

Sähköasemien sekä voimajoh- toalueiden huomioon ottaminen sähköratasuunnittelussa ja ra- kentamisessa

Vesa Mikkonen

Vesa Mikkonen
OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2025

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähkövoimatekniikka

MIKKONEN, VESA:

Sähköasemien sekä voimajohtoalueiden huomioon ottaminen sähköratasuunnittelussa ja rakentamisessa

Opinnäytetyö 53 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2025

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin, mitä tekijöitä on otettava huomioon sähköradan suunnittelussa. Erityisesti tutkittiin, miksi nämä tekijät ovat merkittäviä, kun rata kulkee kantaverkon sähköaseman ja ilmajohtojen läheisyydessä. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Itärata Oy, joka suunnittelee Itä-Suomeen suuntautuvaa uutta nopeaa rautatieyhteyttä.

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan ja esitellään ratasuunnitteluun kuuluvia perusteita. Toisena tavoitteena oli tutustua ja esitellä sähköverkkoihin kuuluvia perusteita ja rakenteita.

Työssä esitellään sähkörataa sekä sen rakennetta, suunnittelua ja ohjeistuksia sekä sähköasemia ja ilmajohtoja. Pääaineistoina on käytetty kantaverkkoyhtiön ja Väyläviraston aineistoja. Lisäksi esitellään erikoistapaukset, joiden materiaalit eivät ole julkisessa levityksessä.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin katsaus sähköradalla käytettäviin ohjeistuksiin sekä määräyksiin, joita on käytettävä suunnittelussa ja rakentamisessa. Koska sähköverkot ja sähkörata tai radat ovat kriittistä infraa, tulee etenkin tulevaisuudessa varautuminen ja huoltovarmuus myös kyseeseen niiden kohdalla. Lisäksi opinnäytetyön tuloksena saatiin katsaus kantaverkon sähköasemiin sekä voimajohtoalueisiin.

Jatkokehityksenä seuraavassa suunnitteluvaiheessa tulisi saada kantaverkkoyhtiöltä kyseisen sähköaseman turvallisuusasiakirjat käyttöön. Tämä mahdollistaisi mitoituksiin ja välimatkoihin liittyvien arvojen tarkentamisen.

Asiasanat: sähkörata, sähköasemat, voimajohdot

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Power Engineering

MIKKONEN, VESA:

Consideration of Substations and Power lines in the Planning and Construction of Electric Railways

Bachelor's thesis 53 pages, appendices 2 pages
May 2025

In this thesis the focus was on general information about electric railways and substations; Especially what should be taken into account and why when approaching the substation and power grids.

The objective of this thesis was to introduce the electric railway, and its structure, planning and instructions are presented, as well as to support the student's own development and learning through familiarization and revisiting the field of track design. Another objective was to familiarize and present the basics and structures related to electrical networks.

The main materials used were the ones found in public sources, especially from the Finnish national electricity transmission grid operator (Fingrid Oyj) and the Finnish Transport Infrastructure Agency (FTIA/Väylävirasto), As well as the special cases where the materials were not publicly available.

As a result of this thesis, an overview of the guidelines and regulations to be used in the design and construction of the electrified railway was obtained. The findings indicate that since the electrical networks and the railway or railways are critical infrastructure, the preparedness and the maintenance security are also relevant. Additionally, the thesis provided an overview of the substations and power lines of the transmission system.

Key words: railways, substations, power lines

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	SÄHKÖRATA.....	8
	2.1 Sähkörata ja sähköistysjärjestelmä	8
	2.2 Vaatimukset etäisyyksille	11
	2.3 Maadoituksista sähköradalla	14
3	SÄHKÖASEMAT.....	17
	3.1 Yleistä kantaverkon sähköasemista	17
	3.2 Ilmajohdojen ja sähköasemien läheisyydessä työskentely.....	21
	3.3 Vaatimuksia voimajohdojen rakentajille	24
	3.4 Maadoituksista sähköasemilla ja voimajohdoilla	25
4	ITÄRATA JA ANTTILAN SÄHKÖASEMA	28
	4.1 Itärata	28
	4.2 Anttilan sähköasema	31
	4.3 Voimajohtoalue	33
	4.4 Siirtyvät jännitteet.....	36
	4.5 Sähköaseman ja johtoaukean ohittaminen	39
	4.6 Risteävä alue	41
	4.7 Suurnopeusjunat, digirata	42
	4.8 Riskit, uhkat ja varautuminen	43
5	YHTEENVETO	46
	LÄHTEET.....	48
	LIITTEET	52
	Liite 1. Sähköistetyn radan ohjeellisia mittoja	52
	Liite 2. Taulukko 5.12, Vähimmäisetäisyyksiä SFS_EN 50341-1.....	53

LYHENTEET JA TERMIT

D _{EL}	Standardissa määritelty etäisyys, tarkoituksena on välttää ylilyöntien aiheuttama vaara henkilöille
Digirata	Hanke, jossa kehitetään Suomen rautatiejärjestelmä digitaalisen teknologian avulla parantaen junaliikenteen tehokkuutta, turvallisuutta ja palveluja
D _{pp}	Standardissa määritelty etäisyys, käytetään kun tarkastellaan etäisyyksiä toisiin ilmajohtoihin tai telepiireihin
Fingrid	Suomen kantaverkkoyhtiö
Jänneväli	Kahden tukipisteen välinen etäisyys
Kosketusjännite	Sähköjännite, joka voidaan havaita kahden pisteen välillä, kun niitä kosketetaan samanaikaisesti
Kytkinasema	Sähköasema, joka mahdollistaa sähkövirran jakamisen ja reitittämisen eri osiin verkkoa
Maadoituselektrodi	Sähkötekkinen komponentti, joka on suunniteltu luomaan yhteyden sähköjärjestelmän ja maan välillä
Maadoitusruudukko	Järjestelmä, joka koostuu useista maadoituselektrodeista, jotka ovat yhdistetty toisiinsa verkkomaiseksi rakenteeksi maan alla
M-johdin	Yleensä ilmassa oleva maadoitusjohdin
National Grid	Vastaa sähkö- ja kaasuverkkojen hallinnasta Yhdistyneessä kuningaskunnassa
Paluujohdin	Paluuvirtaa varten oleva johdin, liitetään paluukiskoon
Paluukisko	Ratakisko, jota käytetään paluuvirtatien osana
Paluuvirta	Kuormitus- tai vikapaikasta syöttöasemalle palaava virta
Portaali	Kannatusrakenne, jonka muodostavat jalkoina olevat pylvääät ja niitä yhdistävät rakenteet
Ratajohto	Ajojohtimen ja mahdollisen paluujohtimen tai vastaajohtimen sekä kannatusrakenteiden ja varusteiden muodostama johto

RATO	Väyläviraston Ratatekniset ohjeet
Reduktiojohdin	Johdin, jolla säädetään sähkön virran kulkua tietyssä osassa järjestelmää
Suurnopeusjunat	Junat ja rautatiejärjestelmät, jotka on suunniteltu kulkemaan erittäin suurilla nopeuksilla, yleensä yli 200 km/h, tarjoten nopeampia matka-aikoja ja parantaen liikenteen tehokkuutta
Sähköasema	Muuntaa ja jakaa sähköä sähköntuotantolaitoksista kuluttajille
Sähkörata	Sähköistetty rautatieosuus
Sähkörataohjeet	Liikenneviraston laatimat sähköradalla työskentelyä ja sähköradan käyttötoimintaa koskevat ohjeet
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
Ukkosjohdin	Sähkötekniinen komponentti, joka johtaa salaman sähkövarauksen maahan
U_{SDP}	Standardissa annettu sallitun kosketusjännitteen raja-arvo
U_{TP}	Standardissa annettu sallitun kosketusjännitteen raja-arvo
Valokaari	Sähköpurkaus, joka syntyy, kun sähkövirta kulkee ionisoidun kaasun, kuten ilman, läpi
VATU	Vaaraulottuma, joka on raiteen poikkileikkausalue, jonka sisällä olevat sähköä johtavat rakenteet voivat muuttua jännitteisiksi ajojohtimen tai virroitimen vaurioitilanteessa
Virroitin	Raidekaluston osa, jolla sähköteho otetaan yläpuolella olevasta ajolangasta
Väylävirasto	Suomen valtion virasto
Ylilyönti	Tilanne, jossa sähköisen tai mekaanisen järjestelmän vaste ylittää hetkellisesti tavoitearvon tai asetetun rajan
YVA	Ympäristövaikutusten arviointi

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä esitellään rautatiesuunnitteluun liittyviä keskeisiä käsitteitä sekä suunnitteluun vaikuttavia perusteita, ohjeita ja määräyksiä. Opinnäytetyön kappaleissa on tietoperusta, joka johdattaa lukijan rautatiemaailmaan ja esittelee ratasuunnitteluprosessia sekä sen vaiheita, mukaan lukien perusteet sähköasemista ja sähköverkoista. Työ suoritettiin Sweco Finland Oy:n Radat ja raitiotiet -yksikössä, ja työn tilaajana toimi Itärata Oy, joka suunnittelee uutta kaksiraiteista nopean henkilöliikenteen rataa, jonka linjaukset osuvat merkittävän kantaverkon sähköaseman alueelle.

Kantaverkon sähköasemat ovat suuria ja kalliita alueita, joiden siirtäminen ei ole helppoa. Tämän vuoksi rautatien yhteensovittaminen sähköaseman ja sähköverkkojen kanssa on välttämätöntä. Junaradat ja sähköverkot muodostavat kriittistä infrastruktuuria, joten niiden turvallisuusnäkökohdat tulee ottaa erityisen hyvin huomioon. Häiriöillä näissä järjestelmissä voisi olla laajempiakin vaikutuksia.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan sähköistetyn rautatien, eli sähköradan, rakentamiseen ja suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä yleisesti. Erityisesti keskitytään tilanteeseen, jossa suunnitellulle Itäradan linjaukselle osuu kantaverkkoyhtiö Fingridin 400 kV:n sähköasema. Työssä tarkastellaan sähköradan ja sähköasemien keskeisiä käsitteitä ja rakenteita. Raportti esittelee myös näihin liittyviä perusteita, ohjeita ja määräyksiä ottaen huomioon erityisesti tämän tapauksen näkökulmat.

Työ alkaa sähköradan ja sähköasemien rakenteiden ja perusteiden esittelyllä ja etenee kohti erityistapausta, jossa Itäradan suunnitellut ratalinjaukset sijaitsevat Anttilan kantaverkon sähköaseman alueella. Työn tarkoituksena on selvittää, kuinka lähellä ilmajohdoille ja sähköasemille voidaan rakentaa sähkörataa ja toimia molemmissa turvallisesti.

2 SÄHKÖRATA

Työn keskeisimmän sisällön ymmärtämisen helpottamiseksi tutustutaan ensiksi rautateihin liittyviin perusteisiin. Tässä osiossa esitellään rautateihin ja erityisesti sähköistettyyn rautatiehen eli sähkörataan liittyviä rakenteita ja määräyksiä. Suomen rataverkon ylläpito, kehittäminen ja kunnossapito ovat Väyläviraston vastuulla. Toiminnan tavoitteena on pitää rataverkko kunnossa, jotta liikennöinti on turvallista ja tehokasta (Väylävirasto 2024a). Seuraavissa luvuissa esitellään sähköradan perusteita ja niillä esiintyviä rakenteita. Tämän jälkeen osiossa 3 käsitellään sähköasemia erityisesti Anttilan sähköasemaan liittyviä huomioon otettavia asioita, jotka voivat vaikuttaa Itäradan linjauksiin.

2.1 Sähkörata ja sähköistysjärjestelmä

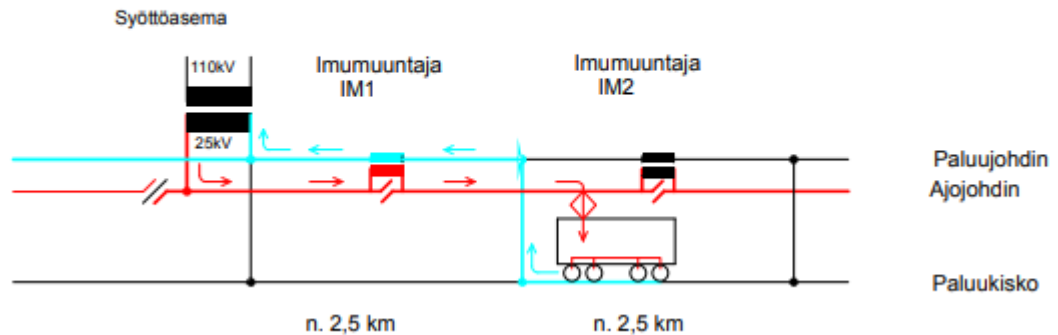
Rautatiejärjestelmään kuuluu rataverkko ja kaikki siihen liittyvät rakennukset, laitteet ja järjestelmät, joita tarvitaan liikenteen hoitamiseksi ja turvaamiseksi. Rautatiejärjestelmään kuuluu myös rataverkolla liikkuva kalusto. Rautatiejärjestelmän elinkaareen kuuluu suunnittelu, rakentaminen, käyttöönotto, tarkastus ja kunnossapito. (Liikennevirasto 2018c, 6.)

Sähkörata on rautatie, joka on varustettu sähköisellä virransiirtojärjestelmällä junien kuljettamiseen. Sähkörata käyttää sähkökäyttöisiä vetureita tai moottorivaujuja, jotka saavat voimansa sähkönsyöttöjärjestelmästä, kuten yläjohdosta tai kiskosta. Näihin viitataan yhteisnimellä ajolanka tai ajojohdin. Sähkörata tekee junaliikenteestä tehokkaampaa ja ympäristöystävällisempää verrattuna perinteisiin dieselkäyttöisiin juniin. Sähköistettyjen ratojen etuja ovat muun muassa pienemmät päästöt, vähäisempi melu, alhaisemmat käyttö- ja ylläpitokustannukset sekä parempi suorituskyky. (Liikennevirasto, 2018c.)

Sähköradan toimintaperiaate on esitelty kuvassa 1 alla. Siinä 110 kV:n kantaverkosta syöttöasemalla muuntajan välityksellä johdetaan jännite ja virta ajojohtimeen, josta se kulkee vetokaluston kautta, virran paluutienä toimii rata-kiskot. Paluuvirran kiskoissa kulkema matka pyritään saamaan mahdollisimman lyhyeksi

käyttämällä imumuuntaja- tai säästömuuntajajärjestelmää (Väylävirasto 2010, 8).

Imumuuntajalla ja paluujohtimella varustettu ratajohto



KUVA 1. Virran kulkutie syöttöaseman ja vetokaluston välillä (Väylävirasto 2016)

Euroopan unionin rautatieturvallisuudsdirektiivin (798/2016) 1 §:n mukaan EU:n jäsenvaltioissa on oltava itsenäinen turvallisuusviranomaisen, joka on rataverkon haltijasta ja rautatieliikenteen harjoittajista riippumaton (Direktiivi 2016/798/EU). Rautatievirasto aloitti toimintansa 1.9.2006, ja liitettiin Liikenteen turvallisuusvirasto Trafiin vuonna 2010. Vuoden 2019 alusta nämä tehtävät on hoitanut Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Traficom toimii Liikenne- ja viestintäministeriön valvonnassa, ja se vastaa muun muassa rautatiealan määräyksistä ja normeista, valvoo rautatiejärjestelmän osien vaatimustenmukaisuutta, myöntää rautateihin liittyviä lupia ja kehittää rautateiden turvallisuutta. Poliittista harkintaa vaativat tehtävät hoidetaan Liikenne- ja viestintäministeriössä. (Höltkä 2020, 16.)

