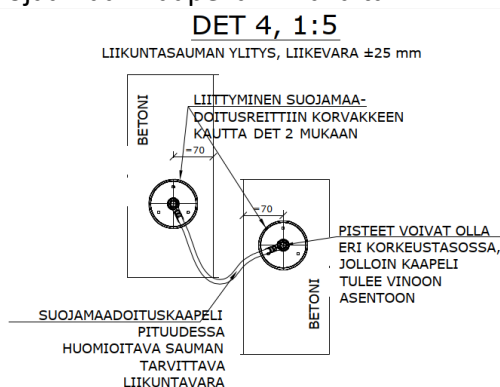
VATU-alueen ulkopuolella

Eristämätön 16 mm² kuparijohdin asennetaan jalustan ympärille yhden kierroksen, jonka jälkeen asennetaan kaapelikaivannon reunaan pohjamaan ja asennusalustan rajapintaan vähintään 0,7 m maanpinnasta. Johtimen pituus 20 m. Jalustalta lähtevä johtimen pää jätetään jalustalle niin, että se saadaan asennettua valaisinylvääseen.

Tukimuri

Liikuntasauaman yli

Liikuntasauaman molemmin puolin varustetaan maadoitusliittimillä, jotka yhdistetään eristetyllä 95 mm² kuparijohtimella. Johtimen pituudessa on huomioitava sauman tarvittava liikuntavara, +/- 25 mm. Liitäntäpiste tulee olla mahdollisimman lähellä maanpintaa, mutta kuitenkin maanpinnan päällä. Kaapelin päälle tulee asentaa suojakouru suojaamaan kaapelia ilkeivallalta.



Tukimuurin ja VLD-F-laitteen välinen maadoitus

Tukimuurin liittimestä viedään yhdistys VLD-F-laitteelle eristetyllä 95 mm² kuparijohtimella. Johdin asennetaan kaapelisuoja-putkeen.

Paineentasausputki

Maadoitus tehdään hitsaamalla putkeen HST-kannake, johon kiinnitetään tinatulla kaapelikengällä ja HST-pultilla kirkas 16 mm² maadoitusjohdin. Putken maadoituskupari liitetään pumppaamon maadoituskupariin kolmella tinatulla c-liittimellä.

Maadoitusten dokumentointi työmaalla

Maadoitukset tulee dokumentoida seuraavilla tavoilla

- Valokuvaus infrakit-palveluun maadoitusrakenteesta, suorittaa työnjohtajat.
- Tarkkeiden otto, suorittaa mittamies.
- Jos erikseen vaadittu, niin maadoitusrakenteen resistanssin mittaus

Maadoituksen mittaus

Maadoituksista mitataan sen maadoitusresistanssia, jolla tarkoitetaan sähköistä vastusta, joka on mitattu maadoitusjohtimesta. Mittaus on tehtävä aina silloin, kun maadoitusresistanssille on määrätty suurin sallittu arvo.

Mitattavat kohteet:

Liikennevalokeskus → alle 30Ω

Syöttöpylväät → alle 100Ω

Pysäkkikeskus → alle 100Ω

Yleistä maadoituksesta

Maadoituksen tarkoituksena on tehdä sähköasennuksien toiminnasta turvallinen ja luotettava käyttää. Maadoitusjärjestelmällä saadaan aikaan maahan johtava yhteys, jota käytetään sähköiskulta suojaamiseen sekä häiriösuojaukseen.

Raitiotien maadoitettaviksi rakenteiksi määritellään seuraavat rakenteet ja kohteet:

- VATU:n sisällä kokonaan tai osittain olevat sähköä johtavat rakenteet
- Pysäkkialueella olevat sähköä johtavat rakenteet

Pieniä johtavia rakenteita ei tarvitse maadoittaa. Ensisijaisesti pienillä kappaleilla tarkoitetaan aitoja, liikennemerkkejä, yksittäisiä pylväitä, kaivonkansia, kasvualustoja tai näihin rinnastettavia rakenteita.

Raitiotiejärjestelmän ulkopuoliset järjestelmät

Raitiotien ja ulkopuolisen jakeluverkon maadoitusjärjestelmään liitettyjen sähköä johtavien rakenteiden yhtäaikainen koskettaminen tulee estää. Jos koskettamista ei ole muutoin estetty, tulee rakenteiden välillä olla vähintään 2,5 m kosketusetäisyys. Vaatimus koskee kaikkia rakenteita, jotka on liitetty maadoitusjärjestelmiin.

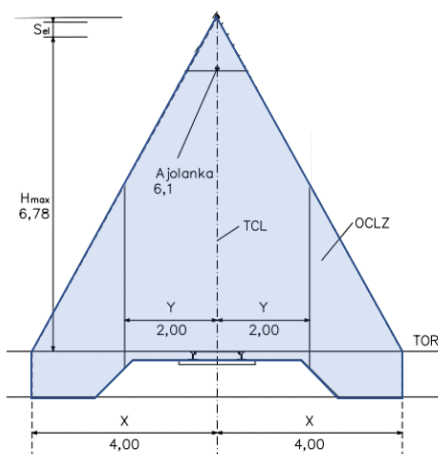
Raitiotien suojattava alue: Alue muodostuu VATU ja VIVA -alueista. Alueen sisäpuolella olevat sähköä johtavat rakenteet eristetään tai suojamaadoitetaan VLD-F-laitteen kautta raitiotien paluuvirtapiiriin sähköä aiheuttamien vaarojen poistamiseksi. VLD-F-laitte on raitiotien kiskon ja perusmaan välistä potentiaaliero rajoittava laite.

Vaaraulottuma (VATU): Alue, jonka sisäpuolella ajojohdon katkeaminen tai virroittimen vaurioituminen aiheuttaa sähköiskun vaaran.

Virroittimen vaara-alue (VIVA): Alue, jonka sisäpuolella virroittimen vaurioituminen aiheuttaa sähköiskun vaaran.

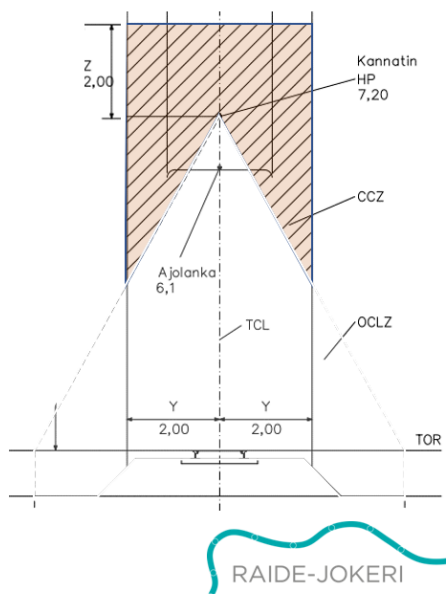
VATUn kolmio

- LANKA VAURIO
- SISÄLLÄ OLEVAT SUOJATTAVA



VIVA

- VIRROITINVAURIO
- SISÄLLÄ OLEVAT SUOJATTAVA



Mitä eroa raitiotien ja sen ulkopuolisella maadoituksella?

Raitiotien verkko ei ole yhteydessä suoraan kantaverkkoon, vaan se on erotettu muuntajan kautta. Radan ja sen ulkopuoliset maadoitukset eroavat myös siten, että rata tarvitsee paljon enemmän kosketussuojausta ja jokainen metallinen ja johtava rakenne pitää maadoittaa.

Miksi maadoitus kulkee välillä putkessa ja välillä ei?

Radan ulkopuolinen maadoitus kulkee putkessa silloin, kun maadoitus joudutaan viemään VATU-alueelta sen ulkopuolelle eristettynä. Tällä taataan se, ettei radan ja sen ulkopuoliset maadoitukset sekoitu keskenään. Putkessa kulkeva maadoitus tehdään eristetyllä kuparikaapelilla. Kun maadoitus on saatu vietyä rajan ulkopuolelle, jatkuu maadoitus ilman putkea eristämättömällä kuparijohtimella.

Radan maadoitukset kulkevat pääsääntöisesti kokonaan putkessa, sillä rakenteet ovat täysin maasta eristettyjä ja omalla verkolla, jotta hajavirtoja ei syntyisi. Hajavirrat syövyttäisivät rakenteita pikkuhiljaa.

Miksi kuparijohtimen paksuus vaihtelee?

Kuparijohtimen poikkipinta-ala vaikuttaa johtimen resistanssiin, eli sähköiseen vastukseen. Eri kohteilla voi olla erilaiset maadoituksen resistanssin vaatimukset.