Euroopassa ja maailmalla käytetään monia erilaisia sähköistysjärjestelmiä. Suomessa junaratoja alettiin sähköistämään 1960 luvulla ja tuolloin valittiin käytettäväksi järjestelmäksi 25 kV:n vaihtojännite, jonka taajuus on 50 Hz. Maailmalla tavallisia järjestelmiä ovat 1,5 kV:n ja 3 kV:n tasavirtajärjestelmät, mutta näissä vaaditaan suuri virta, jotta sähköteho olisi junille riittävä. Joissakin Euroopan maissa ollaankin siirtymässä 25 kV:n jännitettä käyttäviin järjestelmiin. Suomen naapurimaista Venäjällä käytetään 3 kV:n tasajännitettä sekä Ruotsissa ja Norjassa 15 kV:n vaihtojännitettä, jonka taajuus on 16,7 Hz. (Höltkä 2020, 191.) Erot sähköistysjärjestelmissä, kuten myös raidelevyden ero, on tarkasteltava, kun mietitään yhteiseurooppalaisia rataverkkoja ja huoltovarmuutta. Kaupunkien

raitiotie- ja metrojärjestelmissä käytetään tavallisesti tasavirtaa, jonka jännite on 600...750 V. Ero jännitteissä tulee esille myös myöhemmässä vaiheessa, kun tarkastellaan Suomen kantaverkkoyhtiö Fingridin siirtyvien jännitteiden tarkastelua kohdassa 4.4.

Ratajohtorakenteita on kahta eri periaatteella toimivaa tyyppiä, joita kutsutaan 25 kV:n ja 2 × 25 kV:n järjestelmiksi. Ajojohtimen ja paluukiskon välissä on kummassakin järjestelmässä 25 kV:n jännite-ero, joten vetokalusto voi liikkua kummankin järjestelmän alueella (Liikennevirasto 2018c, 21; Hölttä 2020, 193).

Sähköistysjärjestelmän osien ja ominaisuuksien tunteminen on tärkeää sekä rakennustyön turvallisuuden että onnistuneen ratasuunnittelun kannalta. Erityisesti sähköistys ja turvalaitetekniikka ovat riippuvaisia toisistaan, sillä molemmat vaativat tiettyjä sähköisiä kytkentöjä toimiakseen, mutta ne eivät saa haitata toistensa toimintaa. (Hölttä 2020, 191.)

Rautateiden suunnittelua ja rakentamista säätelee usea eri laki. Suunnittelussa ja suunnitteluprosessin hallitsemisessa oleellisia ovat esimerkiksi ratalaki, raide-liikennelaki, laki liikenteen palveluista, maankäyttö- ja rakennuslaki sekä laki ympäristövaikutusten arviointimenettelyistä. Edellä mainittujen lakien lisäksi rautateiden suunnittelua ohjaavat EU:n asetukset, direktiivit ja Yhteen toimivuuden tekniset eritelmät (YTE) sekä Väyläviraston Ratatekniset ohjeet (RATO). (Hölttä 2020, 18–22.)

Ratatekniset ohjeet ovat Väyläviraston moniosainen julkaisu, joka sisältää radan suunnittelua, rakentamista, kunnossapitoa ja tarkastusta koskevat keskeiset ohjeet. Julkaisu oli aiemmin nimeltään Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RAMO), mutta nimi muutettiin erillisen turvallisuusviraston perustamisen jälkeen (Hölttä 2020, 20).

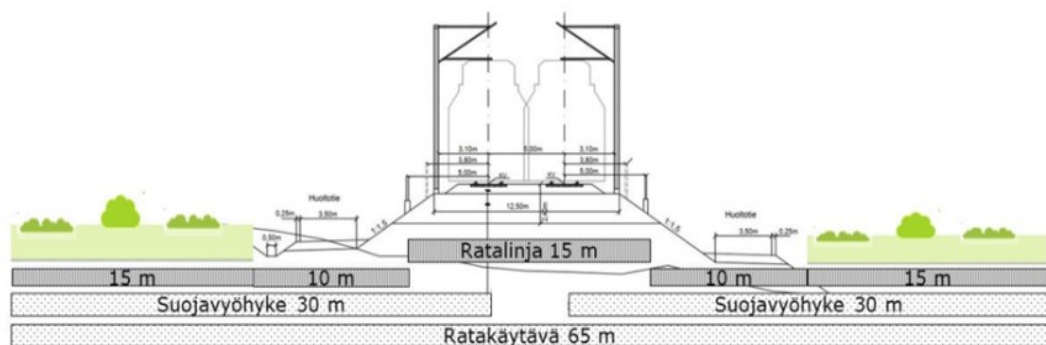
Ratateknisiä ohjeita on noudatettava kaikkialla valtion rataverkolla. RATO:n osia uusitaan tarpeen vaatiessa, ja aivan uusiakin osia kirjoitetaan. Uusimistarve aiheutuu teknisen tiedon lisääntymisestä, teknisten laitteiden ja työmenetelmien

kehittämisestä sekä lainsäädännön ja eurooppalaisen rautatiejärjestelmän yhtenäistämisen uusista vaatimuksista. Jos RATO:n osien välillä on ristiriitoja, on noudatettava uusimman osan ohjetta (Hölttä 2020, 20).

Tämän työn kannalta olennaisimmaksi nousee Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 5 Sähköistetty rata, jossa esitellään ja ohjeistetaan sähköistetyn radan suunnitteluun ja rakentamiseen liittyviä asioita. (Liikennevirasto 2018c, 21). Suurin huomio kiinnitetään sähköisiin uhkiin ja riskeihin. Tässä yhteydessä on tärkeää noudattaa ohjeita ja säädöksiä, jotka liittyvät sähköisiin etäisyyksiin. Sähköradan vaatimista tiloista ja ulottuvuuksista selvitetään kohdassa 2.2.

2.2 Vaatimukset etäisyyksille

RATO 3:ssa esitellään ohjeet radan rakenteelle (kuva 2) ja siitä saadaan käsitys tarvittavasta sivuttaissuuntaisesta tilasta kaksiraiteiselle radalle, joka suunnittelussa täytyy lähtökohtaisesti varata. Rautateiden suoja-alueen leveys on ratalain mukaan normaalitapauksessa 30 metriä lähimmän raiteen keskilinjasta (Liikennevirasto 2018b). Suoja-alueella on kiinteistön käyttämistä koskevia rajoitteita.



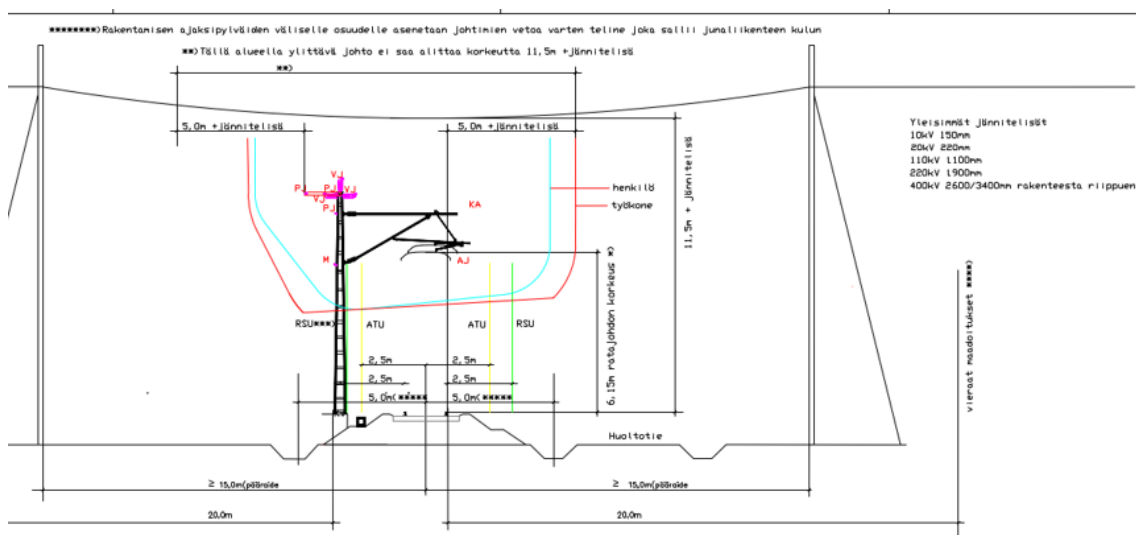
KUVA 2. Poikkileikkaus ja radan rakenteisiin vaadittavia mittoja ja etäisyyksiä (Liikennevirasto 2018b)

Suurjänniteilmajohtostandardissa SFS-EN 50341-1 määritellään D_{ei} , joka on sisäinen etäisyys johtimesta pylvääseen tai ukkosjohtimeen, tai ulkoinen etäisyys ulkoihin kohteisiin. D_{pp} olisi yleensä sisäinen etäisyys, joka voi olla myös

ulkoinen etäisyys, mikäli tarkastellaan etäisyyksiä toisiin ilmajohtoihin tai telepiireihin. Ulkoiset etäisyyksien tarkoituksena on välttää ylilyöntien aiheuttama vaara yleisölle, sekä sähköjohtojen lähellä työskenteleville ihmisille. Näiden ulkoisten etäisyyksien tavoitteena on varmistaa, että henkilön mikään osa tai mikään esine, jota hänen voidaan kohtuudella odottaa kantavan, ei joudu lähemmäksi jännitteistä johdinta kuin etäisyys D_{el} . (SFS-EN 50341-1 2014, 164.)

Minimietäisyyksiä ilmavälille, kun kyseessä on ilmajohto rautatien läheisyydessä, määritellään SFS-EN 50341-1 Suurjänniteilmajohtostandardin mukaan. Standardissa annetaan minimietäisyydet sekä lisäetäisyys jännitetason mukaan. Koska halutaan tietää minimietäisyys risteävään liikenneväylään, käytetään standardin taulukkoa 5.12 (liite 2), josta huomataan erikoisvaatimus sähköistetyille tai sellaiseksi aiotulle radalle. (SFS-EN 50341-1 2014, 186.)

Tästä johtuen etäisyyttä risteäviin väyliin selvittäessä käytetään standardia SFS-EN 50341-2-7, josta Suomen kansalliset velvoittavat määrittelyt osiosta löytyvää määritelmää, jossa on määritelty etäisyydet risteäviin liikenneväyliin. Standardissa on annettu vähimmäisetäisyydet maantien, rautatien tai vesiliikenneväylän lähellä olevan tai niitä risteävän johdon etäisyydelle. Taulukoiduille etäisyyksille on määritelty erityisohjeita rautatien läheisyydessä tai sitä risteävälle johdolle. Ohjeissa todetaan, että jos ilmajohdon vaakasuora etäisyys kiskoon tai sähköistetyn radan rakenteeseen on alle 5,0 metriä + D_{el} , tulee johtimien ja kiskonharjan välinen pystysuora etäisyys olla vähintään 7,0 metriä + D_{el} . Jos kyseessä on sähköistetty tai sähköistettäväksi aiottu rata, jonka ajojohdin on ilmassa, pitää etäisyyden olla vähintään 11,5 m + D_{el} . (SFS-EN 50341-2-7 2023, 22.) Osiossa 4 on mietitty vaihtoehtoisia järjestelyjä radan käytölle, mutta perustapauksessa ajatellaan ilmaväliseksi sähköistetyn radan ilmaväliä. Liitteen 1 mukaan roikkuvan ilmajohdon matalin korkeus on määritelty olevan 5 m + jännitelisä. Tämä etäisyys mitataan sivusuunnassa joko ulommasta raiteesta tai sähköratapylväästä, ottaen huomioon myös siihen liittyvät jännitteiset osat, kuten paluu- ja virtajohtimet. Alla kuvassa 3 (Liite 1) näkyy edellä mainittuja etäisyyksiä. Kun suunnitellaan useampiraiteista rataa, vaadittava sivuttaissuuntainen etäisyys kasvaa. Tällöin vaaditaan myös isompi pylvä- eli jänneväli ilmajohdoille (Sweco 2024).



Kuva 3. Ilmajohdostandardeista ja ohjeista koottuja vaadittavia turvaetäisyyksiä ilmajohdoista ja sähköradan jänniteisistä osilta (Sweco 2024)

Tätä periaatekuvaa käytetään ohjeistuksena näissä pohdinnoissa, jos kuitenkin tulee käyttöön suurnopeuskalusto muuttuvat myös ratasähköistuksen rakenteet, näitä muutoksia on pohdittu kohdassa 4.6.

Uutta rataa suunniteltaessa tai olemassa olevaa rataa sähköistettäessä on koko radan matkalta tarkastettava kaikki fyysiset etäisyydet ja erikoiskohteet. Erityistä huomiota vaativat taitorakenteet, kuten sillat, sillä sähköistetyllä radalla tarvitaan riittävä korkeus, jotta sähkörataan liittyvät rakenteet mahtuvat kulkemaan ohjeistusten ja sääntöjen mukaisesti. Samoin olemassa olevat tasoliittymät, risteykset, asutus ja kiinteistöt tarkastellaan etäisyyksien ja esimerkiksi maadoitustarpeen takia. Nousevat nopeusluokat sekä isommat junat ja massat tuottavat myös tärinöitä ja rasituksia radan ja maapohjan rakenteille. Radan ylittävät ja sen läheisyydessä olevat tai tulevat voimajohdot ja ilmajohdot arvioidaan etäisyyksien puolesta (kuva 4) ja ylittävät ilmajohdot on joko korotettava vaadittavaan minimikorkeuteen tai muutettava maakaapeloinniksi. (Haimi 2024.) Kantaverkon jännitetasolla maakaapelointi ei Anttilan tilanteessa ja sijainnissa tule varmasti realistiseen harkintaan, vaikka Helsingin kaupungin alueella sellaista toteutetaan. (Fingrid, Nd).



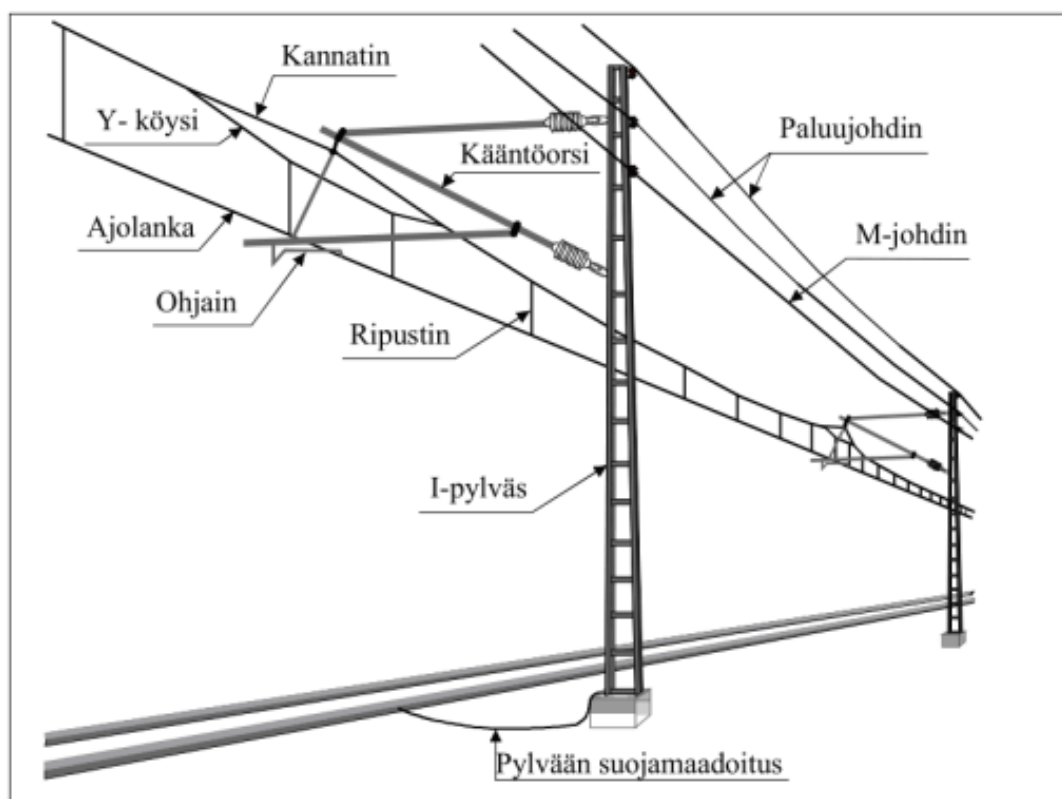
KUVA 4. Radan sähköistykseen liittyvä maastokatselmus (Sweco 2024)

2.3 Maadoituksista sähköradalla

Jakeluverkkojen maadoitusten perusvaatimuksena enintään 1 kV:n pienjänniteasennuksissa on standardi SFS 6000. Yli 1 kV:n suurjänniteasennuksissa perusvaatimuksena on standardi SFS 6001. Rata-alueilla noudatetaan Väyläviraston ohjeita. (SFS 6000 2022; Rakennustieto 2021.)

Standardi SFS 6000 perustuu IEC standardiin 60364. Standardi SFS 6001 perustuu standardeihin SFS-EN 61936-1 + A1 ja SFS-EN 50522. Sähköradan maadoituksiin sovelletaan standardin SFS 6001 peruseriaatteita. Standardissa asetetaan vaatimuksia maadoitusrakenteille, joita ovat esimerkiksi edellytys, että maadoitukset ovat korroosionkestäviä ja ne toteutetaan riittävällä lujuudella. Maadoituksen täytyy kestää termisesti suurin sen kautta kulkeva oikosulkuvirta, sekä ulkoisia rasituksia. Maadoitukset tulee rakentaa siten, että maasulkutilanteessa uhkaavia tulipaloja tai pahoja laitteistovaurioita ei aiheudu välittömästi. (SFS 6001 2018, 97; Ratahallintokeskus, 2005, 19.)

RATO 5:n mukaan maadoitukseen liittyvistä rakenteista on esitelty kuvassa 5. M-johdin on yleensä ilmassa oleva maadoitusjohdin, jota käytetään ratajohtopylväiden ja muiden rakenteiden maadoittamiseen paluukiskoon. Keräilyjohdin on maassa tai ilmassa olevan maadoitusjohdin, jolla useita ratajohtopylväitä tai muita suojamaadoitettavia osia liitetään paluukiskoon. Tavallinen maadoitus on tehty yhdellä maadoitusjohtimella. Varmistettu maadoitus puolestaan toteutetaan vähintään kahdella maadoitusjohtimella, jotka täyttävät sekä sähköiset että mekaaniset vaatimukset yksinään. (Liikennevirasto 2018c.)



KUVA 5. Sähköradan rakennetta ja maadoitukseen liittyviä rakenteita (Liikennevirasto 2018c, 24)

RATO 5:n mukaan maadoituksista syöttöasemilla sanotaan myös, että kosketusjännite ei saa ylittää standardissa SFS 6001 annettuja sallitun kosketusjännitteen U_{TP} tai lisäresistansseja käytettäessä U_{SDP} raja-arvoja. 110 kV johtoaukeille ja radan varteen voidaan sijoittaa lisäelektrodina kuparijohtimia poikkipinnoiltaan vähintään 25 mm². lisäksi vaurioitumisesta johtuvan vaaratilanteen huomioimisesta ohjeistetaan: jos vaihejohdin katketessaan voi sinkoutua huonosti sähköä johtavaan rakenteeseen (rakennuksen katolle) tai rakenteeseen, jonka

maasta eristetyt osat (betoniteräksset) voivat siirtää vaarajännitteen maasta eristämättömällä hoitotasolla tai maasta kosketeltaviin paikkoihin, asennetaan tällaisten rakenteiden päälle maasulkuvirtakestoinen maadoitus varmistamaan vian nopea laukaisu. (Liikennevirasto 2018c, 33.)

3 SÄHKÖASEMAT

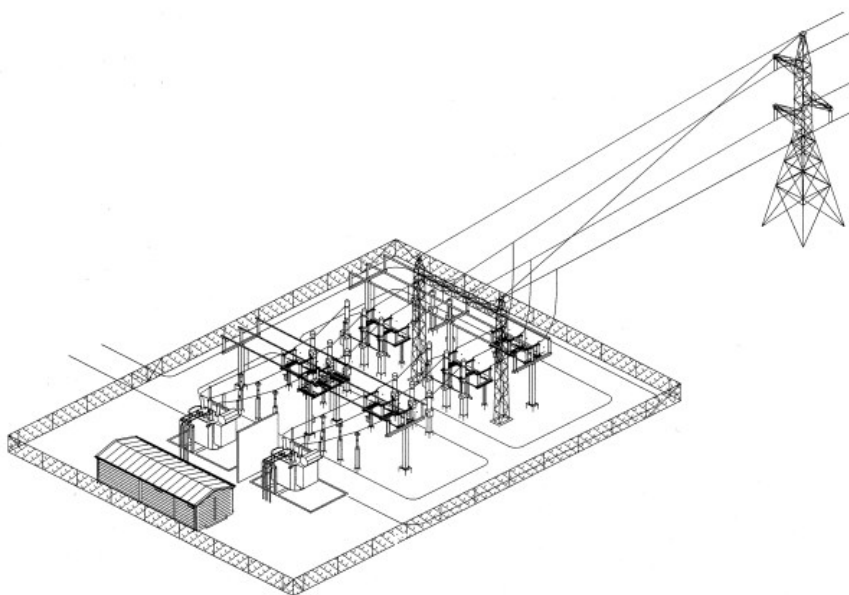
Tässä osiossa käsitellään aluksi taustatietoa, joka on tarpeen Anttilan sähköaseman tapauksen ymmärtämiseksi. Sähköasemien perusteiden esittely tarjoaa kattavan pohjan, joka helpottaa työn taustan ja kontekstin ymmärtämistä. Tämä sisältää tietoa sähköasemien toiminnasta, rakenteesta ja merkityksestä, jotta lukija voi hahmottaa työn sisältöä ja sen yksityiskohtia. Maanlaajuinen kantaverkko on sähkönsiirron runkoverkko, johon ovat liittyneet suuren sähköntuottajat, sähköä paljon kuluttavat tehtaot sekä sähkön jakeluverkot. Sähköasemat ovat tämän kantaverkon solmukohtia, vertaus moottoriteihin ja liittymiin on käytetty kuvaamaan tätä yhteyttä (Fingrid 2025a). Seuraavissa luvuissa esitellään sähköasemien perusteita ja niillä esiintyviä rakenteita.

3.1 Yleistä kantaverkon sähköasemista

Sähköasemista nousee erityistarkasteluun kantaverkkoyhtiö Fingridin sähköasemat, koska niihin tullaan vertaamaan tarvittavia turvavälejä ja muita huomiota otettavia seikkoja. Fingrid Oyj on suomalainen kantaverkkoyhtiö, jonka omistajina ovat Suomen valtio ja suomalaiset eläkeyhtiöt. Sen tehtävä on turvata yhteiskunnassamme varma sähkö kaikissa tilanteissa sekä edistää puhdasta, markkinaehtoista sähköjärjestelmää. Varma sähkö turvataan siirtämällä sähköä kantaverkossa, sähköjärjestelmän ”moottoriteilla” eli korkeajännitteisessä verkossa tuotantolaitoksilta teollisuudelle ja sähköyhtiöille. (Fingrid 2025a.)

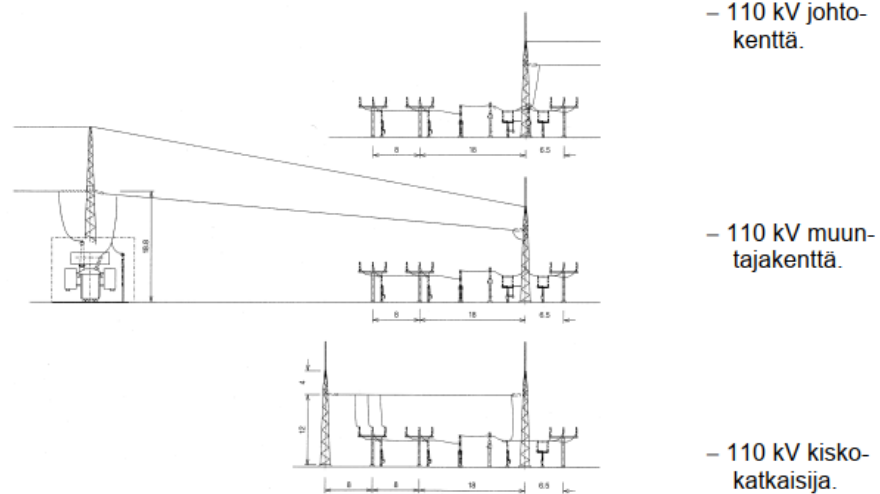
Kantaverkkoyhtiön sähköverkkotoimintaan kuuluvat verkonhaltijan harjoittama sähköverkon suunnittelu, rakentaminen, ylläpito ja käyttö, verkon käyttäjien sähkölaitteiden liittäminen sähköverkkoon, sähkön mittaus, asiakaspalvelu sekä muut sähkön siirtoon tai jakeluun liittyvät toimenpiteet, jotka ovat tarpeen verkonhaltijan sähköverkossa tapahtuvaa sähkön siirtoa tai jakelua ja muita verkon palveluja varten. (Energiavirasto 2024.)

Sähköasemien perusratkaisuja käsitellään ABB:n TTT-käsikirjan osiossa 13. Tämä lähde tarjoaa esimerkin mitoituksista ilmajohtojen ja sähköaseman kalusteiden osalta, jotka liittyvät sekä käsiteltävään tapaukseen että sähköasemien rakenteeseen yleisesti. Sähköasemille tullaan yleensä yläjännitepuolelle, eli päämuuntajan suuremman jännitteen puolelle ilmajohdoin, jotka päättyvät portaalirakennelmaan ja laskeutuvat tästä ilmajohdosta esimerkiksi kiskostoon kuten alla kuvassa 6. (ABB 2000, 11.)



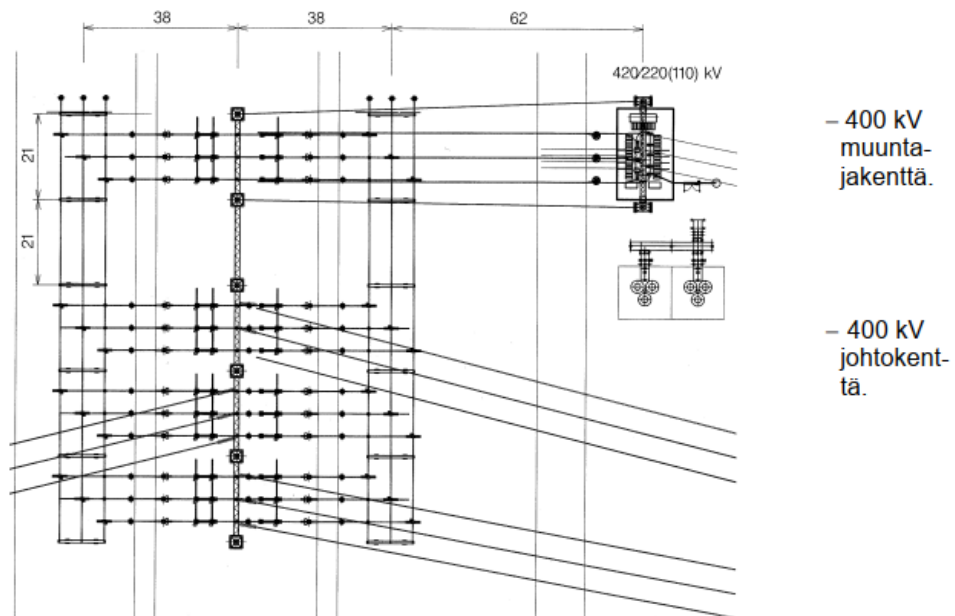
KUVA 6. Kytkinaseman perusratkaisu (ABB 2000)

Sähköaseman luonne ja kokoluokka vaikuttavat myös sen ilmajohtojen korkeuteen. Yleisellä 110/20 kV ulkokytkinlaitoksella, jossa käytetään ilmajohtoilla 110 kV:n yläjännitepuolta, ilmajohtojen korkeus portaalilla eli teräksisellä rakenteella sähköaseman kentän päässä on noin 12 metriä. Tämä korkeus on tyypillinen, jotta voidaan varmistaa riittävä turvaetäisyys maasta ja muista rakenteista, sekä vähentää riskiä sähkövirran aiheuttamille vaaratilanteille. Tämä käy ilmi alla olevasta kuvasta 7. (ABB 2000, 14.)



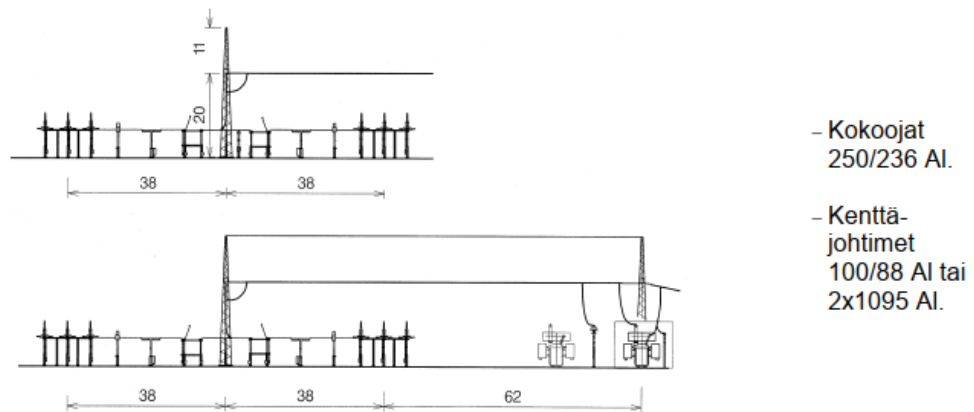
KUVA 7. Kiskoston korkeus 110 kV kytkinlaitoksella (ABB 2000)

Myöhemmin työssä tarkemmin tarkasteltava Anttilan sähköasema, joka kuuluu kantaverkon 400 kV:n sähköasemiin, erottuu monipuolisella topologiallaan ja rakenteellaan. Se sisältää enemmän kojeistoa ja tekniikkaa, ja sen alue on suurempi verrattuna 110/20 kV sähköasemiin, tästä esimerkki kuvassa 8. Ilmajohtojen osalta tilanne on kuitenkin samankaltainen kuin aiemmassa esimerkissä.



KUVA 8. 400 kV muuntaja- ja johtokenttä esimerkki (ABB 2000)

Mentäessä kantaverkon jännitetasolle, myös portaalille tulevat tai lähtevät ilmajohtot ovat korkeammalla ja ABB:n materiaalin mukaan 400 kV:n ilmajohtoille portaalilla johtojen korkeus olisi noin 20 metrin luokkaa, tämä on esillä alla kuvassa 9. (ABB 2000, 13.)



KUVA 9. 400 kV muuntaja- ja johtokenttä sivultapäin (ABB 2000)

Sähköasemien kiskostoista huomataan, että asemille saapuvat ja sieltä lähtevät ilmajohtot sijaitsevat eri korkeuksilla jännitetason mukaan. Tässä työssä ja tapauksessa suurin huomio keskittyy kantaverkon jännitetason 400 kV:n, sekä 110 kV ilmajohtojen korkeuksiin. Näihin tulee verrattavaksi pienin vapaa ilmaväli kiskojen selän ja ilmajohtojen välille, kuten kuvassa 3 on esitetty.

Liiku ja työskentele turvallisesti Fingridin sähköasemilla- julkaisusta löytyy kuva kantaverkon sähköasemasta (kuva 10), josta nähdään tähänkin tapaukseen erityisesti kuuluvia asioita. Kuvasta voidaan havaita sekä 110 että 400 kV:n ilmajohtolähdöt ja ilmajohtoja ja pylviä sähköaseman kojeistojen ja laitteistojen lisäksi.