Radalla maadoituksen johdin on yleensä paksumpi, koska rata tarvitsee paljon enemmän kosketussuojausta.

Käytettävät materiaalit

Maadoituselektrodi - Johtava osa, joka on sähköisessä yhteydessä maahan ja voi olla upotettu erityiseen johtavaan väliaineeseen esim. betoniin.

Vaakamaadoituselektrodi - Elektrodi, joka upotetaan vaakasuorana maahan vähintään 0,7 m syvyyteen. Se voi olla nauhaa, köyttä tai pyörötankoa ja siitä voidaan muodostaa säteittäinen, rengasmainen tai verkkomainen maadoituselektrodi tai näiden yhdistelmä. Elektrodi voi olla eristämätöntä tai eristettyä kuparia.

Maadoitusteräs - Maahan upotetun betonirakenteen hitsattuja teräksiä, jotka toimivat maadoituselektrodina

VLD-F (Voltage Limiting Device) - Raitiotien kiskon ja perusmaan välistä potentiaaliero rajoittava laite, joka ei ole sähkötekniisesti johtava normaaleissa käyttöolosuhteissa. Vikatilanteissa, katkenneen ajolangan osuessa maadoitettuun rakenteeseen, VLD on sähkötekniisesti johtava.

C-liitin – Kuparinen puristusliitin, jolla yhdistetään kuparijohtimet. Liitoksen pituuden tulee olla vähintään 200 mm ja johtimien tulee olla rinnakkain. Muita käytettyjä materiaaleja on mm. kiinteä maadoitusliitin, HST kannake ja pultti sekä tinattu kaapelikenkä.

Ohjekorttikokoelma

Ohjekorttien koontilista: ID 20429

Pysäkkialueen maadoitustyöt (luonnos) ID 20154

Liikennevalo- ja sähkökeskuksen asennus ID 20124

Radan maadoitukset ja kaapelointi (luonnos) ID 22348

Liikennevalo- ja sähkökeskuksen asennus (kesken) ID 20124

Maadoitukset ja kaapelointi – tietotuokio ID 22348

Liite 2 Haastattelut ilman nimiä

Haastateltavat ovat merkitty numeroina.

Haastateltavat 1, 2, 3, 4, 9 työskentelevät tuotannon parissa.

Haastateltavat 5, 6, 7, 8, 10, 11 työskentelevät suunnittelun parissa.

Mitkä oli haasteet Tampereen ratikassa/Raide-Jokerissa maadoitusten osalta? / Kehityskohteet

1: Molemmissa oli haasteina, ettei maadoituksia ollut toteutettu suunnitelmien mukaan. Esimerkiksi putkia oli jäänyt tekemättä tai ne olivat tukossa. Siltakoh-teissa jos putkitusten teko oli jäänyt valun aikaan asentamatta, niin putkituksia olisi hankala ollut lisätä jälkikäteen, jolloin putkia jouduttu tehdä pintavetoina tai keksiä muita ratkaisuja. Silloissa on puuttunut myös maadoituskorvakkeita tai ne on asennettu väärin paikkoihin. Radan suhteen ei yleensä ole ollut ongelmia putkireiteissä. Puuttuvia putkia on saatu myös itse kaivettua jälkikäteen, vaikka ne ei suoranaisesti olisi kuulunut radanrakentajien töihin.

Haasteena on myös esiintynyt suunnitelmien muuttuminen. Tieto muutoksista ei ole aina kulkenut eteenpäin työmaalle, jolloin herkästi saattanut jäädä putkituk-sia tekemättä.

2: Tampereen ratikassa maadoitusten isoin ongelma oli, että suunnitelmat olivat hyvin puutteelliset maadoitusten osalta. Koska suunnitelmissa oli ollut puutteita, havahduttiin maadoitusten tarpeisiin vasta, kun valmista pintaa oli jo tehty. Suunnitelmissa ei ollut huomioitu esimerkiksi VATU-aluetta, ja että kaikki alueen kaiteet, roskakorit yms. pitäisi maadoittaa. Myös esimerkiksi tiekaiteita jouduttiin pätkimään jälkikäteen lyhyemmiksi, ettei kaidetta jouduttaisi maadoittamaan jäl-kikäteen. Sepeliradan osuudella maadoituksia oli helpompi tehdä myös päälly-srakenteiden teon jälkeen.

Raide-Jokerilla tilanne ei ollut aivan yhtä paha, mutta Helsingin puolella pystyt-tiin ottamaan oppia Espoon virheistä, jossa pintarakenteet tehtiin aikaisemmin. Detalji kuvia ei ollut tehty valmiiksi, joista olisi nähty miten mitäkin olisi pitänyt tehdä. Suojauksen kanssa olisi pitänyt olla myös tarkempia, sillä ennen talvea

asennetut maadoitusjohdot rikkoituivat talvella aura-auton ajosta. Ongelmana oli myös se, että työmaalta varastettiin keskeneräisistä maadoituksista maadoitusjohtoja.

3: Isoimpana haasteena oli suunnitteluiden välinen yhteistyö. Rakenteita suunnitellessa suunnittelijoiden pitäisi tehdä enemmän yhteistyötä sen suhteen, että he tietäisivät mitä tulisi maadoittaa, jottei suunnitelmat olisi puutteellisia.

Haastetta oli myös kolmansien osapuolten kanssa. Esimerkiksi kaapelikaivojen kohdalla suunniteltiin vain se, mihin kaivo asennetaan, mutta ei sitä, tarvitseeko sitä maadoittaa. Raide-jokerilla ei tarvinnut kuitenkaan valmiita pintoja rikkoa, jotta kaivoihin saataisiin maadoitukset jälkikäteen. Kolmansien osapuolten tekniikka ei ollut huomionnut maadoituksia suunnittelussa, vaan tieto maadoituksen tarpeesta oli tullut jälkikäteen.

Alkuun ongelmana oli se, ettei suunnitelmat olleet tarpeeksi kattavia. Kun tämä saatiin korjattua, oli suunnitelmat tehty liian sähköteknisiksi, eikä maarakentajat ymmärtäneet niitä. Tähän auttoi se, että tuotantoon saatiin henkilö, joka osasi selkeyttää suunnitelmia tuotannolle. Myös se havaittiin haasteena, että alueen maadoitukset ei ollut laitettu yhteen ja samaan suunnitelmaan tarkastettavaksi. Tähän olisi helpottanut, jos olisi ollut maadoituskartta, johon kaikki maadoitukset olisi koottu.

4: Haasteina oli VATU-alue ja se, että sen sisällä olevat kohteet pitää olla maadoitettuna. Tämä oli epäselvää, eikä oltu varmoja päteekö sääntö aina vai oliko millaisia poikkeuksia. Esimerkiksi pysäkkikaiteessa oli epäselvyyttä, että yli 15 m pitkä kaide tulee olla maadoitettu, sillä ihminen ei välttämättä huomaa, jos kaiteen toisessa päässä on vaara. Myös jos jossain vaiheessa ymmärretty jokin asia väärin niin, on ollut hankala korjata asia jälkikäteen.

Tampereen raitiotiessä oli yksinkertaisempaa, koska käytettiin kiintoraidetta. Toisin kiintoraiteenkin kanssa oli alkuun epäselvyyttä, millä tavalla maadoituksen toiminnallisuus tulee todeta, mittaamalla vai riittääkö visuaalinen tarkastelu.

Koska maadoitusten teko ja se, mitä tulee maadoittaa, oli epäselvää, loi se paljon keskustelua

Maadoitukset ja sen epäselvyydet loi paljon keskustelua varsinkin pysäkkialueen osalta. Kävi myös niin, että välillä sovittiin, että joku rakenneratkaisu olisi ok, mutta myöhemmin todettiin, ettei se käykään. Keskustelua tuli myös siitä, että miten varmistetaan ja varmennetaan VATU:n ulkopuolisten maadoitusten etäisyydet, sillä jotkut rakenteet sijoittuvat aivan rajalle ja tulkinta saattaa muuttua tarkastellessa.

Jos maadoituksiin liittyen on epäselvyyksiä ja kova vauhti rakentaa, jää helposti rakenteita maadoittamatta.

Vaikka haastatettava 4 on ollut paljon mukana maadoituksissa, niin ei hän silti pysty suoraan aina antamaan kaikkia tietoja niistä, joten muillekin, kuten katurakentajille maadoitus on vielä enemmän epäselvä asia eikä välttämättä tiedetä mitä maadoitus tarkoittaa. Tämä tuo haastetta, kun maadoitus saattaa olla uusi asia kokeneellekin rakentajalle.