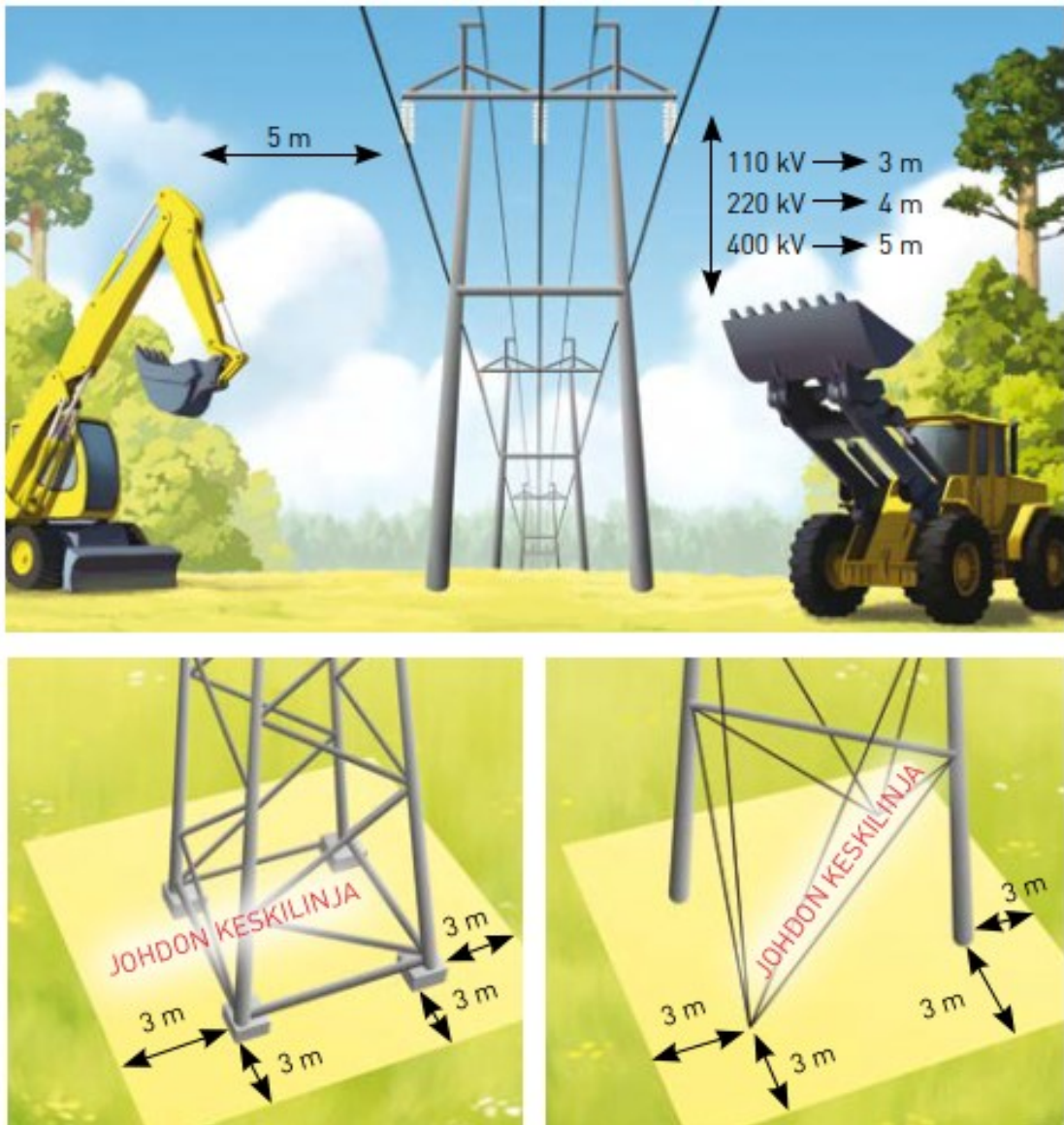
KUVA 10. Kantaverkon ilmaeristeinen sähköasema (Fingrid 2020, 10)

Sähköasemiin liittyvistä yleisistä ja asemakohtaisista vaaratekijöistä on kerrottu tarkemmin Fingridin sähköasemien turvallisuusasiakirjoissa. Asemalla työskentelyyn liittyvät vaaratekijät tulee selvittää aina osana työn suunnittelua yhteistyössä Fingridin asiantuntijan kanssa (Fingrid 2020, 23).

3.2 Ilmajohdojen ja sähköasemien läheisyydessä työskentely

Sähköradan rakentamisen aikana sekä työskenneltäessä suurjänniteilmajohtojen ja -kojeistojen läheisyydessä on otettava huomioon rakentamista koskevat lait ja määräykset. Näiden lisäksi erityisesti huomioon on otettava etäisyydet jännitteisiin osiin, jotta taataan turvallinen työskentely. Työskenneltäessä ilmajohtojen läheisyydessä on ehdottomasti noudatettava kuvassa 11 esitettyjä turvaetäisyyksiä. Mikään koneen, kuorman tai taakan osa ei saa vahingossakaan mennä tätä lähemmäs johtoa. Suurjännitteellä (1...500 kV) sähköisku voi aiheutua jo ilman suoraa kosketusta jännitteeseen osaan, kun jännite voi muodostaa valokaaren pitkänkin ilmavälin yli. (Fingrid 2020.)

Käsiteltäessä pitkiä tai suurikokoisia esineitä tai työskenneltäessä työkoneella ei mikään esine tai koneen osa saa vahingossakaan joutua sivusuunnassa tai alapuolella oheisissa kuvissa olevia mittoja lähemmäksi jännitteisiä johtimia. Voima-johtopylväiden pylväsala ulottuu kolmen metrin päähän pylvään maanpäällisistä perustus- ja harusrakenteista. Pylväsala on suoja-alue, jolla ei saa liikkua työko-neilla, kaivaa tai läjittää. (Fingrid 2017, 18.)



KUVA 11. Työskentely ja turvaetäisyydet avojohtojen läheisyydessä (Fingrid 2017)

Sähköradan vaatimista tiloja oli esitelty kuvassa 2, josta nähtiin ratapohjan rakenteita ja mittoja. Kuvasta nähdään ja voidaan päätellä, että maanmuokkausta ja pohjatöitä tehdään koko radan matkalta, joten myös maanmuokkaus ja maansiirtotyökoneita käytetään.

Alueilla, jossa maapohja on kiveä ja kalliota, tulee kyseeseen louhintatyöt ja niistä löytyy erityishuomioita koskien sähköasemia ja voimalinjoja. Louhinta voimajohdon johtoalueella ja sähköaseman sisällä vaatii aina luvan Fingridiltä. Louhintaurakoitsijan on toimitettava ennen työn aloitusta räjäytys- ja louhintatyön turvallisuussuunnitelma (Infra ry:n lomake) Fingridille. Toteutuneet räjäytyssuunnitelmat on toimitettava työn valvojalle. Työmaalla on tehtävä alku- ja loppukatselmointi. Louhinnan tärinäraja-arvoja antavalla asiantuntijalla tulee olla FISE:n (Finnish Information System for the Evaluation of Expertise on Suomalainen järjestelmä, joka sertifioi ja arvioi rakennusalan ammattilaisten pätevyyskysymyksiä) toteama vähintään a-luokan tärinäasiantuntijan pätevyys. Sytytysjärjestelmissä tulee pääsääntöisesti käyttää impulssiletku- ja/tai elektronisia nalleja. Sähkönallien (Ika III) käytössä on huomioitava räjäytys- ja louhintatyön turvallisuusvaatimukset. (Fingrid 2020, 10.).

Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid sekä Englannissa ja Walesissa toimiva kantaverkkoyhtiö Nationalgrid huomauttavat ja varoittavat sähköasemien vaurioituvan laitteiston vaaroista ja turvaetäisyyksistä. Ne ohjeistavat myös esimerkiksi rakentamiseen liittyvässä maansiirtotyössä. (Fingrid 2020a, 11; Nationalgrid Nd, 9). Louhintatöihin liittyvät räjäytykset voivat vaurioittaa ulkokytkinlaitoksen laitteita ja kojeita, jotka ovat herkkiä ulkoisille vaurioille. Tukieristimet ovat keraamisia, posliinista valmistettuja komponentteja, kun taas perinteiset eristimet ovat lasimateriaalia. Nämä eristimet ovat alttiita kolhuille ja iskuille, jotka voivat vahingoittaa niitä. Tämä on huomioitava myös kuljetus, säilytys, asennus ja käyttövaiheessakin. National Grid suosittelee minimietäisyydeksi 200 metriä sähköasemasta louhintatöihin liittyviin räjäytyksiin liittyen (Nationalgrid Nd, 9).

Fingrid Oyj:llä ja Väylävirastolla on erilliset ohjeet louhintatyöstä voimajohtojen läheisyydessä. Niissä on käsitelty tahattoman syttymisen vaaran lisäksi myös muita turvallisuuteen liittyviä asioita. Kun työskennellään lähellä sähkölinjaa, on muistettava myös sähköiskun vaarasta johtuvat turvaetäisyydet, jotka ovat sitä suurempia, mitä suurempi jännite on kysymyksessä. Esimerkiksi työkoneen puomi (kuva 11) voi joutua liian lähelle jännitteistä johtoa, jolloin tulee sähköiskun vaara. (Fingrid 2020a, 10.)

Sähköistetyin radan osalta mainitaan, että kun tehdään louhintatyötä rautatien läheisyydessä, noudatetaan Väyläviraston ohjeita (Louhintatyöt rautatien läheisyydessä 23/2013). Kaikissa tapauksissa on sovittava toimenpiteistä rautateiden edustajan kanssa. Sähköistetty rata on samanlainen riski sähkönalleille kuin voimajohdot, sähköistä sytytystä käytettäessä ja etäisyydellä 5–200 m. (Työturvallisuuskeskus 2023, 33.)

Alle 5 metrin etäisyydellä sähköradan laitteista ajojohdin on kytkettävä jännitteettömäksi silloin, kun panostetaan ja räjäytetään. Näin menetellään myös sähkötöntä sytytystä käytettäessä, kun on vaara kiven sinkoilusta. (Työturvallisuuskeskus 2023, 33.)

3.3 Vaatimuksia voimajohtojen rakentajille

Voimajohtojen osalta suunnittelussa tulee huomioida ratalain 37 § (radan suoja-alue). Voimajohdon pylväät eivät saa estää tai haitata rautatien tai maanteiden käyttöä. Voimajohdon rakentamiseksi rautatien ylitse tulee hakea Väylävirastolta erillistä risteämälupaa. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2019, 7.) Lisäksi haetaan ratalain (110/2007) 36 §:n mukainen radanpitäjän lupa. Lunastusluvan jälkeen haetaan Väylävirastolta voimajohdon rakentamiseksi rautatien ylitse risteämälupa. (Ratalaki 110/2007; Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2019, 10.)

Lupahakemus tulee toimittaa lähempänä ajankohtaa, jolloin varsinainen voimajohdon rakentaminen lähenee. Luvassa käsitellään turvallisuusasiat ym. vastuuasiat sekä hyväksytään rautateiden osalta tarkemmat suunnitelmat. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2019, Liite 1.)

Voimajohtopylväät eivät saa estää tai haitata rautatien tai maanteiden käyttöä. Suunnittelussa tulee huomioida Väyläviraston lausunnon mukaisesti ratalain 37 § mukainen radan suoja-alue. (Ratalaki 110/2007; Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2019, 15.)

Rautatiealueelle sijoitettavista rakennelmista ja laitteista tulee sopia rataverkon haltijan, Väyläviraston, kanssa (ratalaki 36 §). Sijoittamisesta sovitaan kirjallisesti Väyläviraston kanssa. Rautatiealueelle voidaan sijoittaa muita kuin radanpitoon liittyviä johtoja ja rakennelmia sopimalla käyttöoikeudesta ja toimenpiteen suorittamisesta Väyläviraston kanssa. Väylävirasto voi tehdä sopimuksen, mikäli käyttöoikeudesta tai toimenpiteestä ei aiheudu vaaraa liikenteelle eikä merkittävää haittaa radanpidolle, eikä työtä tai laitteiden sijoittamista voida muutoin järjestää tyydyttävästi ja kohtuullisin kustannuksin. (Ratalaki 110/2007; Väylävirasto 2024a.)

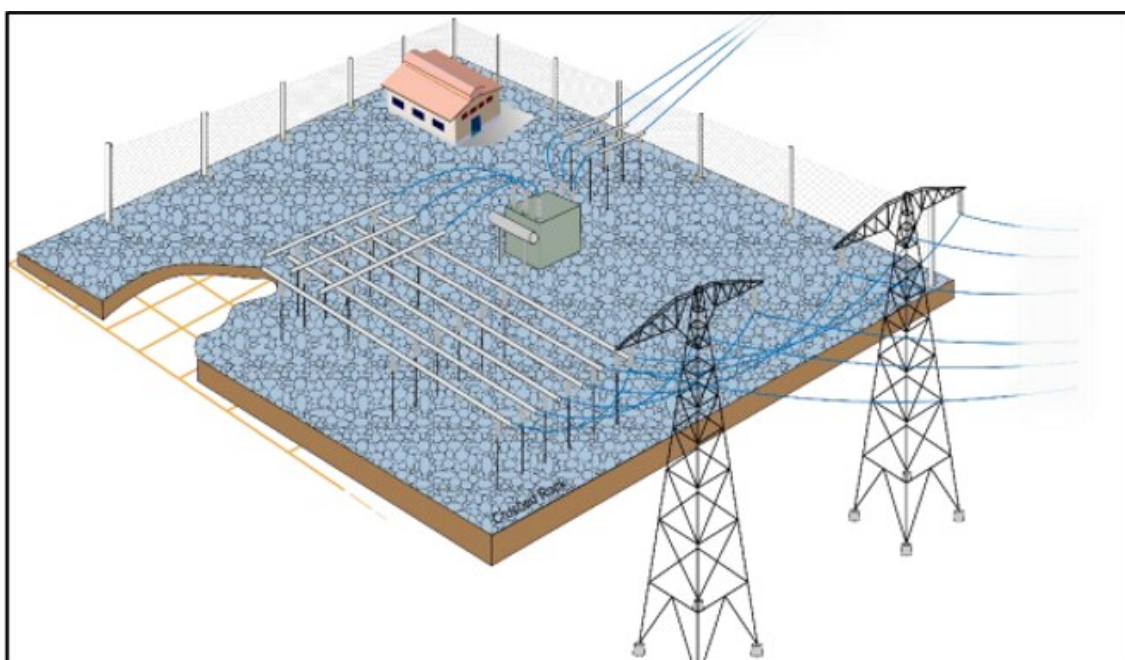
Kun sopimus koskee johdon, rakennelman tai laitteen sijoittamista rautatiealueelle, on sopimuksessa sovittava myös johdon, rakennelman tai laitteen tekemisestä ja kunnossapidosta sekä siitä, että mainitut toimenpiteet kuuluvat johdon, rakennelman tai laitteen sijoittajalle ja käyttöoikeuden saajalle. Sopimukseen on otettava ehto myös siitä, että johdon, rakennelman tai laitteen sijoittaja ja käyttöoikeuden saaja on velvollinen kustannuksellaan tekemään Väyläviraston vaatimat muutokset tai siirtämään taikka poistamaan johdon, rakennelman tai laitteen, jos johdon, rakennelman tai laitteen käyttämisestä aiheutuu ennakoimattomia vaaroja liikenteelle tai merkittävää haittaa radanpidolle. (Väylävirasto 2024a.)

Sijoittamistyön sijainnista ja suoritustavasta riippuen jotkin työvaiheet saattavat edellyttää sähköradan ajolankojen jännitteettömäksi tekemistä tai rautatieliikenteen katkaisemista. Katkojen mahdollisuus tulee selvittää mahdollisimman aikaisessa vaiheessa työn suunnittelua ja niiden ajoituksesta ja kestosta tulee sopia hyvissä ajoin. Rautatiealueelle sijoitettavien rakennelmien, laitteiden ja johtojen sijoittamisessa on noudatettava Väyläviraston ohjeita. Erityisesti tulee noudattaa Radanpidon turvallisuusohjeita (TURO), sekä tarvittaessa rakennustyön edellyttämiä muita ohjeita. (Väylävirasto 2024b.)

3.4 Maadoituksista sähköasemilla ja voimajohdoilla

Sähköasemilla käytetään tavallisesti verkkomaista maadoituselektrodia (maadoitusruudukko), johon yhdistetään muun muassa laitteiden maadoitusjohtimet.

Maadoitusruudukko (kuva 12) yhdistetään myös asemalta lähtevien johtojen ukkosjohtimiin. Kun asemat rakennetaan usein kovapohjaisille ja johtavuudeltaan huonoille maille, voidaan käyttää apuna myös asemalta lähteviä vaakamaadoituselektrodeja, jotka vedetään aseman ympäristön hyvin johtaville alueille. Yleensä vaakamaadoituselektrodit vedetään johtoaukeiden reunoja myöten ja yhdistetään pylväasmaadoitusuksiin. Vaakamaadoituselektrodien pituus rajoittuu yleensä enintään muutaman kilometrin, sillä pidemmillä elektrodeilla johtimien oma impedanssi kasvaa liian suureksi. Maadoitusruudukon ja siihen liitettyjen muiden maadoituselektrodien avulla huolehditaan siitä, etteivät kosketus- ja askeljännitteet, eli henkilöturvallisuuteen liittyvät jännitteet nouse aseman alueella vikatapauksessa liian suuriksi. Erittäin tärkeä merkitys on asema-alueen aidan ulkopuolella noin metrin etäisyydellä aidasta sijaitsevalla ruudukon uloimmalla johdinelektrodilla. (Elovaara & Haarla 2011, 446.)



KUVA 12. Sähköaseman maadoitusverkon periaatekuva (Transgrid n.d)

Standardissa SFS 6001 kuvatut suurjännitesähköasennuksia koskevat vaatimukset pätevät sellaisinaan sähköasemalla. Maadoitusten suunnittelussa noudatettavan menettelyn perusteet ovat samat kuin sähköjohdolla, mutta itse kosketusjännitesuojauksen toteutusprosessi on monimutkaisempi kuin suurjännitejohdoilla. (Elovaara & Haarla 2011, 449.)

Voimajohtopylväillä on vaakamaadoituksia, jotka on asennettu noin 0,5–0,7 metrin syvyyteen. Mikäli työskenneltäessä maadoitus vaurioituu, on siitä ilmoitettava Fingridin edustajalle välittömästi ja sovittava korjauksesta. Maadoitusjohtimen katkettua sen molemmat päät on jätettävä näkyviin maanpinnalle. (Fingrid 2020, 12.)

4 ITÄRATA JA ANTTILAN SÄHKÖASEMA

Tässä osiossa tarkastellaan yleisesti sähköradan rakentamiseen ja suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä, keskittyen erityisesti tilanteeseen, jossa suunnitellulle sähköradan linjaukselle sijoittuu kantaverkon 400 kV:n sähköasema. Lisäksi perehdytään voimajohtoalueen huomioimiseen. Koska kyseessä on kriittinen infra, otetaan huomioon myös huoltovarmuuteen vaikuttavia seikkoja.

4.1 Itärata

Työn pohjalla on Itärata Oy:n tekemät selvitykset uudelle Helsingistä itään päin suuntautuvalla radalla. Itärata Oy:n mukaan päätös jatkaa Itäradan suunnittelua Helsinki–Porvoo–Kouvola linjauksen mukaisesti perustuu vanhempiin selvityksiin, joissa on selvitelty linjausvaihtoehtoja laajemmin. Materiaalista selviää, että Itä-Suomeen suuntautuvaa uutta nopeaa rautatieyhteyttä on suunniteltu vuosien ajan. Pääsuuntaselvityksen kannalta oleelliset selvitykset ajoittuvat viimeisen viidentoista vuoden ajalle (Itärata 2024a, 16).

Itärata on Keravalta Porvoon kautta Kouvolaan suunniteltava kaksiraiteinen nopean henkilöliikenteen rata (kuva 13). Itärata erkaantuu länsipäässä Pasilan ja Keravan välille suunnitellusta Lentoradasta tunnelissa ja liittyy itäpäässä nykyiseen Lahti–Kouvola-rataan. Itärahankkeen keskeisenä tavoitteena on mahdollistaa kolmen tunnin matka-aika Helsingistä Joensuuhun ja Kuopioon (Itärata 2024a, 2).

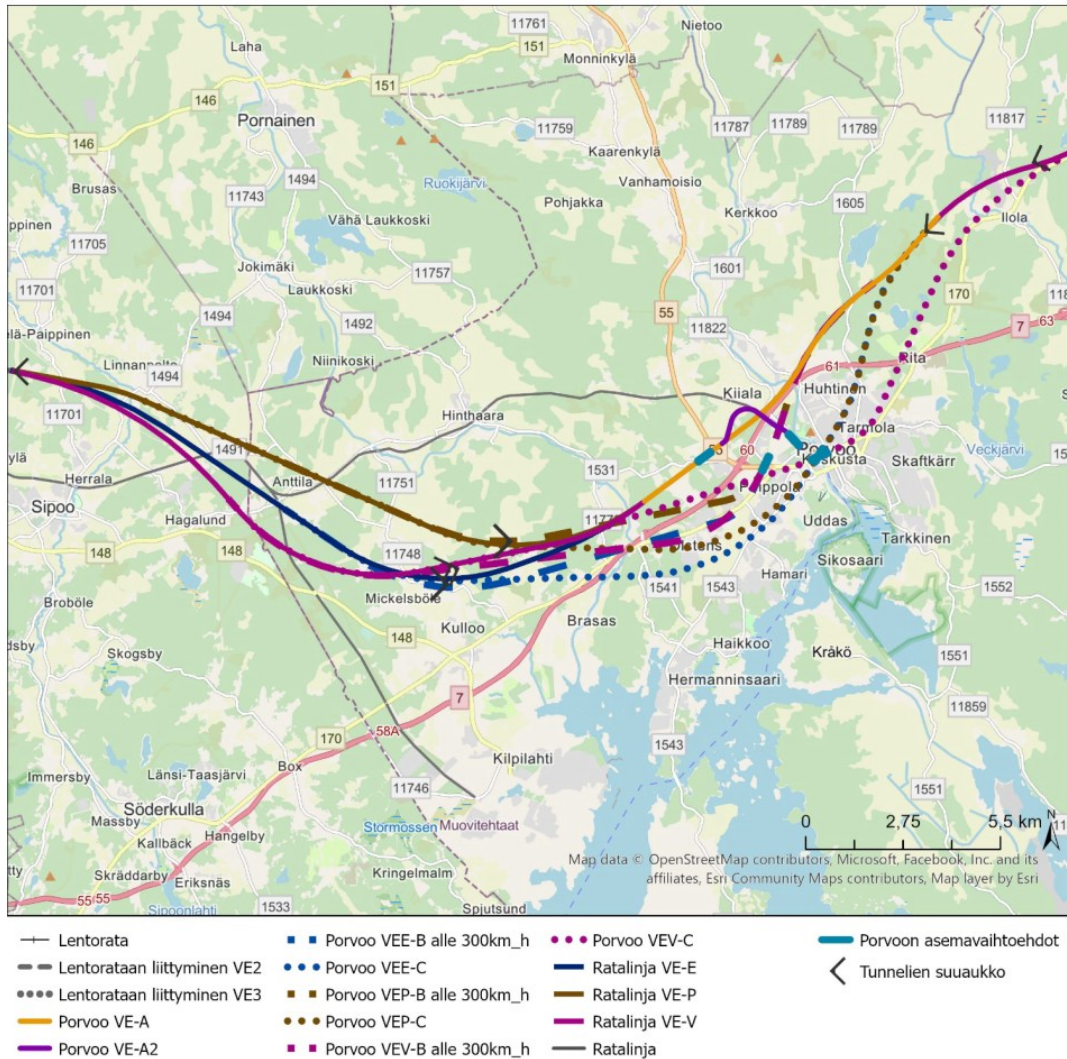


KUVA 13. Itäradan kartalle sijoittuminen (Itärata 2024a, 12)

Itärata Oy vastaa nopean henkilöliikenneradon suunnittelusta välille Lentorata–Porvoo–Koria, Kouvola, esisuunnitteluvaiheesta rakentamisvalmiuteen asti. Helmikuussa 2024 käynnistynyt ympäristövaikutusten arviointi (YVA) ja alustava yleissuunnittelu (AYS) pohjautuvat esisuunnittelutasolla laadittuun pääsuuntaselvitykseen, jossa on hyödynnetty vuosien 2008 ja 2023 välillä laadittuja selvityksiä uudesta Helsingistä itään suunnattavasta junaradasta (Itärata 2024a, 6).

Vuonna 2023 käynnistetyn pääsuuntaselvityksen keskeisenä tavoitteena oli laatia esisuunnittelutasolla alustavia ratalinjausvaihtoehtoja, jotka tukevat 300 km/h nopeustasoa. Selvityksen aikana kehitettiin myös alustavaa vaikutusten arviointia linjauksille sekä valmisteltiin ohjelmointia ympäristövaikutusten arviointimenettelyä (YVA-menettelyä) varten. Linjaussuunnittelussa otettiin huomioon tekninen toteutettavuus, kaavoitus, maankäyttö, luonnonympäristö, maisema, kulttuuriympäristö, maaston muodot ja esteet sekä pohjaolosuhteet (Itärata 2024a, 2).

Edellisten vaiheiden jälkeen oli muodostunut kuva radan mahdollisista reiteistä. Mahdolliset linjaukset reiteille piirtyvät kartalle ja sijoittuvat Porvoon alueelle kuvan 14 mukaisesti. Tämän työn osalta kiinnostavaksi alueeksi nousee radan linjaukset Porvoon länsipuolella olevan Anttilan kylän alueella, siellä sijaitsee Anttilan sähköasema. Kuvasta voidaan havaita suunniteltujen linjausten olevan jouheita ja suoraviivaisia, kuten raidelinjauksissa yleensäkin ja erityisesti tavoiteltaessa suurempia nopeuksia.

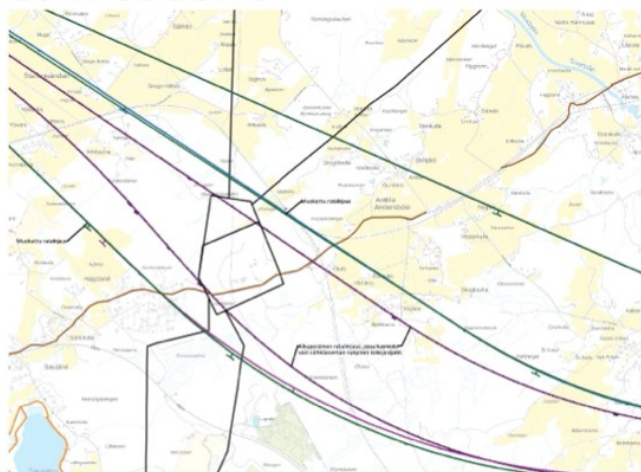


KUVA 14. Itäradan Suunniteltuja ratalinjoja Porvoon alueella (Itärata 2024a, 119)

4.2 Anttilan sähköasema

Tämän opinnäytetyön kannalta suurin kiinnostus ja huomio keskittyy Anttilan alueelle Forssan länsipuolelle, missä Anttilan kylässä sijaitsee yksi Suomen suurimmista kantaverkon sähköasemista. Itäradan kolme reittilinjausta osuvat kaikki lähelle tätä sähköasemaa. Fingridiltä ei saatu erityisesti Anttilan sähköasemaan liittyviä turvallisuusasiakirjoja käytettäväksi tässä opinnäytetyössä. Tämän vuoksi on käytetty julkisista lähteistä löytyviä dokumentteja ja tulkittu sekä hyödynnetty niitä ohjeiden ohella materiaalina. Suuntaa antavan kuvan linjauksista saa kuvassa 15 olevassa lähikuvassa sähköasemasta ja sen lähialueesta.

Anttilan sähköasema



ITÄRATA

11.6.2024

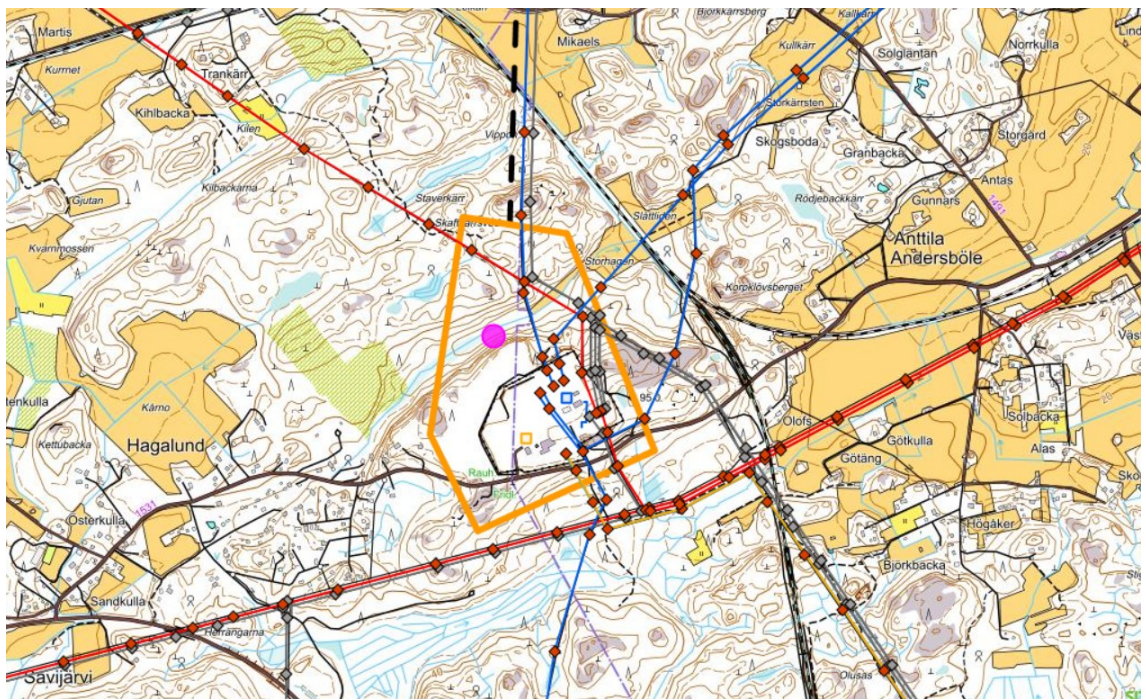
5

KUVA 15. Anttilan sähköaseman läheisyyteen osuvat ratalinjaukset (Itärata 2024b)

Anttilan sähköasema sijaitsee Porvoon ja Sipoon rajalla, jonne kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj suunnittelee uutta 400 kilovoltin voimayhteyttä. Tältä kantaverkon sähköasemalta lähtee jo ilmajohtoina 110 kV:n ja 400 kV:n voimajohtoja ja Fingridin karttapalvelusta voidaan nähdä näiden maantieteellisiä suuntia sekä pylväiden sijainteja, joita esillä kuvassa 16. Aiemmissa osioissa 2 ja 3 tarkasteltiin turvaetäisyyksiä sekä muita huomioon otettavia asioita. Näitä tarkasteluja voidaan hyödyntää muodostettaessa käsitystä tämänkin kuvan ilmajohtojen pylväiden sekä ilmajohtojen mitoituksen osalta.

Kuvaan on merkattu sinisellä nykyisiä 400 kilovoltin johtimia eli ilmajohtoja, sekä mustalla katkoviivalla olemassa olevan linjan viereen uusi, nyt suunnittelussa oleva 400 kV:n yhteys. Kuvassa on harmaalla ja punaisella olemassa olevat 110 kV:n ilmajohdot sekä näiden pylväät. Näiden pylväiden etäisyyksiä voidaan hyödyntää tarkasteltaessa vaadittavia mittoja etäisyyksien osalta. Karttasivustolla on myös mittakaava, joka mahdollistaa arvioiden tekemisen pylväsetäisyyksistä. Näiden arvioiden perusteella voidaan myös määrittää jänneväli kullekin lähdölle. Jänneväli tarkoittaa rakenteessa kahden tukipisteen välistä etäisyyttä. Esimerkiksi siltojen tai sähköratojen pylväiden jänneväli kertoo, kuinka kaukana toisistaan tukipisteet tai pylväät ovat. (Fingrid 2025b.)

Fingridin mukaan lähtökohtana uudelle 400 kilovoltin voimalinjalle on nykyisten voimareittien hyödyntäminen, jolloin suunnittelussa voidaan hyödyntää olemassa olevaa pylväsväliä. Samalla kun uusia voimalähtöjä rakennetaan, kasvaa myös tämän sähköaseman koko ja vaatima maa-ala. Julkisista lähteistä ei ollut saatavilla tarvittavaa tietoa pinta-alasta, joten tulevat mitoitus ja suunnitelmat on käsiteltävä periaatteellisella tasolla. (Fingrid 2024a.)