5: Haasteina oli muiden tekniikkalajien osaaminen ja tieto maadoituksista sekä tiedonkulku niistä. Maadoitettavia kohteita saattoi ilmestyä lyhyelläkin aikataululla, jolloin jouduttiin suunnittelijoiden ja rakentajien kesken yhdessä ratkaisemaan miten kohteet toteutetaan. Juuri nämä tiukat aikataulut olivat suurin haaste.

6: Kaikki maadoitettavat kohteet olisi tullut nimetä ja koota kohteet yhteen taulukkoon, josta maadoitettavat kohteet voisi tarkistaa.

Pitäisi olla nimetty henkilö, jolla on ote maadoitusasioista. Raide-Jokerilla oli nimetty henkilö maadoituskoordinaatiksi.

Aikaisessa vaiheessa yhdessä keskustelu sekä yhteinen läpikäynti lohkoittain siitä, mitä tulee maadoittaa.

Lyhyt ymmärrettävä perehdytys sähköturvallisuudesta. Mitä se on, miten se toteutuu ja miten se varmistetaan tämmöisissä hankkeissa.

Mitä saatu parannettua Tampereen ratikasta/Raide-Jokerilta KSA:lle?

1: Yhteensovitus parantunut kokoajan kun allianssi ei hae enää paikkaansa ja kaikille tullut kokemusta toimintaan. Varsinkin yhteensovitus parantunut koko allianssin kanssa niin suunnittelun radan, päällysrakenteiden tms. kanssa. Kommunikointi sulavampaa, kun alkuun.

3: Raide-Jokeriin verrattuna Kruunusillat Allianssilla on parannettu siinä, että maadoitusten osalta on tehty apukartta, johon on koottu kaikki alueen maadoitukset ja lyhyet ohjeet niiden tekemiseen tai mistä tarkemmat suunnitelmat löytyvät. Muuten vaikuttaa siltä, ettei maadoitusten osalta ole vielä opittu aiempien projektien virheistä.

4: Jää vielä nähtäväksi, mitä KSA:lla on saatu parannettua Tampereen ratikasta. KSA ei ole vielä niin pitkällä, että maadoitukset olisivat nousseet vielä keskusteluun. Haakoninlahdella ratamaadoituksia on jo tehty, mutta kuten edellisilläkin hankkeilla ongelmana on ollut, ei tieto liiku eteenpäin oppien osalta. KSA:lla olisi vielä mahdollisuus ottaa alusta alkaen käyttöön yksinkertaiset ohjeet ja ohjeistukset ja iskostaa tieto tekijöille, jotta välttyttäisiin jälkikäteen korjauksilta.

Voisi kuvitella, että Raide-Jokerilta olisi voinut siirtyä KSA:lle Helsingin ratkaisut maadoitusten osalta, mutta haastateltava 4 ei ole kuitenkaan tietoa, onko ohjeistus siirtynyt.

Saarien osaprojektilla on ollut ongelmia sähkökaappien osalta, joka kuvastaa ongelmaa, kun sähkö- ja turvallisuussuunnittelu tulee myöhässä suhteessa kadun suunnitteluun. Katurakentamista aloitetaan tekemään aikaisemmin, jolloin tarvittavat putkitukset radan ja sähkön maadoituksiin pitäisi jo tehdä, mutta näitä aletaan tarkastelemaan vasta jälkikäteen. Tähän ainakin Tampereella kompastuttiin. KSA:lla olisi vielä mahdollista välttää tähän kompastuminen.

7: KSA:lla on tehty isoja harppauksia, joissa yhteistyö ja oikea-aikaisuus on ollut tärkeänä tekijänä. Yhteistyötä tehdään niin sähköpuolen, maarakentamisen ja siltarakentamisen välillä. Varsinkin siltarakentamisen kohdalla yhteistyö korostuu, jotta osataan esimerkiksi olla ottamassa maadoituksista tarvittavat mittaukset ennen valutoita.

Maadoitusten seurannasta on pidetty palavereja, joissa kadun suunnittelijoiden kanssa tarkasteltu maadoituskohteita ja että tarvittavat maadoitukset on suunniteltu. Palavereissa käytiin myös läpi, onko suunnitelmiin lisätty komponentteja, esimerkiksi pysäkeille, joihin tulisi suunnitella myös maadoitus. Palavereilla myös varmistettiin, että kaikilla olisi tiedossa mahdolliset muutokset mitä suunnitelmiin on tehty.

Avainasemassa on, että on nimetty koordinaattori, joka kerää yhteen maadoitukset niin radan ja kadun tarpeisiin ja on tietoinen alueen kaikista maadoituksista.

Mitä KSA:lla pitäisi vielä parantaa maadoitusten osalta?

3: KSA:lla on havaittu olevan samat haasteet, joita Raide-Jokerillakin oli ollut. Esimerkiksi eri tekniikkalajien välisessä yhteistyössä haasteena on se, että suunnitelmien osalta tarkastukset jäävät kiireessä tekemättä tarkasti.

4: Maadoituksen asiat pitäisi puristaa niin yksinkertaiseksi, että sen ymmärtäisivät kaikki. Hankkeella on vain muutama, joille maadoituksen asiat ovat selviä, eikä heillä ole aina aikaa neuvoa, eikä välttämättä tiedetä, että heiltä voisi kysyä vinkkejä ja neuvoja.

5: Suunnittelijoilla pitäisi olla suunnittelutaitoa, jotta he osaisivat suunnitella omat rakenteensa sähköturvallisesti sekä halua oppia esimerkiksi vatu-alueesta ja sen vaatimuksista.

8: Tuntuu, että Hakaniemellä ja Saarilla on omat tapansa tehdä, eikä toimita alianssina yhtenäisesti.

Vaikka maadoituksen palavereja on pidetty, olisi tietoisuuden lisääminen silti vielä perusteltua.

Yhteistyö siltaurakkaan finkensillan ja kruunuvuorensillan kanssa on varmistettava. Heillä suunnitelmissa ensimmäisiä versioita ja tietyt lähtökohdat on muutuneet ja muuttuvat, jolloin pitää olla tarkkana, että ratasähköjärjestelmien puolesta osataan tehdä myös muutoksia.

Maadoituskuparien putkitusten mallintamien ei ole ollut täysin selkeätä, että miltä osin mallinnusta olisi syytä tehdä.

Yleisimmät haasteet maadoitusten teossa?

1: Yleisenä haasteena on ollut, jos toteutusta ei pystytäkään tekemään työmaalla suunnitelmien mukaan. Tällöin jouduttu soveltamaan standardien mukaan, jotta toteutus olisi mahdollisimman hyvin ja siististi tehty, vaikka ei tehdä suunnitelman mukaan. Esimerkiksi silloissa, jos joudutaan tekemään pintavetoja, ettei maadoitukset jää liian näkyviin. Yleensä ongelmat on saatu hyvin ratkaistua, eikä ole ollut mitään ylitsepääsemättömiä ongelmia.

2: Puutteelliset suunnitelmat.

3: Maadoitusta ei ole suunniteltu kohtiin, joihin maadoitukselle olisi tarvetta.

Maadoitukset saattavat jäädä tekemättä, jos suunnitelmia ei ole saatu ajallaan. Rakentamisen ohella harvemmin tulee mietittyä, tarvitsisiko tässä kohteessa olla maadoitusta, jos sitä ei ole selvästi esitettyä suunnitelmissa.

9: Esimerkiksi Haakoninlahdella tuli vastaan syvämaadoituksessa, ettei maadoitusta pystytty asentamaan, sillä kohteen maatyttö oli liian lohkareista. Tähän jouduttiin työmaalla keksimään vaihtoehtoinen ratkaisu.

Kuvien tulkitseminen saattaa olla epäselvää työmaalla. Tässä tärkeinä olisi yhteistyö ja että osataan tarvittaessa kysyä epäselvistä asioista.

Kadunrakentajilla pitäisi olla selkeä ohje tai ohjekortti, miten esimerkiksi maadoituselektrodi pitäisi toteuttaa, jotta toteutus olisi samanlainen kuin suunnitelmissa.

7: Jos työjärjestystä ei ole suunniteltu kunnolla, on riski, että maadoitukset rikkoutuvat seuraavan työvaiheen yhteydessä. Jos tiedostetaan rakenteiden maadoitustarve liian myöhään ja joudutaan tekemään maadoituksia jälkikäteen.

1: Kommunikointia työmaan ja suunnittelun välillä ei ole ollut tarpeeksi, jolloin päivityksistä suunnitteluun ei ole tullut tietoa työmaalle, ja töitä on tehty vanhoilla kuvilla. Tällöin on pitänyt soveltaa suunnitelmia, jotta kohde on saatu rakennettua.