KUVA 16. Anttilan sähköasema kartalla ja voimalinjalähdöt sekä pylväät (Fingrid 2024a)

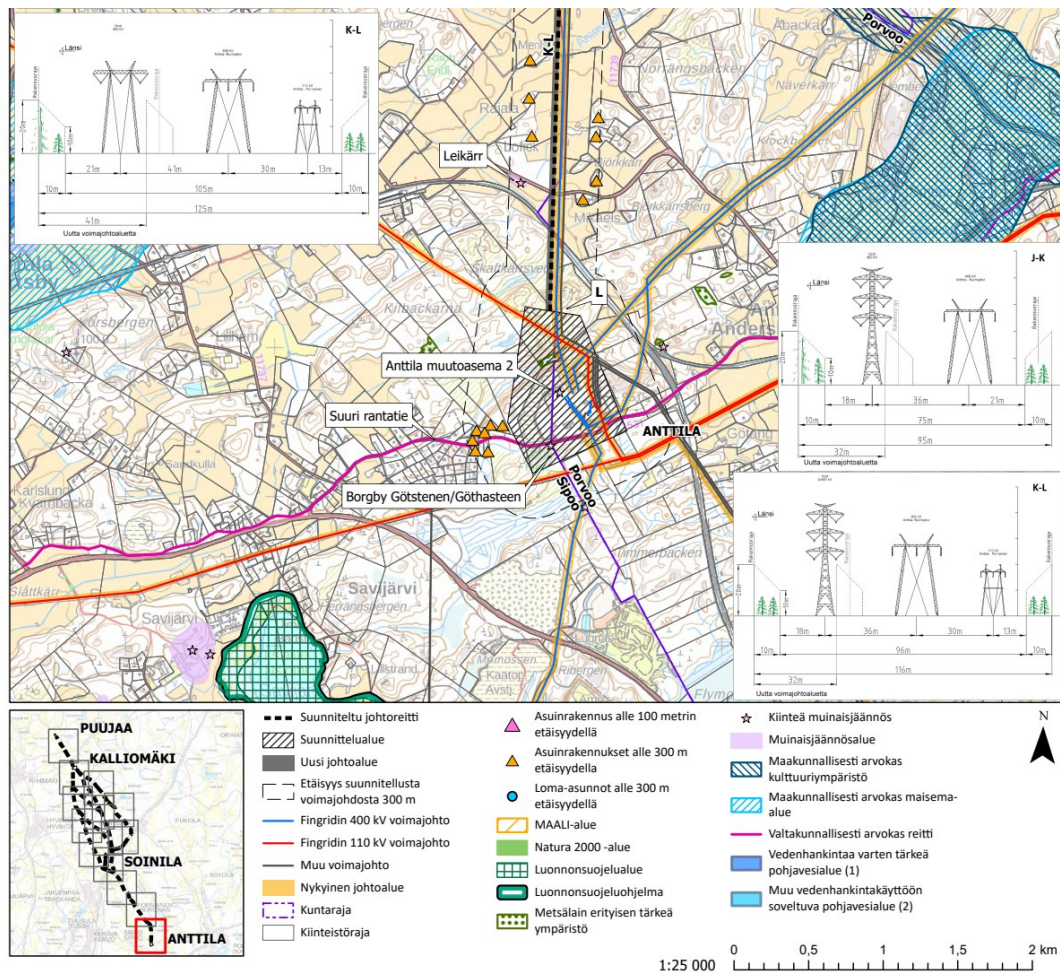
Pohjoiseen päin lähtevään linjaan, eli Kalliomäen ja Anttilan välille tarvitaan kantaverkon tulevaisuuden sähkönsiirtotarpeitten mukaan joko yhden tai kahden 400 kilovoltin voimajohdon sähkönsiirtoyhteys. Yhden 400 kilovoltin voimajohdon perusratkaisuna käytetään harustettua pylvästä ja kahden voimajohdon perusratkaisuna vapaasti seisovaa yhteispylvästä. (Fingrid 2024a.) Suunnitellun voimayhteyden toteutuminen voi vaikuttaa sähköradan pylväiden sijainteihin, ja tämä on otettava huomioon sähköradan suunnitteluprosessissa.

Hausjärven ja Anttilan välinen voimajohtoyhteys tarvitaan kantaverkolle asetetun käyttövarmuusvaatimuksen turvaamiseksi, kun sähkönsiirto kasvaa tavoiteltaessa hiilineutraalia Suomea vuonna 2035. Myös sähkön hinta pystytään säilyttämään yhtenäisenä koko Suomessa. Nämä ovat Fingridin lakisääteisiä tehtäviä. (Fingrid 2024a.)

Fingridin mukaan päätös jatkosuunnittelusta ja rakentamisesta tehdään ympäristövaikutusten arviointimenettelyn jälkeen. Alustavan aikataulun mukaan voimajohtorakentamisen edellyttämät maastotutkimukset ja yleissuunnittelu tehdään vuosina 2025–2027. Voimajohtoyhteyden rakentamisen arvioidaan tapahtuvan vuosina 2028–2030. (Fingrid 2024a.)

4.3 Voimajohtoalue

Anttilasta pohjoisen suuntaan on jo aiemmin rakennettu 400 kV:n ja 110 kV:n voimajohtolinjoja, kuten nähdään Fingridin voimajohtohankkeen YVA-ohjelman kuvassa 17. Tämän vuoksi kaikki Itäradan pohjoispuolelle suunnitellut reitit tulisivat alittamaan nämä linjat, ja niiden etäisyydet ja korkeudet tulee ottaa huomioon suunnittelussa. Kuvassa on esitelty myös pylväiden malleja ja korkeuksia, mutta siitä ei käy esille jänneväli eikä ilmajohdon matalin kohta. Sähköverkot 2 kirjassa on mainittu kantaverkon pylväsväliksi 200–350 metriä vaihdellen maaston ja muiden erikoisvaatimusten mukaan (Elovaara & Haarla 2011, 272), joten näitä mittoja voidaan käyttää myös tämän tilanteen perusoletuksena.



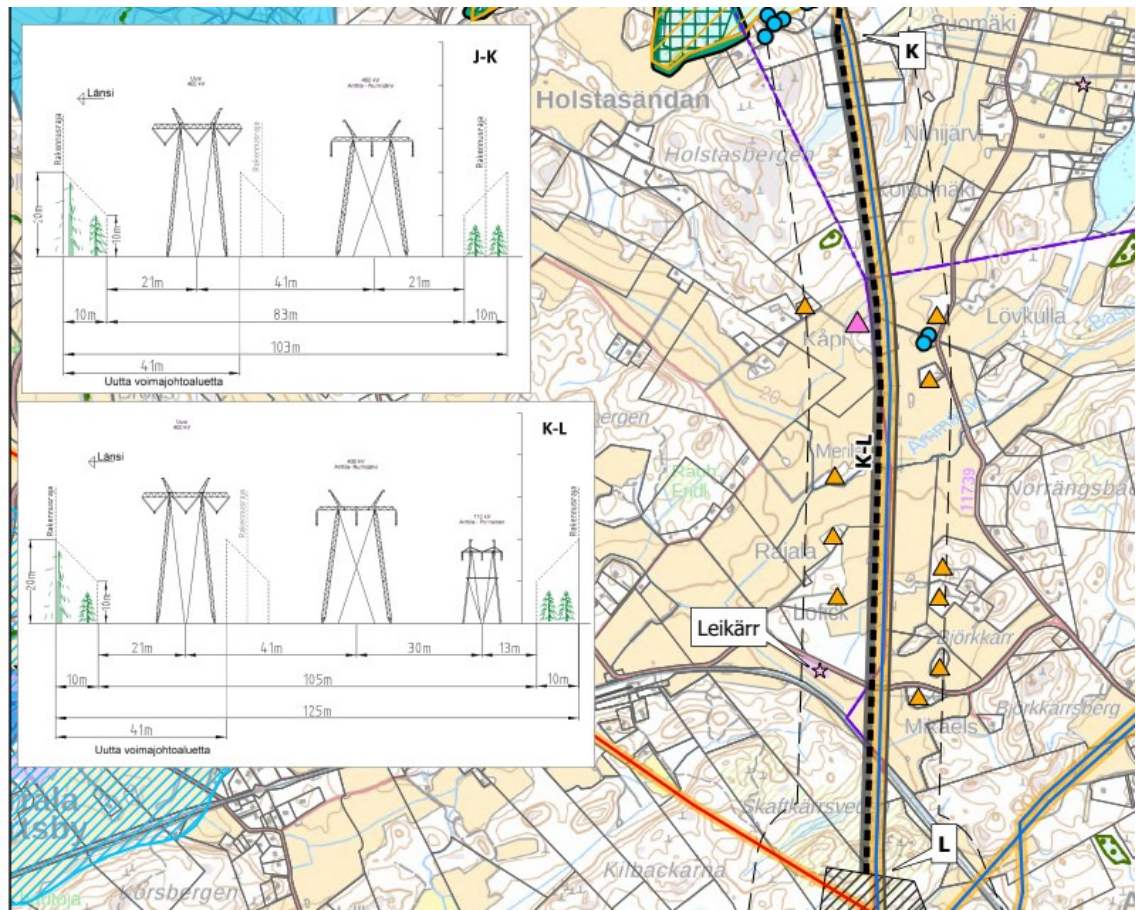
KUVA 17. Anttilan muuntoaseman lähteviä voimajohtoyhteyksiä (Fingrid 2024a)

Ilmajojen rakentamisesta liikenneväylien sekä virkistysalueiden läheisyyteen ohjasivat esimerkiksi ennen päivämäärää 31.12.2010 Vahvavirtailmajojen määräykset VIM A4-1993. Tämän jälkeen rakennettavien ilmajojen rakentamista ohjaavat uudet ilmajojen rakentamistandardit. Yleisten teiden osalta johtojen rakentamista ohjaa lisäksi tiehallinnon ohje sähköjohdot ja yleiset tiet. Rautateiden osalta ilmajojen rakentamista ohjaa Ratahallintokeskuksen yleisohje johdoista ja kaapeleista Ratahallintokeskuksen alueella. Ilmajojen rakentamiseen vesi liikenneväylien läheisyyteen ohjaa merenkululaitos. Niin yleisen tien, kuin rautatien sekä vesiliikenneväylän ylittäminen on luvanvaraista ja lupaehtoissa määritellään johdon paikka ja sen rakentamistapa. Nykyisin nämä kolme virastoa on yhdistetty liikennevirastoksi. (Monni 2010.)

Vahvavirtailmajojen määräykset luokittelevat myös kadut, torit, aukiot, pysäköintialueet sekä kuorma- ja purkausalueet tieksi. Näiden alueiden etäisyysvaatimukset ovat samat kuin tiealueella annetut vaatimukset. Ilmajojen rakentamistandardi

SFS-EN 50423-1 antoi virkistysalueelle omat etäisyysvaatimukset. Vuonna 2025 tämä edellinen standardi on jo kumottu, ja nyt käytetään suurjänniteilmajohtostandardina SFS-EN 50341-1. (SFS 50341-1 2014, 21).

Esimerkkikuvassa 18 on esillä poikkileikkaus voimajohtoalueesta Anttilan sähköaseman pohjoispuolelta. Siinä on nähtävillä tilanne uuden voimajohdon rakentamisen jälkeen, ja koska siihen tulee kolme ilmajohtolinjaa (2 kpl 400 kV ja 1 kpl 110 kV), pylväät tuskin asettuvat samaan linjaan johtuen jännitetasoista ja käytettävistä jänneväleistä. Mahdollinen ajateltu radan linjaus tulisi saada jouheasti näihin pylväsväleihin. Voimajohtolähtöjä lähtee tältä sähköasemalta myös muihin suuntiin, joten näissäkin reittivaihtoehdoissa pätevät samat lähtökohdat.



KUVA 18. Poikkileikkaus voimajohtoalueesta Anttilasta pohjoiseen (Fingrid 2024a)

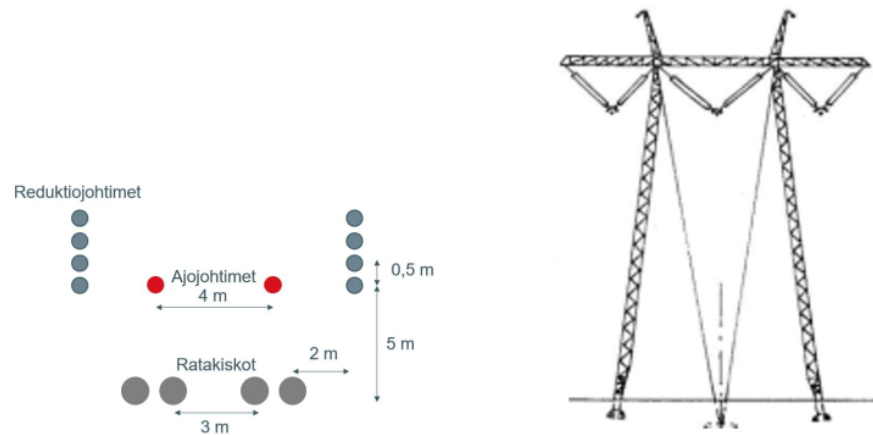
4.4 Siirtyvät jännitteet

Fingrid on Suomen kantaverkkoyhtiö, joka tekee myös siirtyvien jännitteiden tarkasteluja 440 kV:n voimajohdoille. Vantaan Raitiotien reitin varrelle osuu voimalinjoja radan eteläpuolelle radan suuntaisesti. Samoin kuin Itäradan ja Anttilan sähköaseman tapauksessa on tässäkin sekä 110 kV että 440 kV ilmajohtoja radan läheisyydessä. Erityisesti radan suuntaisessa tapauksessa voi voimalinjoista mahdollisesti induktiivisesti-, sekä kapasitiivisesti kytkeytyä raitiotien ja ajojohtimeen hyvinkin suuria jännitteitä. Raitiotien tapauksessa ajojohtimen jännite on yleensä luokkaa 750 V DC, kun rautateillä se on vastaavasti 25 kV AC tai $2 \cdot 25$ kV AC, joten raitioteillä ajojohtimiin induktion myötä siirtyvät jännitteet ovat suhteellisesti suurempia verrattuna nimellisjännitteisiin.

Fingridin siirtyvien jännitteiden tarkastelussa mallinnetaan rataa tarkasteltavalta alueelta ja tarpeen pohjalta. Siirtyvien jännitteiden tarkastelussa kartoitetaan sekä induktiivisesti-, että kapasitiivisesti voimajohdosta raitiotien kiskoon ja ajojohtimeen kytkeytyviä jännitteitä. Voimajohtojen osalta malli on kuvattu rinnakkaiselta osuudelta mahdollisimman tarkaksi. Tarkastelun alla olevien rinnakkaisten kohteiden, ajojohdin ja rataakisko, mallinnukseen ohjelmassa on rajoitteita, joten kohteet on kuvattu niiden puitteissa (Vantaan Raitiotie 2024b, 1). Ajojohtimien, rataakiskojen, syöttö- ja paluukaapelien sekä johtimien osalta mallinnetaan jokaiselle tapaukselle sopivat realistiset arvot. Lisäksi mallissa käytettävät arvot dokumentoidaan laskentaa varten. Myös näiden kaikkien oikeat sijainnit ja topologia pyritään muodostamaan realistiseksi, näitä esillä kuvassa 19.

2 Siirtyvät jännitteet

Ajojohtimiin ja ratakiskoihin siirtyvän jännitteen suuruutta on simuloitu kuvan 1 mukaisella reduktiojohdin järjestelyllä. Reduktiojohtimilla voidaan pienentää raitiotiehen siirtyviä jännitteitä.



Kuva 1. Havainnekuva reduktiojohdinten sijoittelusta. Kuva ei ole mittakaavassa.

KUVA 19. Indusointi jännitesimuloinnin asetelma (Vantaan Raitiotie 2024b)

Tarkastelussa lähimmän ratakiskon ja voimajohdon välinen etäisyys on 23 metriä 400 kV voimajohdon keskilinjasta. Tarkasteltavat kohteet ovat rinnakkain johtojen kanssa noin 850 metrin matkan. Kohteet on mallinnettu pylväsväleittäin noin 230–315 metrin mittaisina osuuksina (Vantaan Raitiotie 2024b, 1).

Siirtyviä jännitteitä on tarkasteltu hyvin korkean siirron tilanteessa, jolloin voimajohtoilla kulkeva virta on suurimmillaan. Lisäksi jännitteitä tarkasteltiin yksivaiheisen maasulun aikana, jolloin vikaantuvassa vaiheessa kulkee huomattavasti kuormitusvirtaa suurempi virta ja terveissä vaiheissa jännite nousee. Jännitteen siirtymistä tapahtuu rinnakkaisen 400 kV johdon magneettikentän (vaikuttavana tekijänä johdolla kulkeva virta) sekä sähkökentän (vaikuttavana tekijänä johdon jännite) kautta. Näiden vaikutus rinnakkaiseen kohteeseen on erilainen sekä riippuu siitä, miten rinnakkainen kohde on kytketty, sijoittuu voimajohtoon nähden sekä onko se maadoitettu vai ei (Vantaan Raitiotie 2024b, 2). Tämän kaltaista tarkastelua voitaisiin toteuttaa myös Itäradan ja Anttilan sähköaseman tapauksessa. Kuitenkin, koska radan ei ole tarkoitus kulkea kantaverkon avojohtojen suuntaisesti, tämän tarkastelun toteuttaminen ei todennäköisesti ole tarpeellista.