Tärkeät seikat maadoitusten onnistumiseen?

1: Itse maadoitusjohtojen asennus ei tuota ongelmaa. Tärkeää on, että kaapelikourut on tehty valmiiksi, ennenkö pinnat on tehty

2: Valmiit suunnitelmat kun tehdään, jotta tietää mitä putkia tarvitaan maadoituksia varten. Jos erikseen suunnitelmat ja maadoituskuvat, niin saattaa helposti unohtuu.

3: Maadoitusten onnistumisen kannalta tärkeitä asioita olisi ajantasaiset ja helposti luettavat suunnitelmat. Myös se, että valmiit suunnitelmat saadaan hyvissä ajoin, ettei maadoitussuunnitelmiin tulisi muutoksia viime tipassa tai jälkikäteen, kun esimerkiksi valmista pintaa on jo tehty. Tärkeätä olisi, että alueen

maadoitustiedot löytyisivät kootusti yhdestä paikkaa, ettei niitä tarvitsisi etsiä eri suunnitelmista.

9: Maadoitusten onnistumisen kannalta on tärkeää, että suunnitelmat on tehty oikean aikaisesti. Suunnittelijoiden kanssa on käyty paljon läpi, että suunnitelmien pitää olla ennen rakentamista valmiina. Isoissa hankkeissa kuten KSA, lisäyksiä voi tulla, kun suunnitelmat päivittyvät, mutta pääasia kuitenkin on, että kaikki olisi valmista ennenkö rakentaminen aloitetaan.

Myös se, että yhteensovittamista eri tekniikkalajien kanssa tehdään, on tärkeää, sillä rata- ja muu sähkö ei saa olla liian lähekkäin.

Jo kehitysvaiheessa, kun kustannuksia lasketaan, niin pitäisi olla tiedossa, kuinka monta maadoitettavaa kohdetta tulee olemaan ja mitä kaikkia maadoituksia on tulossa. KSA:lla on saatu laskettua maadoituskohteet aika hyvin alusta asti jo, ainakin ratasähkön puolelta eikä suuria muutoksia ole tullut jälkikäteen ja määrät sekä tavoitehinta on ollut alusta asti todella hyvin tiedossa.

Työnmaan sisäinen yhteistyö on myös tärkeää onnistumisen kannalta. Tärkeää yhteensovittaa rakentaminen esimerkiksi tukimuurissa tai sillassa, ettei pintoja ole laitettu kiinni ennen mittausten toteutusta.

4: Se, että on selkeä tieto siitä, mitkä kohteet tulee olla maadoitettu, miten maadoitus tulee toteuttaa ja mitkä VATU:n etäisyydet ovat sekä millä etäisyydellä VATU:sta muut maadoitukset saavat olla. Tärkeää on myös osata lukea maadoitusten suunnitelmia, jotta väärinymmärryksiä ei synny. Suunnitelmien ja ohjeiden tulee olla yksioikoisen selkeitä.

7: Se, että tunnistetaan maadoitusta tarvittavat kohteet, on ihan ykkösasia, koska jälkikäteen maadoitusten tekeminen voi olla hankalaa ja kallista tehdä.

Esimerkiksi Tampereen ratikassa sekä Raide-Jokerilla kohteiden tunnistusta tehtiin vasta jälkikäteen. Toiseksi se, että saadaan oikeanlaiset suunnitelmat ja työkuvat tekemistä varten. Työohje on tärkeä, jotta saadaan oikeanlaiset ohjeet

ja osataan dokumentoida oikein. Myös, koska hankkeella on eri tahoja ja paljon rakentajia, on tärkeää, että ohjeistus ja suunnitelmat ovat kunnossa.

Myös oikeanlaisten ratkaisujen teko on tärkeää. Esimerkiksi syöttöasemalla maadoituksen tekemiseen tehtiin ei niin tavanomainen ratkaisu, ja maadoitukseen käytettiin pystymaadoituksia.

Ohjekortit ovat tärkeässä avainasemassa tekemisessä, sillä maadoituksissa on eroja, miten minkäkin kohteen maadoitus toteutetaan

5: Tärkeää onnistumisen kannalta on, että kaikki suunnittelijat, jotka suunnittelevat radan ympärille rakenteita, ovat tarpeeksi tietoisia radan sähköturvallisuuksista. Myös kommunikointi suunnittelun ja sähköturvatiimin välillä on tärkeää, jotta voidaan keskustella mitkä rakenteet tulee maadoittaa ja miten.

Maadoitettavat kohteet tulee olla riittävän hyvissä ajoin tiedossa, jolloin on vielä kaikki mahdollisuudet käytettävissä eri ratkaisuille. Jos maat on laitettu jo kiinni ja huomataan, että VATU:ssa oleva rakenne olisi pitänyt maadoittaa, on yksi vaihtoehto eristää rakenne. Tässä tulee kuitenkin helposti ongelma kaupunkikuvan kanssa, jolloin eristämistä ei välttämättä voida käyttää.

Tärkeää on myös, että suunnittelulla on tilannetietoisuus työmaasta ja niiden aikatauluista.

10: Kaikki maadoitukset tulee asentaa ja asennuksen jälkeen mitata. Mittauksista tulee tehdä mittauspöytäkirja. Maadoitukset tulee olla myös jälkikäteen mitattavissa, sillä tarkastusmittauksia tulee tehdä määrävälein.

8: Muutostenhallinta on keskeinen onnistumisen avain ja se, että muutokset tulevat kaikkien tietoon. Vuorovaikutus on tärkeää, jotta tiedetään mitä muutoksia on tullut ja jotta pystytään kertomaan, jos joku rakenne ei radan puolella onnistukaan.

Miten maadoitusten teko on muuttunut vuosien aikana?

1: Nykyään osataan enemmän ottaa huomioon mitä on tarpeellista maadoittaa ja se, että VATU-alueella pitää kaikki johtavat kohteet olla maadoitettuna.

2: Muuta muutosta ei ole huomannut, kuin että YKT-kaivot tulee nykyään maadoittaa. Muuten pysynyt samanlaisena.

3 : Muutoksia on tullut siinä, että nykyään tulee maadoittaa paljon enemmän kohteita kuin ennen.

11: Maadoituksia on tullut lisää vuosien aikana, todennäköisesti koska huomattu että on tarvetta eri vaiheisiin maadoitukselle.

7: Yksi syy sille, että maadoitustarve on saattanut lisääntyä, voi olla käytettävät laitteet, jotka ovat herkempiä häiriöille. Myös se, että tietämys lisääntyy, turvallisuusvaatimukset lisääntyneet sekä se, että esimerkiksi pysäkkialueelle sijoitetaan aiempaa enemmän maadoitusta vaativia rakenteita.

10: Nykyään tietoisesti eristetty paremmin ratavirtapiirit maasta. Aikaisemmin ei ole ollut hajavirran tai kiskopotentialin valvontaa. Pysäkkejä ei ole ennen maadoitettu, mutta nykyään kaikki uudet rakenteet ja taitorakenteet tulee maadoittaa raitiotielinjoilla. Sähkönsyöttöasemien ja syöttöpylväiden osalta maadoitukset ovat pysyneet samoina.

8: Maadoituksen vaatimukset tulevat standardien kautta, joten todennäköisesti uusissa hankkeissa otettu nämä huomioon enemmän.

Huomioitavat asiat rakentamisen aikana/rakennusjärjestyksen huomiointi?

1: Kaapelointi on parempi tehdä silloin kun pinnat on vielä auki tilanteissa, joissa kaapelointia tehdään pitkältä matkalta tai jos paljon mutkia. Varsinkin, jos kohteeseen tehdään valu päälle. Esimerkiksi Raide-Jokerilla kiskokotelon putki oli valun aikana hajonnut. Jos kaapelointi olisi tehty ennen valua, olisi putken irtoaminen voitu estää. Tämän takia esimerkiksi rataa laatussa kaapelointi olisi hyvä tehdä ennen valua.

2: On tärkeä huomioida kohteet, joissa maadoitus tulee asentaa muun rakenteen kanssa samaan aikaan. Näitä ovat muun muassa kaapin jalusta, pysäkki-laatta ja valaisimen jalusta. Pysäkillä tulee huomioida, että tarvittavat reiät maadoitukselle on tehtynä.

Muuta huomioitavaa ei ole, kunhan maadoitus osataan tehdä oikeassa vaiheessa ja se tulee toteutettua.