Fingrid on tutkinut induktiivista ja kapasitiivista kytkeytymistä suunnitteluvaiheessa simuloinneilla ja laskennoilla. Näistä tuloksista voidaan arvioida voivatko siirtyvät jännitteet aiheuttaa ratasähköjärjestelmässä sähköturvallisuusriskin,

sekä kalustoon vikoja ja vaurioita. Raitiotien tässä nimenomaisessa tilanteessa sähköturvallisuusriskin aiheuttavat simulointien mukaan induktiivisesti sekä kapasitiivisesti kytkeytyvät jännitteet, jotka ylittävät kosketusjännitteen rajan radassa. (Vantaan Raitiotie 2024a, 3.)

Tässä raitiotien tapauksessa yritettiin siirtyviä jännitteitä pienentää siirtämällä raitiotietä mahdollisemman kauaksi korkeajännitelinjasta, sekä mallinnettiin radan ja voimajohdon välille asennettavia reduktiojohtimia. Reduktiojohdin on osa sähköjärjestelmää, joka on suunniteltu vähentämään sähkön virran kulkua tietyssä osassa järjestelmää. Tämä voi olla tarpeen esimerkiksi sähköverkkojen hallinnassa, jotta voidaan tasata jännitteitä ja virtatasoja eri osissa verkkoa. (Väylävirasto 2016, 66). Näillä toimenpiteillä ei kuitenkaan tässä tapauksessa saatu riittävästi laskemaan induktiivisesti-, että kapasitiivisesti kytkeytyvien jännitteiden riskiä.

Yleisellä tasolla voidaan tämän tapauksen siirtyvistä jännitteistä vetää muutamia johtopäätöksiä. Fingrid on käyttänyt simuloinneissaan kahta eri raitiotien syöttötopologiaa, joissa raitiotie sähköjärjestelmä oli jaettu kahteen tai neljään osaan rinnakkaisella osuudella voimajohdon kanssa. Simulointien perusteella nähdään, että jakaminen neljään osaan ei vaikuta merkittävästi ajojohtimeen siirtyvään jännitteeseen. Tämä jännite on moninkertainen verrattuna raitiotien nimellisjännitteeseen 750 VDC, ollen luokkaa 4 kV maan potentiaaliin nähden. Kiskon jännite maanpotentiaaliin nähden nousee arvoihin 12–25 V, eikä siis nouse korkeaksi (Vantaan Raitiotie 2024b, 3).

Yksivaiheisen maasulun aikana vikapaikan sijainnilla raitiotiehen nähden on vastakkainen vaikutus kiskoon ja ajojohtimeen. Ajojohtimeen vaikuttaa eniten lähimmän johtimen jännite, joka on suurimmillaan terveessä vaiheessa maasulun aikana. Kiskoon vaikuttaa eniten lähimmässä johtimessa kulkeva virta, joka on suurimmillaan, kun lähin vaihe vikaantuu (Vantaan Raitiotie 2024b, 2). Vikatilanteessa 0,1 s kiskon jännite nousee maahan nähden topologian mukaan arvoihin 100–400 V ja nousee jo vaaralliselle kosketusjännite tasolle. vikatilanteessa topologian mukaan ajojohtimen jännite maahan nähden nousee tasoille 1.7–5,5 kV, eli nousee normaalitilanteen arvosta. (Vantaan Raitiotie 2024b, 2.)

Simulointituloksista, jossa ei ole ajo- tai reduktiojohtimia ja kiskot ovat maadoitettuna. Jakamalla kiskot kahteen osaan sähköisesti jännite kiskossa laskee lähes puoleen. Yksivaiheisen maasulun aikana jännite nousee voimajohtossa vikaantuneessa vaiheessa kulkevan suuremman vikavirran takia ((Vantaan Raitiotie 2024b, 3) Tässä tapauksessa jännite ratakiskoissa maahan verrattuna nousee hiukan edellisestä versiosta ja on luokkaa 25–52 V. ja vikatilanteessa 0.1 s nousee jo korkeammalle tasolle ollen luokkaa 350–660 V ja aiheuttaisi vaarallisen kosketusjännitteen (Vantaan Raitiotie 2024b, 3).

Näiden simulointien tulosten mukaan ainoa toteutuskelpoinen ratkaisu olisi akkuikäyttöisyys, jolloin alueelle ei asenneta avojohdinta kaluston tarvitsevaa virtaa varten, sekä kiskoston maadoitus järjestetään poikkeavasti muuhun raitiotiealueen kiskoston maadoitukseen verrattuna. Kyseisen tapauksen raitiovaunu hankinnassa varaudutaan akkukäyttöisiin raitiovaunuihin, jotka voivat ohittaa kyseisen alueen akkuajolla ja siirtyä takaisin käyttämään ratasähköjärjestelmää seuraavilla pysäkeillä. Akkuajoprosessi käynnistyy edellisellä pysäkillä, jolloin vaunun virroitin lasketaan alas ja tämän jälkeen akkuajo voidaan aloittaa. Akkuajo päättyy ajolangattoman osuuden jälkeen seuraavalla pysäkillä, jolloin vaunu virroitin nostetaan takaisin ajolankaan. Vaunun virroittimen lasku- ja nostotoimenpiteet toteutetaan vaunun ollessa pysähtyneenä pysäkillä (Vantaan Raitiotie 2020a, 3). Raitiovaununinjallakin tämä aiheuttaa muutoksia syöttävän syöttöaseman sekä syöttö- että paluukaapelointeihin.

Sähköradan tapauksessa tämä hidastaisi matkan kokonaisuutta ja lisäisi kovia kiihdytyksiä, mikä on haastava kuorma syöttävälle järjestelmälle. Lisäksi kaikki tästä kulkeva kalusto tulisi varustaa akkuajon mahdollistavalla tekniikalla, joka vähentäisi taloudellista mielekkyyttä ennestään. Virrattomana rullaamista ilman akkuajoa on pohdittu lisää seuraavassa osiossa.

4.5 Sähköaseman ja johtoaukean ohittaminen

Fingridin indusoituneista jännitteistä olevan analyysin perusteella huomattiin, että raitiovaunulla voitiin ja täytyikin käyttää akuilla-ajoa. Pääradalla virroittimen

lasku ja nosto tulisi suorittaa junakaluston ollessa paikallaan. Tämä ei kuitenkaan ole käytännöllistä ison junan kohdalla, koska operaatio aiheuttaisi merkittäviä vaikutuksia aikatauluihin. Tällä olisi vaikutus myös tehonsyöttöjärjestelmään, koska aina kun juna kiihdyttää täysillä, ottaa se myös maksimi virran ja tehon syöttävästä järjestelmästä. Myöskään tämän johdottoman ja sähköttömän alueen ohi ei pääsisi mikään kalusto, ellei siinä olisi akkuajomahdollisuutta. Teoriassa alueen voisi ohittaa rullaamalla. Rullaamisella tarkoitetaan jännitteettömän, työmaadoitetun tai rikkoutuneen johdonosan ohittamista sähkövetokaluston virroitin alhaalla liike-energian avulla.

Eräällä siltatyömaalla on ollut tämän tapainen tilanne, jossa sähköradan kalusto oli laskenut virroitimen alas vauhdista ja rullannut virrattoman siltatyömaa-alueen ohi, jonka jälkeen nostanut taas virroitimen vauhdista. (Haimi 2024.) Virroitimen lasku ja nosto liikkeessä voivat aiheuttaa kipinöintiä ja valokaaren, mikä vaikuttaa sekä virroitimen, että ajojohdon kulumiseen. (Haimi 2024.) Tämän vuoksi menetelmä ei ole täysin ongelmaton. Junan virroitin (kuva 20) on suhteellisen helppo vaihtaa ja huoltaa varikolla, mutta ajolangan huolto ja korjaaminen on monisyisempi tapaus, aiheuttaen jännitekatkon sekä katkon liikennöintiin.



KUVA 20. Virroitin koeajojen jälkeen (Sweco 2024)

Rullaamisesta on liikenneviraston sähkörataohje, jossa määritellään ohjeet ja perusteet käytänteille. Liikenteenohjauksen on sovittava käyttökeskuksen kanssa rullauksen käytöstä, ellei siitä ole annettu ennalta ohjeita. Käyttökeskuksen on ilmoitettava liikenteenohjaukselle jännitteettömät kytkentäryhmät ja mahdolliset muut rullauksessa huomioon otettavat seikat. (Liikennevirasto 2016, 44.)

Jos kyseessä on junavaurio tai sähköradan rakenteiden rikkoutuminen, sähköalan ammattihenkilön on käytävä toteamassa, että ATU (avoimen tilan ulottuma, pitkin raidetta ulottuva tila, jonka sisäpuolella ei saa olla kiinteitä rakenteita eikä laitteita) on vapaa rullattavalla alueella sähköratarakenteiden osalta. Ammattihenkilön tulee myös ilmoittaa asiasta liikenteenohjaukselle. Ennen rullauksen aloittamista rullaamiseen vaikuttavat sähköradan merkit on sijoitettava paikoilleen. Jos edellä mainittuja merkkejä ei voida käyttää tilanpuutteen tai muun syyn vuoksi, varmistetaan tapauskohtaisilla ohjeilla ja toimenpiteillä, että virroitimen laskeminen ja nostaminen tapahtuvat oikeassa kohdassa. (Liikennevirasto, 2016, 44.)

Englannissa käytetään virtakiskoja, joita hyödynnetään myös metrojärjestelmissä. Järjestelmässä ei käytetä ilmajohtoja, vaan sähköteho saadaan kolmannelta kiskolta. Tässä asetelmassa huippunopeudeksi on ilmoitettu 160 km/h. Ongelmaksi muodostuu se, että kalusto tulisi varustaa tällaisella teknologialla, mikä voisi rajoittaa muiden kalustojen liikennöintiä. Tällöin taloudellinen kannattavuus olisi kyseenalaista. (NetworkRail 2024.)

Jos tälle pienelle alueelle olisi välttämätöntä käyttää erityistä ajotapaa, voitaisiin harkita samaa ratkaisua kuin edellä mainitulla siltatyömaalla, jossa liikennöinti tapahtui rullaten alueen ohi virroitin alhaalla. Tällainen järjestely saattaisi kuitenkin aiheuttaa räpsimistä sekä hiilten että ajojohtimen turhaa kulumaa. Tämän vuoksi olisi tärkeää varautua mahdollisiin ongelmiin tehostetulla huolto-ohjelmalla, erityisesti ajolangan osalta. Lisäksi vaihtotyön tekeminen kuluneelle ajojohtimelle tulisi tehdä alueellisesti helpoksi. Työn ajaksi olisi myös varmistettava jännitteetön jakso alueelle.

4.6 Risteävä alue

Suunniteltaessa ja toteutettaessa hankkeita tai toimintaa voimajohdon johtoalueella tai sen läheisyydessä on asiasta aina pyydettävä risteämälausunto voimajohdon omistajalta. Risteämä voi olla esimerkiksi tie, kaapeli, ilmajohto, raken-

nus, vesijohto, oja, kaivanto, ulkoilureitti, maanottoalue, yleisötapahtuma tai rakennelma, joka sijoittuu johdon läheisyyteen. Risteämälausunto tulee pyytää, vaikka aluevaraus tai toiminto olisi osoitettu kaavassa, koska kaavalausunnossa ei oteta kantaa aluevarausten tekniseen toteutettavuuteen. Risteämälausunnossa esitetään annettua kaavalausuntoa yksityiskohtaisemmin ne seikat ja turvallisuusnäkökohdat, jotka hankkeen suunnittelijan ja toteuttajan on voimajohdon kannalta otettava huomioon. (Fingrid. nd,32.)

Kun kaavoitetaan lähemmäksi kuin neljäkymmenen metrin etäisyydelle voimajohdon keskilinjasta, on magneettikenttä selvitettävä voimajohtokohtaisesti ja tarvittaessa voidaan pyytää säteilyturvakeskuksen lausunto. (Fingrid 2020.)

Kun ilmajohdot rakennetaan jo olevan tien tai radan päälle, on ne silloin rakennettava varmistettuna. Varmistettuna rakentaminen liittyy lumi-, jää- ja tuulilaskeintaan ja niistä kertyviin mekaanisiin voimiin, jolloin varmistetusti rakennettuna pitää olla normaalitapausta vahvemmat rakenteet (Monni 2010). Tämä vaateen voimassaolo olisi myös tapauskohtaisesti syytä selvittää, kun suunnitellaan alitettavan jo olemassa olevia ilmajohtoja.

Rakennettavan radan tulee noudattaa tarkkoja käytäntöjä voimajohdon alituksessa. Mikäli rata kulkee minkä tahansa aiotun reitin tai muun alueen kautta, on voimalinjan alitus suositeltavaa toteuttaa pylväiden välistä, mieluiten suhteellisen keskeltä. Itärata suunnittelee ja kehittää rataverkostoa suurnopeuskaluston lähtökohdista, minkä vuoksi linjojen tulee olla mahdollisimman jouhevia ja selväpiirteisiä. Voimalinjojen alitus on suunniteltava siten, että linjaus ulottuu pidemmälle matkalle ja mahdollistaa pylväiden väliin sijoittumisen mahdollisimman sujuvilla linjoilla.

4.7 Suurnopeusjunat, digirata

Itärata Oy:lle ja tälle rata osuudelle on suunniteltu suurnopeusjunien käyttöä, sekä aiheesta on tehty tutkimusta ja diplomityö, jossa selvitettiin suurnopeusjunien käytön vaikutusta matka-aikoihin sekä suomen ja pohjoisen ilmaston eri-

koisvaikutuksia suurnopeuskalustolle. Nopeamman kaluston käyttö olisi perusteltua pitkillä etäisyyksillä ja se lyhentäisi matka-aikoja Helsingistä esimerkiksi Kuopion korkeudelle noin kolmeen tuntiin, lyhentäen matka-aikaa noin tunnin. Suurnopeuskaluston käytölle olisi radan linjauksen oltava mahdollisimman suora ja jouhea. Myös ajolangan säädöt ovat erilaisia eri nopeusluokan kalustolle. Suunnitteluperusteita on käsitelty aiemmin tässä opinnäytetyössä. Esimerkiksi RATO antaa ohjeistukset eri nopeusluokan kaluston mukaisille suunnitteluperusteille. Näihin kuuluvat muun muassa mutkien, kallistusten, vaihteiden ja vaihdealueiden, kiskojen, ratapölkkyjen sekä pituus- ja sivuttaisten kallistusten ja ajojohtimien mitoitus nopeusluokan mukaan. (Väylävirasto, 2020b.)

Suurnopeusjunia käytetään jo maailmalla esimerkiksi Ranskassa ja Japanissa. Nämä maat ovat suurempia, niiden matkustajatiheys on korkeampi ja niissä on suurempia kaupunkeja. Näissä maissa on ollut tarve tehokkaalle logistiikalle (RayHaber 2010).

Suurin hyöty kapasiteetin suhteen saadaan lisäämällä raiteita, jolloin ohitukset tapahtuvat omilla kiskoillaan ja pysähdykset ohitusten vuoksi vähenevät. Kun yksiraiteisen radan välityskyky on luokkaa 50 junaa Vrk, on se kaksiraiteisella radalla noin 150 junaa vrk ja neliraiteisella noin 330 junaa vrk (Holttä 2020). Tästä nähdään, että kaksiraiteisella järjestelmällä teoreettinen välityskyky kolminkertaistuu yksiraiteiseen rataa verrattuna.

Jos ja kun digirata, eli kulunvalvonnan digitalisoituminen, otetaan käyttöön kaikilla rataosilla, vaikuttaa se merkittävästi käytettävään kalustoon ja matka-aikoihin. Ensimmäisiä projekteja Digiradalle suunnitellaan jo länsirannikolle, mutta uuden teknologian haasteet eivät ainakaan helpota teknologian yleistymistä. (Haimi 2024.)

4.8 Riskit, uhkat ja varautuminen

Junan ohiajaminen aiheuttaa kovaa melua, joka voi vaikuttaa kuulemis- ja turvallisuusasioihin erityisesti sähköasemien työskentelyvaiheissa. Tämä on kriittistä silloin, kun suoritetaan rakennus-, testaus-, huolto-, korjaus- ja mittaustöitä.