3: Rakentamisen aikana tulee huomioida, että maadoitukset tehdään oikeaan aikaan, ettei pintarakenteita jouduta purkamaan jälkikäteen.

Maadoitusten tekeminen ei juurikaan vaikuta muuhun rakentamiseen. Kunhan huomioidaan esimerkiksi jalustoissa, että siihen tulevat reiät ovat tehty valmiiksi ja atu/vatu alue on huomioitu. Myös se, mihin maadoitus tulee menemään kohteelta toiseen tulee ottaa huomioon ja miten se pitää tehdä. Myös esimerkiksi kaideasennusten tekemisessä tulee huomioida hyvissä ajoin mahdolliset maadoitukset.

9: Pitää huomioida, kun pohjarakenteiden ja kadunrakennusten työvaiheita mietitään, esimerkiksi pylväiden kohdalla, että maadoitus tulee asentaa pylvään alle. Tulee myös huomioida vatun ulkopuoliset ja vatun eri vaiheissa rakennettavat putkitusten johtojen yhteensovitus.

Pysäkin maadoitusten toteutus pitää aikatauluttaa muiden töiden väliin, sillä maadoitus saadaan tehtyä osissa. Pysäkillä maadoitettavat kohteet saadaan esimerkiksi kaivoon asti tehtyä, mutta kaiteet saadaan tehtyä myöhemmin. Jos odotetaan, että kaikki rakenteet ovat pysäkillä valmiita ennen kuin maadoituksen kaapelit vedetään, on putkireitit saattaneet mennä jo tukkoon. Tästä syystä maadoitustyöt on pakko tehdä osissa, jotta välttyttäisiin riskeiltä.

4: Pitää olla alusta asti tiedossa mitkä rakenteet tullaan maadoittamaan, jotta tiedetään mihin ja milloin esim. maadoitusputkituksia pitää asentaa. Maadoituksen teko jälkikäteen saattaa olla hyvinkin haastavaa.

1: Maadoitusten tekeminen vaikuttaa eri vaiheiden rakentamisen välillä yhteensovituksella. Pysäkkialueella kaapelit pitää vetää pylväille ennen pintarakenteiden tekoa, sillä kaapeleiden vedot olisi hankala saada tehtyä pintojen teon jälkeen. Jos tätä ei ole tehty, jouduttaisiin laattoja purkaa pylväiden ympäriltä.

Maadoitusten suunnitelmien parempi toteutus?

1: Suunnitelmien osalta maadoitukset on kunnossa, mutta kohteiden yhteensovitus kuvien suhteen olisi tärkeää. Tällä hetkellä tietoa pitää etsiä eri kuvien väliltä. Suunnitelmiin pitäisi saada enemmän ilmenemään, että esimerkiksi keskuksen maadoitukset saattavat näkyä radan asentajien kuvissa eikä maanrakentajien kuvissa. Maadoitus pitäisi näkyä myös maanrakentajien kuvissa, jotta riskiä maadoituksen huomaamatta ja asentamatta jäämisestä ei tulisi.

2: Tärkeää olisi, että suunnitelmat maadoitusten rakentamiseen ylipäättään on. Jos alueelle tulee asentaa kaappeja, olisi nämä sekä muut maadoitukset hyvä olla esitettynä johtosiirtosuunnitelmassa. Myös, jos on suunnitelmia tulevista kaapeista sekä jalustoissa, olisi näissä hyvä olla mainita mahdollisista maadoituksista.

3: Onnistuneen toteutuksen kannalta olisi tärkeää olla selkeästi kootut suunnitelmat sekä maadoituskartta, jossa on selkeästi esitettynä maadoitettavat kohteet.

9: Hankala ehdottaa parannusta, kun itse osaa lukea maadoitussuunnitelmia, mutta katurakentaja ei välttämättä osaa samalla tarkkuudella. Suunnitelmien tarkkuudessa pitäisi olla selkeänä. Yksityiskohdat pitäisi olla ohjekorteissa tai kuvissa esillä. Tekijöiden kanssa olisi hyvä käydä läpi, jos heillä on kysyttävää kuvista.

4: Maadoitukset esitetään usein tyyppikuvissa, jossa ei käy niin yksitoikkoisen selvästi asiat ilmi sekä maadoitukseen saatetaan vain viitata. Suunnittelijalla-kaan ei välttämättä ole tarpeeksi tietoa tai tarkista tietoja loppuun asti, jolloin laittaa vain viittauksen suunnitelmaan. Tällöin saatetaan helposti tulkita asioita väärin.

Maadoituksia ei monessa suunnitelmassa ole ilmoitettu, vaan pitäisi erikseen tarkastella maadoitussuunnitelmaa. Muutenkin suunnittelijoilla ei välttämättä ole tietoa mitä pitää maadoittaa.

Helposti jos ei tiedä tai etsimällä etsi tietoa maadoituksesta, jää helposti tietämättä maadoitettava kohde, kun suunnitelmissa vain viitataan maadoituksiin sanallisesti.

Suunnittelukokouksissa nostetaan usein esiin sitä, että pienimmistäkin muutoksissa saattaa seurata suurikin muutos maadoituksiin. Esimerkiksi jos rakenne muutetaan raudoitetuksi.

7: Suunnitelmien ja työsuunnitelmien on tärkeää olla selkeät ja yksiselitteiset, sillä yleensä työn toteuttaja ei ole erikoistunut sähköasennuksiin vaan on maanrakentaja, jolloin pelkkien ohjeiden perusteella pitäisi pystyä toteuttamaan oikeanlainen maadoitus.

5: Suunnitelmien on oltava tarpeeksi tarkkoja, jotta niitä ymmärtää kaikki. Olisi hyvä olla myös Vectoriin mallinnettuna maadoitukset, jotta niitä pääsisi tarkastelemaan myös 3D. Maadoituskartta on ollut sopiva välimaaston työkalu, joka selkeyttää maadoitettavat kohteet sopivasti.

Maadoitusten keskittäminen

3: Keskittämistä pitäisi tehdä suunnittelussa. Joku, joka ymmärtää maadoituksia tarkemmin kävisi läpi kaikki suunnitelmat ja tarkastaisi ne.

5: KSA:lla on tehty jo tarpeeksi keskitetty malli, että maadoituskoordinaatti on ollut työmaalta suoraan yhteydessä työmaan insinööriin, joka on ollut maadoitusasioista yhteydessä työmaalle.

8: Voisi olla, että kadun pääsuunnittelijalla tai tuotantotaustaisella henkilöllä olisi tehtävänä varmistaa, että maadoitusta vaativat kohteet olisi suunniteltu. Henkilön ei tarvitsisi ymmärtää sähkötekniikkaa niinkään, mutta tulisi tulla toimeen erilaisten ihmisten kanssa, kuunnella, seurata ja varmistaa miten tilanteet etenee. Tuotantotaustaisella henkilöllä olisi enemmän tietoa, mitä haasteita on mahdollista tulla eteen. Suunnittelupöydällä saattaa välillä unohtua tuotantolähtöisyys ja se, miten kohteet tulisi esittää, jotta suunnitelmat tulisi ymmärretyksi ja tuotanto osaisi toteuttaa ne.

Onko maadoituksen suunnittelu Kruunusilloilla ollut samanlaista kuin Raide-Jokerilla?

5: KSA:lla on ollut paljon vähemmän jouduttu tekemään erikoisratkaisuja, siepparirautoja (enemmän ratamaailmassa käytetty) sekä kohteet on maadoitettu eristämisen sijaan. Raide-Jokerilla rakennuskohteina oli myös olemassa olevia siltoja sekä alikulkuja, jolloin näiden kattoihin jouduttiin asentamaan rautoja, jotka sieppaa mahdollisen katkenneen johdon.

10: Hakaniemeä lukuun ottamatta suunnittelu on ollut samanlaista kuin Raide-Jokerilla, josta saatu paljon oppeja maadoituksista. Raide-Jokerilta on esimerkiksi siirtynyt maadoitus- ja sähköturvallisuusohje, joka päivitetty KSA:n osalta lisäämällä raitiotiensillan maadoitukset ja poistamalla Raide-Jokerilla olleet tunnelin ja alikulun maadoitukset. Raitiotiesilloissa tulee huomioida, että silloille on asennettu riittävä määrä VLD laitteita, joka rajoittaa kosketusjännitettä johtamalla vikavirtaa tilanteissa, joissa ratajohdin katkeaa ja osuu siltaan.

8: Sweco on ollut mukana kaikissa raitiotiealliansseissa (Tampereen ratikka, Raide-Jokeri, KSA, KaPa), jolloin sisäinen näkemys suunnittelusta on kehittynyt vuosien saatossa, joka näkynyt myös ohjeistuksissa ja ratkaisuisa sekä mukaan on saatu kokeneempia henkilöitä, jotka toivottavasti laajentaneet myös muiden osaamista.

Hyvänä asiana on, että on käytetty samoja rakenteita kuin Raide-Jokerilla, esimerkiksi pysäkkikatoksen maadoitus on mietitty jo Raide-Jokerilla, että mihin kohtaan maadoitusputki tulee ja missä se toimii.

Mikä tekee maadoitusten suunnittelusta haastavaa KSA:lla?

9: Hakaniemen osalta haasteita suunnitteluun tuo se, kun alueella on vanhempaa ns. normaalia sähkömaadoituksia, joita pitää yhteensovittaa uusiin ratasähkön maadoituksiin. Myös uusien maadoitusten osalta radan ja kadun maadoitusten yhteensovitus ja kommunikointi voi tuoda haasteita.

11: Haasteena on tullut vastaan se, että suunnitellut asiat tulitisiin huomioimaan myös työmailla, sillä aiemmin on ollut ongelmia työmaan ja suunnittelun kommunikoinnin välillä. Rakentaessa tulisi toteutus olla suunnitelmien mukaisesti tehtynä. Myös se, että kaikki maadoitettavat kohteet huomioitaisiin, sillä jotkut maadoituksista saattaa näkyä vain yksityiskohtaisimmissa suunnitelmissa.

Yhteensovitus on ollut haastavinta. Jotta yhteensovitus toimisi paremmin, on KSA:lla otettu käyttöön käydä katujen pääsuunnittelijoiden kanssa läpi alueita kerran kahdessa viikossa. Alkuun suunnittelijoiden piti merkata kaikki VATU-alueella ja sen lähistöllä olevat rakenteet. Tämän jälkeen käytiin läpi mitkä kohteet vaativat maadoitusta. Samalla käytiin läpi VATU-alueella olevia maanalaisia rakenteita ja tarkistettiin, ettei siellä kulje metallisia putkistoja liian lähellä rata, joita pitäisi hajavirtasuojata. Tämä, että kohteita käytiin läpi kadun suunnittelijoiden kanssa, auttoi siihen, että on tietoa, jos VATU-alueille sijoitetaan uusia rakenteita. Raide-Jokerilla todettiin, että tälle käytännölle on tarvetta.

Eroa KSA:lla verrattuna muihin projekteihin on siinä, että sillat on ollut haastavampia kohteita, tai ainakin erilaisia. Siltojen osalta on myös täytynyt käydä rakennussuunnittelijoiden kanssa läpi, miten maadoitukset täytyy toteuttaa VATU-alueella. Ei ole pystytty mennä ns. saman kaavan mukaan, miten aiemmilla projekteilla on voitu.

Koirasaarentien alikulkukäytävän kohdalle on tulossa raudoitettu rataa, jonka maadoitusta on pitänyt rakennesuunnittelijan kanssa käydä läpi.

Verrattuna Raide-Jokeriin, KSA:lla on enemmän erikoiskohteita. Raide-Jokerilla oli tosin tunneli, johon piti asentaa manuaalinen hätämaadoitus, joka tarvittaessa keskeyttäisi sähkönsyötön

Katusuunnittelijoille on jatkuvasti muistutettu, ettei VATU-alueelle saa laittaa metallisia kohteita. Laajasalossa VATU-alueelle ollaan istuttamassa puita, joille tulee metalliset puunsuojat, jotka pitää maadoittaa. Puiden juuristot oli alkuun huolen aiheena, sillä juurilla pitää olla kasvutilaa sekä pitää huolehtia siitä, ettei juuristo ajan kanssa tulisi häiritsemään radan maadoituksia tai kaapeleita. Lopulta keksittiin ratkaisu, jolla juuret ei sekoitu maadoitusjohtojen kanssa.

Haasteena ja pienenä ongelmana on ollut se, että on niin monta tekniikkalajia, jotka pitää yhteensovittaa ja ohjeistaa maadoituselektrodien kanssa kuten esimerkiksi liva, uv ja ykt-kaivot ja kaikkien tekniikkalajien maadoitukset pitää saada vastaamaan kaikkien tarpeita.

Kun suunnitelmat on saatu yhteensovitettua maadoitusten osalta, on haasteena ollut myös se, että maadoitukset tulee myös maastossa tehtyä oikein.

Laajasalossa kun aliurakoitsijat on tehneet maarakennustöitä, ei heillä ole välttämättä rata-alueen vaatimuksista tarvittavaa tietoa. Putkia asentaessa pitäisi samaan aikaan muistaa asentaa pysäkkikeskukset ja niille omat maadoituskuparit, sähkön ja ratamaan maadoituskuparit, vaihteenlämmityskeskuksen ratamaan maadoituskuparit sekä muutkin maadoitukset.

Haakoninlahdella oli haasteena kuparien ja kaappien sijoitusten kanssa, jotta kaapit olisivat riittävän etäällä toisistaan. Maata jouduttiin kaivamaan uusiksi ja asentamaan kupareita jälkikäteen sekä kääntää kaappien perustuksia ympäri ja vaihtamaan kaappien paikkoja. Lopulta työt saatiin tehtyä oikein, kun sähkörakentaja oli riittävästi paikan päällä seuraamassa, että toteutus saadaan tehtyä oikein.

Alkuun ei ollut ohjekorttia esimerkiksi pysäkkikeskuksen tekoon, mutta kun huomattiin, että sen asennuksessa oli ongelmia, tehtiin ohjekortti, jossa kerrotaan, miten putket halutaan nousevan alustaan ja montako putkea tarvitaan ja miten kupari tulisi asentaa. Eli suunnitelmien tueksi olisi hyvä olla tärkeistä töistä ohjekortti.

5: Hakaniemen osalta alue on valmiiksi jo niin tiiviisti rakennettua. Varsinkin kun vertaa Raide-Jokeriin, oli siellä enemmän tilaa rakentaa ja tehdä.

10: Saarilla suunnittelussa ei ole ollut juurikaan haasteita. Hakaniemessä haastavaksi teki se, että raitiotien syöttöpylväs on katualueella ja sen alla on betoni-laatta. Tästä syystä syöttöpylväältä ei saa johtavaa yhteyttä maaperään, joten se on jouduttu maadoittamaan syöttöaseman MEB kiskoon.

Toinen haaste tuli siitä, että SSA on hakaniemensillan maatuessa. Sillassa kulkee 110kV kaapeli, joka vaatii tietynlaisen betoniteräksisen maadoituksen. Tästä syystä Sillan ja SSA:n maadoituksia ei pystytä pitämään erillään. Suunnittelussa koitettiin keksiä ratkaisua pitää nämä erillään, mutta se ei ollut mahdollista. Normaalitylanteessa nämä pitäisi pitää erillään, ettei mahdollisia hajavirtoja lähtisi kulkemaan maadoitusjohtimissa. SSA:n asennettava VLD-O laite valvoo, ettei rakenteissa kosketusjännite tule nousemaan yli 120V.

8: Raide-Jokerilta on selvästi siirtynyt epävarmuus siellä olleiden maadoitusten haasteiden osalta.

Syksyn aika tuli Hakaniemessä koordinoitua rata/TeJä:lle liikennevalojen sekä valaistuksen kanssa, ja niihin liittyvien maadoituskuparien suhteen. Monella

vaikutti olevan käsitys, että rata/TeJä osaprojektin suunnittelun pitäisi enemmän osallistua yhteensovittamiseen, vaikka he ovatkin olleet Hakaniemessä mukana vain raideosuuksilla, jolloin heillä ei ole paikallistuntemusta. Kokonaisvastuun ottaminen ei ole näiden osalta ollut perusteltua.

Maadoituksen suunnittelun prosessi

11: Suunnitteluprosessin alkuun käydään läpi VATU-alueet ja se, että pyritään välttämään suunnittelemaasta VATU-alueelle mitään sähköä johtavia laitteita tai rakenteita. Tähän lukeutuu myös raudoitettu betoni, sillä tämä johtaa sähköä. Vältetään myös asentamasta ylimääräisiä metallisia rakenteita pysäkkialueelle.

Kun katusuunnitelmat on melko valmiita tai valmiita radan lähettyviltä, käydään läpi katusuunnittelijan kanssa VATU-alue ja tarkastellaan, onko alueelle, sen lähetyvillä tai maan alla maadoitettavia kohteita. Kun kohteet on käyty läpi, aletaan suunnittelemaan niille maadoituksia.

Pysäkkialueet on käytännössä kaikkein työläimpiä, sillä yhteensovitettavia maadoituskohteita on paljon. Alueita käydään sitä mukaan läpi, kun eri tekniikkalajeilta saadaan suunnitelmia.

10: Standardit ja määräykset pitää olla tiedossa. Sähkönsyöttöaseman suunnittelu aloitetaan pohjasta. Perustuksen alle tai ympärille tulee suunnitella enintään 50 m kuparielektrodi. Koska Helsingin maaperä on kallioista ja huonosti johtavaa, tulee maadoitusjohdon lisäksi käyttää maadoitussauvoja rakennuksen jokaisella nurkalla. Jos nämäkään eivät riitä saavuttamaan tarvittavaa maadoitusresistanssia, tulee sauvojen määrää lisätä, tai sauvat porata kallioon täyteaineen kanssa.

50 metrin enimmäisvaatimus maadoitusjohtimelle liittyy ukkossuojaukseen syvämaadoitussauvoilla, jolloin maadoituselektrodin maksimipituus ei saisi ylittää 50 m. Jos maadoituselektrodin pituus ylittää 50 m, tällöin salaman kokema maadoitusvastusarvo ei ala heti alenemaan samalla tavalla kuin jos matka olisi

lyhyempi ja tällöin se laite, jota suojataan, näkee suuremman jännitteen eikä välttämättä kestä sitä rikkoutumatta.

Syvämaadoitussauvoja käytetään, jotta päästää maadoitusresistanssin arvoon alle 10 ohm huonosti johtavassa maaperässä.

8: Tekniikkalajien osalta tulee olla suunniteltuna raitiotiehen liittyvät maadoitukset ja määriteltynä VATU-alueella, jotka kohteet tulee maadoittaa. Kohteet käydään läpi ja yhteensovitetään katusuunnittelijoiden kanssa.

Valtaosa maadoitettavista asioista liittyvät pysäkkialueisiin, näiden rakennekohteet tulee käydä yksityiskohtaisesti läpi.

Rata-alueella voi olla myös erilaisia teknisiä taitorakenteita, joissa maadoitukset tulee huomioida. Tällaisia on muun muassa sillat, tukimuurit sekä alikulkukäytävät ja mahdolliset olemassa olevat rakenteet.

Hakaniemen sähkönsyöttöasema ja Hakaniemensilta ei ole raitiotien näkökulmasta maadoitettavia kohteita, mutta tulee maadoittaa, sillä sillassa kulkee 110kV.

Tiettyjen kaappien sijoittelu on tehty sen pohjalta, etteivät järjestelmät kohtaisiva, sillä niissä on eri sähköjärjestelmät, jolloin ne tulee pitää erillään.

6: Kun maadoitetaan sähköturvallisuuden mukaan, tulee ensin miettiä millaiset vaatimukset ohjeissa ja säädöksissä on. Tällä hetkellä ei ole maakohtaisia vaatimuksia, vaan mennään EU-standardilla. Jos maakohtaisia vaatimuksia olisi, tulisi mennä niiden mukaan. Tämän jälkeen tulisi selvittää, mitkä kaikki asiat tulee sähköturvallisuuden nimissä maadoittaa. Kun kohteet on tunnistettu, tulee miettiä, tullaanko kohde maadoittamaan, eristämään vai mitä. Kun valitaan kohteen suojamaadoittaminen, tulee miettiä, miten maadoitus toteutetaan ja miten kaluste saadaan liitettyä paluuvirtakiskoon ja ratikkamaailmassa VLD-laitteeseen.

Jos rakenne on teräsbetoninen, tulee maadoitusreitti varmistaa. Perinteisesti se tehdään harjateräksisillä teräksillä, joissa hitsatut liitokset. Liitokset voitaisiin tehdä myös puristusliitoksilla, mutta tämä on enemmän erikoistapaus.

Sähkö- ja rakennesuunnittelija ei välttämättä ymmärrä toisiaan, kun toinen tekee rakenneteknisesti ja toinen sähköteknisesti.

Joissain kohteissa tulee miettiä ratkaisuja myös esteettisestä näkökulmasta. Esimerkiksi jos rakenteessa käytetään piuhoja, tulee miettiä miltä liitos näyttää ulospäin sekä ettei kohdassa kulje esim. aura auto talvella, joka saattaisi rikkoa sen.

Radan alueella ja sen ulkopuolella käytetään eri sähköjärjestelmää. Rata on eristetty muusta maailmasta ja sähkönsyöttöasemasta, jolloin rataa ei maadoiteta maahan, sillä eri sähköjärjestelmien maadoitukset eivät saa yhdistyä edes maadoitusten välityksellä. Näin ollen, VATU-alueella ei saa olla toisen alueen maadoituskenttää.

Kuparissa on parempi sähkönjohtavuus kuin teräksessä, sekä kuparijohtoa on helpompi muokata. Terästangossa on myös korroosion riski suurempi. Korroosion ilmestyttyä tangon pintaan, tulee siitä huokoisempi ja sen sähkönjohtavuus heikkenee ja tulee kosketushäiriöitä. Suunnittelussa tulee miettiä myös metallien jalousasteita.

Miten radan maadoitus poikkeaa muusta maadoituksesta?

9: Radan sähköistys on niin sanotusti kelluva verkko, eli ratikka ei ole yhteydessä suoraan kantaverkkoon, vaan se on erotettu muuntajan kautta. Radan rakenteet on täysin maasta eristettyjä, eli ratasähkön maadoituksetkin on omalla verkolla. Eristys tehdään, jotta hajavirtoja ei syntyisi, sillä hajavirta syövyttää rakenteita pikkuhiljaa.

11: Radan maadoitukset poikkeaa sen ulkopuolisista maadoituksista siten, että rata tarvitsee paljon enemmän kosketussuojausta ja jokainen metallinen ja johdava kohde radan alueella pitää maadoittaa.

Ns. normaalit maadoituskohteet maadoitetaan laitteiden vikautumista varten eikä laitteen runkoon jää jännitteitä.

Miksi radan ja sen ulkopuolisten rakenteiden välillä pitää olla vähintään 2,5 m?

9: 2,5 m on ohjearvo, jolla voidaan olla varmoja, että maan eristävyys on tarpeeksi suuri eikä maadoitukset sekaannu toisiinsa.

11: 2,5 m on mitta, jolloin ihminen ei tule yltämään ottaa kiinni näistä eri alueen maadoituksista samanaikaisesti.

Maadoitusten laadunvarmistus

1: Radan maadoitukset mitataan, jotta saadaan varmuus maadoituksen eheydestä ja varmuus siitä, että kaikki on turvallista.

Maan alle jäävät maadoitukset on kuvattava infrakittiin, jotta voidaan jälkikäteen tarkistaa kuvista, että maadoitukset on oikeasti tehty. Myös esimerkiksi kisko-raideyhdistelmästä tehdään pöytäkirja, jotta olisi dokumenttina todiste, että työ on tehty oikein.

9: Infrakittiin tulee lisätä kuvat maadoituksista sekä VLD-laitteista tulee tehdä pöytäkirja, jossa todetaan, että mittaus on suoritettu.

7: Mitattaessa maadoitusta, tulos kertoo, toimiiko maadoitusrakenne halutulla tavalla. Tämän lisäksi maadoitukset tulee kuvata, jotta nähdään, miten maadoitus on kiinnitetty rakenteeseen ja että käytettävä materiaali on oikea.

Maadoituksen mittauksen toteutus/ Kenellä pitää olla tieto mittauksista?

1: Mittauksen ajankohta riippuu mitattavasta kohteesta. Joko heti asennuksen jälkeen mitataan, tai vasta kun kohde on valmis.

Laadunvarmistusta tehdään myös tarkastelemalla silmämääräisesti työtä tehdessä. Tälläkin saadaan varmuutta siihen, että maadoituksen arvot tulevat olemaan oikeita, jos asennus on tehty oikein.

2: Ei tietoa mittauksista

3: Maadoitusten mittauksista tulisi olla tietoa sähköpuolella sekä tuotannolla. Luovutuksissa pitää olla kaikki dokumentoituna, joten tuotannolla pitää olla hyvissä ajoin tieto siitä, jos tarvitseekin tehdä joitain korjauksia.

Maadoituksen laadunvarmistus tuotannolta on tarkkeiden ottaminen rakentamisen aikana ja myöhemmin sähköpuoli tekee maadoitusten tarvittavat mittaukset.

9: Maadoitusten mittauksia tehdään, kun kohde sen vaatii. Syvämaat mitataan heti asennuksen jälkeen, jotta maadoituksen toimivuus voidaan todeta. Sillan kannen maadoitus mitataan ennen valua, kun raudoitukset on saatu valmiiksi, jolloin vielä mahdollisuus tehdä korjauksia. Ohjekorteista tulisi löytyä tietoa mittauksista. Yksittäisiä kaapeleita ei mitata.

11: Maadoitusten mittauksesta pitäisi olla tietoa sähkörakentajilla sekä mestareilla.

7: Jokaisella osaprojektilla vähintään työmaapäälliköllä tulisi olla tietämys tarvittavista maadoitusten mittauksista, sillä häneltä tulisi tulla mittauspyyntö sähköasentajille sitä tarvittaessa. Aina ei ole mahdollista, mutta pitäisi pyrkiä hyvällä suunnittelulla ennakoimaan, milloin mitäkin tulisi mitata, ettei viime hetkellä tulisi sähköasentajille pyyntö mittauksen tekoon. Jo hankkeen alussa on hyvä käydä läpi yhteisesti mittauksen tarpeista ja alustavasti sopia, milloin mittauksen ajankohdat suunnilleen olisi.

Radan suhteen mitattavat kohteet on lueteltuna maadoitus- ja sähköturvallisuusohjeessa. Hankkeen alussa olisi hyvä sopia ns. nurkkapisteet mitkä ja milloin pitäisi mitata. Henkilöille, jotka ovat ennenkin tehneet maadoitettavia kohteita, voivat tietää milloin ja mitä pitää mitata, mutta varsinkin uudet henkilöt eivät välttämättä tiedä.

Sähkömies tekee mittauksen ja raportit.

Raja-arvot tulevat suunnittelusta ja suurimmalla osalla kohteista on yleiset raja-arvot mitä noudatetaan.

10: NRC suorittaa maadoituksen mittaukset. Mitattavat maadoitukset ja mittaus-tavoitearvot on kerrottuna maadoituksen suunnitelmissa. Mittauksista on kerrottu myös maadoitus- ja sähköturvallisuusohjeessa tarkemmin.

Mittauksessa tulee huomioida mittauksen aikainen lämpötila, jotta tuloksista tulee luotettavia.

8: Raitiotien johtavuusmittauksista tieto pitäisi olla ratarakentajilla.

Jos mittauksissa ei saavuteta vaadittua arvoa, tulee tästä olla yhteydessä suunnittelijoihin, jotka selvittävät, miksei haluttuja arvoja ole saavutettu.

Miten suunnittelussa otetaan huomioon yhteensovitus maadoituksen suhteen?

5: Työmaan ja suunnittelun pitää järjestää yhteensovitus palavereja varsinkin, jos maadoituskohteet eivät ole täysin selkeinä.

10: Koska Hakaniemen jouduttiin tekemään poikkeusratkaisu SSA:n ja sillan maadoitusten suhteen, on jouduttu tekemään yhteensovitusta Helen sähköverkon kanssa normaalia enemmän. Heidän kanssaan on pidetty eri kokouksia ja heiltä pitänyt saada hyväksynät ratkaisuihin ja suunnitelmiin. SSA:n ulkopuolissa katurakentamisessa tulee huomioida myös potentiaalintasausjohdin, joka

pitää eristää 20 m päähän syöttöasemasta. Tämä asennetaan estämään maaperän hajavirtoja.

8: Esimerkiksi tukimuurin suunnittelun kanssa on tehtävä yhteensovitusta. Rakennesuunnittelu suunnittelee raudoituksen ja elementin, kun taas sähköpuoli pitää huolen, että rakenteeseen tulee maadoitus ja mittapisteet.

Muuta

3: Se, että joissain kohdissa maadoitus laitetaan kulkemaan putkessa ja toisissa kohteissa ei, on epäselvää. Tällaisiin tarvitsisi perusteluja, että miksi näin tehdään ja esimerkiksi millainen vaikutus atu ja vatu -alueella on maadoitukseen. Yhteneväinen ohje olisi tärkeä.

4: Perus periaatteet maadoituksesta pitäisi olla ratahankkeessa laajassa tiedossa, esimerkiksi tieto siitä, mikä vatu on. Tällä hetkellä ei välttämättä puolelleen ole tietoa perus termeistä. Termien lisäksi tieto siitä, keneltä asioista voi kysyä pitäisi olla yleisessä tiedossa.

KSA:n kokoisessa projektissa voitaisiin tyyppikohteen valmistuessa, esimerkiksi pysäkkialueen, järjestää koko projektin laajuinen katselmus, jossa käytäisiin kohde läpi. Tässä haettaisiin varmuus, että kohde on tehty oikein, tai jos on jouduttu tekemään suunnitelmapoikkeamia, niin tieto tästä menisi heti läpi hankkeen. Myös se, että kaikilla olisi mahdollista nähdä miten kohde on toteutunut. Katselmuksessa olisi mahdollista myös nähdä itse mahdolliset virheet, jolloin muualla osattaisi välttää ne.

Samanlaiset ongelmat toistuu projektista toiseen, niin pitäisi pystyä edes hankkeen sisällä osata hyödyntää tällaista katselmusta. Myös Raide-Jokerilla voisi käydä katselmoimassa siellä tehdyt ratkaisut ja miettiä niiden pohjalta pitäisikö KSA:lla tehdä samanlaiset toteutukset vai kehittää uusia ratkaisuja. Hankkeilla koitetaan tehdä aina uutta ja uniikkia kohdetta, mutta silloin pitäisi ratkaisut toimia ensimmäisellä kerralla oikein, kun voitaisiin hankkia oppeja toisilta

projekteilta. Hankkeen sisälläkin jokainen työnjohtaja tuntuu joutuvan itse tekemään alusta loppuun eikä tieto kulje.

Vaikka suurin osa tunnistaa ongelmat, ei tunnu ratkaisua löytyvän, kun henkilöt vaihtuvat.

1: Radan alueella käytetään kuparina Cu95, sillä se on tarpeeksi paksu, ettei kaapeli katkea, jos tulee oikosulku, jolloin radan virta kulkee kaapelia pitkin.

VLD mittaa maadoitettavan kohteen ja kiskon välisen voltin, jolloin tietyn rajan ylitettäessä virta menee kiskoon, josta menee syöttöaseman paluuvirtakaapelia pitkin syöttöasemaan.

Miten määritelty, mitkä maadoitukset sähkö tekee ja mitkä maa- tai ratarakentajat?

7: Maarakentajat tekevät maadoitusten putkireitit sekä asentavat maahan tulevat paljaat kuparit. Putkireitteihin tulevat maadoituskaapelit asentavat sähköasentajat. Poikkeuksena on syvämaadoitus, joka tehdään yhteistyössä maarakentajien ja sähköasentajien kanssa, sillä syvämaadoitusta asentaessa tulee mitata samanaikaisesti, täyttääkö maadoitus vaadittavat arvot.

8: Kustannus- tai suunnittelunäkökulmasta helpottaisi, jos pysäkkialueelle ei tulisi puita ja niiden metallisia suoja ei tulisi maadoittaa. Näissä joudutaan ottaa huomioon juurien kasvu ja että putkituksille on riittävästi tilaa ilman, että juuret vahingoittaisivat niitä.

Miten suunnittelussa otetaan huomioon yhteensovitus maadoituksen suhteen?

6: Yhteensovitus on teoriassa helppoa, mutta käytännössä se tehdään huonosti. Betonirakenteissa yhteensovitus on kohtuullisen helppo asia, sillä rakenne on iso. Pienet kohteet kuten aidat, pysäkkikaide ja roskapönttö ovat osoittautuneet vaikeiksi.

Yhteensovituksen kehittäminen

6: Yksi asia mikä helpottaisi yhteensovittamista olisi, että osat ja varusteet nimetään eli numeroidaan, jolloin jokaisesta kohteesta puhuttaessa käytettäisiin siitä yhtenäistä nimeä. Kun kohteilla on omat nimet, voitaisiin niistä koota lista, josta voitaisiin tarkistaa maadoitettavat kohteet ja rakenteet. Tämä tekisi yhteensovittamisen ja kokonaisuuden hallinnasta helpompaa.

Yhteensovituksessa tulee olla yhteisymmärrys, jotta kaikilla selvänä mistä puhutaan. Raide-jokerilla pidettiin maadoituskoulutus, mutta se ei ollut tarpeeksi ymmärrettävä.

Sähkö- ja katusuunnittelijoiden tulisi ensin tehdä omat suunnitelmat, jonka jälkeen katsotaan yhdessä, miten toisen tarpeet tulee ottaa huomioon.