Painevaikutuksesta irtonaista tavaraa saattaa lähteä liikkeelle, erityisesti alueella, jossa on roskaa, paperia, pahvia tai kangasta. Lisäksi lumi ja hiekka voivat pölytyä, ja lehdet saattavat lentää. Näidenkin seikkojen vuoksi radan ja sähköasemien pintamateriaalina käytetään karkeaa mursketta. (Väylävirasto, 2020.)

Samalla kun uusia voimalähtöjä rakennetaan, kasvaa myös tämän sähköaseman koko ja vaatima maa-ala, jos näistä ei löydy julkisista lähteistä tietoa niin pidetään käytetyt mitoitus ja periaatteellisella tasolla.

Sähköisen vaaran lisäksi on syytä huomioida myös mahdollisten laitevaurioiden aiheuttamat riskit. Esimerkiksi sähköasemien kentältä sijaitsevat katkaisijat ja mittamuuntajat voivat vaurioituessaan räjähtää, minkä vuoksi turhaa liikkumista kytkinkenttäalueella on vältettävä. (Fingrid 2020.) Erityisenä huomiona on siis öljyä ja paineistettua kaasua sisältävien kytkinlaitteiden räjähdysvaara.

Turvallisuus- ja kemikaaliviraston opas sisältää suosituksia, kuinka kemikaaleista aiheutuva onnettomuusvaara pitää ottaa huomioon vaarallisia kemikaaleja käsittelevien tai varastoivien laitosten (= tuotantolaitosten) sijoituksessa (Tukes 2015, 8). Tätä ei välttämättä tarvitse soveltaa suoraan tässä tapauksessa, mutta antaa hyviä varautumisen ja huomioimisen suuntaviivoja. Sähköasemilla olevat päämuuntajat sisältävät merkittäviä palokuormia muuntajaöljyn muodossa. Vaikka perussähköasemasuunnittelussa varaudutaan muuntajaöljyn palamis- ja valmistapauksiin, pahemmatkin skenaariot tulisi käydä systemaattisesti läpi riskienarvioinneissa. (Tukes 2015, 8.)

Edellä käsiteltyihin teemoihin liittyen tulee päävoimansiirtoverkon ilmajohtojen, muuntamoiden ja kytkinlaitosten sijoituksessa huomioida Tukesin valvonnassa olevien kohteiden onnettomuuksiin liittyvät vaikutusalueet. Huoltovarmuuteen liittyvänä asiana on huomioitava myös Anttilan sähköasemalta oleva yhteys Viirion johtavalle merikaapelille (itäväylä 2024).

Radoilla kuljetetaan ihmisiä, monenlaisia tavarakuormia sekä kemianteollisuuden tuotteita, joten onnettomuudet ovat mahdollisia. Tukesin mukaan onnettomuuksien vaikutusten arvioimiseksi tulee laatia malli, joka kuvaa tyypillisimmät ja merkittävimmät onnettomuudet. Mallin on mahdollistettava onnettomuuden eri vaikutustapojen numeerinen kuvaaminen sekä ajallisen kehityksen arviointi. Yksittäisestä onnettomuustilanteesta laaditun mallin tulee tapauksen mukaan mahdollistaa lämpösäteilyn intensiteetin kW/m², paineaallon paineen (bar, kPa) tai kemikaalipitoisuuksien laskeminen etäisyyden ja ajan funktiona. Tarkasteltaviksi onnettomuuksiksi ei ole syytä valita suuronnettomuustilanteita (kattilan lieeriöräjähdytys, varastosäilön totaalinen repeäminen), jotka kuvaavat laitoksella mahdollisia ääritilanteita. Näiden tilanteiden kuvaamista edellytetään vain maksimivalmiuksien hahmottamiseen ja pelastussuunnitelmien laatimiseen. (Tukes 2015, 8.)

Tukesin oppaan mukaan rautateistä (Tukes 2015): kaavoituksessa valtakunnallista merkitystä omaavia ratoja ovat päärataverkon radat, virallisiin rajanylityspaikkoihin, talvisatamiin sekä valtakunnallisesti merkittäviin matkakeskuksiin ja tavaraterminaleihin johtavat radat, sekä pääkaupunkiseudun metron radat. (Valtakunnallisten alueidenkäyttötavoitteiden soveltaminen kaavoituksessa.) Rataverkon häiriötilanteella tarkoitetaan poikkeavaa tapahtumaa, joka laskee radan kapasiteettia, eli välityskykyä ja liikenteen täsmällisyyttä. Rautatieliikenteessä häiriöiden leviäminen ja seurannaisvaikutukset poikkeavat muussa liikenteessä tapahtuvista häiriöistä. Rautatieliikenteessä häiriöiden vaikutusalue voi olla hyvinkin suuri kerrannaisvaikutusten takia. Toisaalta häiriön vaikutus voi kohdistua vain yhteen junaan, jos liikennöintiäika tai paikka tai molemmat ovat riittävän hiltajaisia. Rautatieliikenteessä voi esimerkiksi rautatiealueella tai sen läheisyydessä tapahtuva tulipalon sammutustyö johtaa liikennöinnin keskeyttämiseen. Tällöin poliisi tai pelastusviranomaisen voi pyytää alueen liikennöinnistä vastaavaa liikenteenohjausta pysäyttämään liikennöinnin pyydetyllä alueella tai raiteilla. (Tukes. 2015, 28.). Koska suunniteltu Itärata lähtee pääkaupunkiseudulta ja olisi osa päärataa, se olisi valtakunnallisesti merkittävä rata. Tämän takia häiriöiden vaikutukset voisivat olla erittäin laajoja ja merkittäviä. Ratayhteyden korostettu asema kansallisessa liikenneverkossa tarkoittaa, että sen toimivuudella ja turvallisuudella on suuri vaikutus koko Suomen liikennejärjestelmään ja yhteiskunnan toimintaan.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tuloksena saatiin katsaus sähköradan ohjeistuksista ja huomioon otettavia seikkoja toimittaessa lähellä sähköasemia ja verkkoja. Tuloksena oli myös katsaus Sähköasemiin yleisemmin sekä voimajohtoalueisiin. Pääaiheena korostuivat tarvittavat ilmavälit ja turvaetäisyydet voimajohtoihin sekä niiden rakenteisiin, sähköasemien vaatimukset, ja sähköradan tiloille ja rakenteille asetettavat vaatimukset. Itäradaksi suunnitellaan Keravalta Porvoon kautta Kouvolaan kulkevaa kaksiraiteista nopean henkilöliikenteen rataa, jossa Anttilan sähköaseman alue on vain yksi huomioonotettava seikka koko ratamatkan alueelta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua ja esitellä ratasuunnitteluun kuuluvia perusteita, sekä tukea omaa kehittymistä ja oppimista ratamaailmasta perehtymisen ja kertaamisen kautta. Projektin aikataulu ei pitänyt vaan myöhästyi useilla kuukausilla. Samaan aikaan opinnäytetyöprosessi oli vireillä ja aiheet olivat esillä vähintään viikkotasolla. Tämä toimi tarpeellisena perehdytyksenä uudelle alalle sekä kertauksena uusille asioille. Lisäksi se selvensi erikoissanastoa, jota rata-ala sisältää runsaasti. Työssä esitellään useita aiheita perusteiden tasolla, ja minkä tahansa osa-alueen tarkempi esittely olisi laajentanut työtä merkittävästi. Kirjoittajalle opinnäytetyöprosessi oli merkittävä ja avasi uusia näkökulmia sähköradan suunnitteluun sekä siihen liittyviin vaiheisiin ja vaadittuihin määräyksiin.

Toisena tavoitteena oli esitellä sähköasemia ja sähköverkkoja tarvittavilta osin, joita työn keskeisen osan tarpeen oli syytä ymmärtää. Sähköasemien kojeistoista on paljon kirjoitettua materiaalia, joten tässä opinnäytetyössä ei keskitytty niihin erityisesti, paitsi jos ne olivat merkittäviä huomioon otettavien seikkojen kannalta.

Opinnäytetyössä käsiteltiin sähköradan suunnittelua ja rakentamista sekä voimajohtojen ja sähköasemien läheisyydessä työskentelyä. Työssä selvitettiin huomioon otettavia vaatimuksia ja ohjeistuksia. Työ on tehty opinnäytetyön tutkimuseettisten ohjeistusten mukaisesti.

Opinnäytetyön tietoperustan lähteinä on käytetty pääasiassa ratasuunnitteluun liittyviä lakeja sekä viranomaisten laatimia ohjeistuksia, joita ratasuunnittelussa noudatetaan. Fingridin materiaaleja ja ohjeita käytettiin sähköverkkojen lähellä toimimiseen. Opinnäytetyön tuloksena syntyneitä kuvausta ratasuunnittelussa huomioon otettavista asioista ja ohjeistuksista voisi hyödyntää jatkossa perehdytysmateriaalina.

Vihreä siirtymä ja kestävä kehitys on todellisuutta ja etenee jopa ennakoitua nopeammin. Tämä haastaa myös kantaverkkoa ja tarve toimivalle siirtoverkolle on keskiössä tulevaisuudessakin, tämän myötä tulee uusia sähköasemiakin. Myös uusia rautateitä suunnitellaan, joten tulee tilanteita, kun suunniteltava rataosuus menee läheltä jotain erityisesti huomioitavaa muuta infraa. Tällöin esimerkiksi maadoituksiin liittyvät asiat vaativat tarkemman läpikäynnin.

Alkuperäisissä tavoitteissa pyrittiin selvittämään mitoitustasolla, kuinka läheltä ilmajohtoaluetta ja sähköasemaa tulevat radan linjaukset voisivat turvallisesti kulkea. Tavoite sisälsi etäisyyksien arvioinnin sekä turvallisuusvaatimusten ja teknisten spesifikaatioiden varmistamisen. Tarkempien tietojen avulla voitaisiin optimoida ratalinjaukset saumattomasti kantaverkon infrastruktuurin kanssa ilman riskiä turvallisuudelle. Selvityksessä ei kuitenkaan saatu tarkkoja mittoja, mikä osoittaa tarpeen jatkotutkimukselle. Jatkokehityksenä ja seuraavassa suunnitteluvaiheessa olisi suositeltavaa hankkia kantaverkkoyhtiöltä kyseisen sähköaseman turvallisuusasiakirjat. Näiden asiakirjojen avulla voidaan tarkentaa mitoitukset ja välimatkat, mikä varmistaisi, että sähköradan suunnittelu täyttää kaikki turvallisuusvaatimukset ja optimoi radan toimivuuden sähköaseman läheisyydessä.

LÄHTEET

ABB. 2000. TTT-käsikirja. Luku 13.1. Ulkokytinlaitokset.

Digirata. 2025. Edellytykset tulevaisuuden rautatieliikenteelle rakennetaan nyt. Verkkosivu. Viitattu 11.05.2025.

[Edellytykset tulevaisuuden rautatieliikenteelle rakennetaan nyt - Digirata](#)

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2019. Lausunto ympäristövaikutusten arviointiohjelmasta. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kanta-verkko/maankaytto-ja-ymparisto/liite-6-yhteysviranomaisen-lausunto-arviointiohjelmasta.pdf>

Energiavirasto. Nd. Verkkotoiminnan luvanvaraisuus. Verkkosivu. Viitattu 13.04.2025. [Verkkotoiminnan luvanvaraisuus | Energiavirasto](#)

Elovaara J. & Haarla L. 2011. Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. 2. painos. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press / Otatieto.

EUR-lex. 2016. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. 2016. Rautateiden turvallisuus 11.6.2016/798. Viitattu 28.4.2025. [Direktiivi - 2016/798 - EN - EUR-Lex](#)

Fingrid. Nd. Helsingin kaapeli. Verkkosivu. Viitattu 23.09.2024.

<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/rakentaminen/hankkeet/helsingin-kaapeli/>

Fingrid. 2025a. Esittely. Verkkosivu. Viitattu 13.04.2025. www.fingrid.fi/sivut/yhtio/esittely/

Fingrid. 2025b. Fingrid karttapalvelu. Verkkosivusto. Viitattu 13.04.2025.

<https://karttapalaute.fingrid.fi/?link=5wb4R>

Fingrid. 2024a. Haisjärvi- Anttila Voimajohto hanke. Verkkosivu. Viitattu

13.08.2024. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/rakentaminen/hankkeet/haisjarvi-anttila/>

Fingrid. 2024b. Haisjärvi- Anttila Voimajohto hanke. Hanke kartalla. Verkkosivu. Viitattu 20.09.2024.

<https://karttapalaute.fingrid.fi/?link=3DrUD>

Fingrid.2020a. Liiku ja työskentele turvallisesti Fingridin sähköasemilla . PDF-dokumentti. Viitattu 25.08.2024. www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kanta-verkko/turvallisuus/liiku-ja-tyoskentele-turvallisesti-sahkoasemilla-low.pdf

Fingrid. 2020b. Työskentele turvallisesti voimajohdon läheisyydessä. PDF-dokumentti. Viitattu 05.10.2024.

www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kanta-verkko/turvallisuus/fingrid_tyoskentele_turvallisesti.pdf

Fingrid. 2017. Hengenvaara esite. PDF-dokumentti. Viitattu 06.10.2024.
www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/turvallisuus/hengenvaara_esite-update2017.pdf

Fingrid. n.d. Voimajohtojen huomioon ottaminen yleis- ja asemakaavoituksessa sekä maankäytön suunnittelussa. PDF-dokumentti. Viitattu 27.10.2024.
<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/voimajohtojen-huomioon-ottaminen-yleis--ja-aseamakaavoituksessa-seka-maankayton-suunnittelussa.pdf>

Finlex. 2007. Ratalaki 2.2.2007/110. Verkkosivu. Viitattu 22.03.2025
<https://finlex.fi/eli?uri=http://data.finlex.fi/eli/sd/2007/110/ajantasa/2023-04-21/fin>

Haimi. K. 2024. Vanhempi sähköratasuunnittelija. Keskustelu 15.10.2024.
Sweco Finland Oy.

Hölttä, P. 2020. Rautatietekniikan perusteet. 9. muutettu versio. Espoo. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu.

Itäräata Oy. 2024a. Raportti Itäradan Pääsuuntaselvitys. PDF-dokumentti. Viitattu 16.09.2024. https://www.itarata.fi/wp-content/uploads/2024/01/Itarata_paa-suuntaselvitys_raportti_2024-01-24.pdf

Itäräata Oy. 2024b. Yhtiön sisäiset materiaalit. PDF-dokumentti. Viitattu 16.09.2024.

Itäväylä. 2021 . Voimajohtojen viankorjausharjoituksissa varauduttiin pahimpaan – Porvoossa järjestetty harjoitus oli viime vuosien laajimpia. Verkkosivu. Viitattu 27.10.2024. <https://www.itavayla.fi/teksti/voimajohtojen-viankorjausharjoituksissa-varauduttiin-pahimpaan--porvoossa-jarjestetty-harjoitus-oli-viimevuosien-laajimpia-6.2.57247.ba133837d4>

Liikennevirasto 2016. Sähkörataohjeet. Rullaaminen virroitin alhaalla. Viitattu 14.10.2024 https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2016-07_sahkorataohjeet_web.pdf

Liikennevirasto 2018a. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 1. Yleiset perusteet. Viitattu 14.10.2024 https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-31_rato1_web.pdf.

Liikennevirasto 2018b. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3. Radan rakenne. Viitattu 16.08.2024 https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-13_rato3_web.pdf

Liikennevirasto 2018c. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 5. Sähkörataohjeet. Viitattu 26.10.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2016-07_sahkorataohjeet_web.pdf

Monni, M. 2010. Ilmajohdoverkostotyöt. 5. painos. Hämeenlinna: Adato energia Oy.

Vantaan Raitiotie. 2024b. Tasetien ja Väinö Tannerin tien ratasähköselvitys. Liite 1. PSCAD-tarkastelu siirtävistä jännitteistä. PDF-dokumentti. Viitattu 25.09.2024. Yhtiön sisäiset materiaalit.

Väylävirasto. 2010. Rautatiealueelle tulevien kiinteiden laitteiden ja rakenteiden maadoitussuunnittelu. Verkkosivu. Viitattu 11.05.2025. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2010-13_rautatiealueelle_tulevien_web.pdf

Väylävirasto. 2020a. Luumäki-Imatra-ratahanke on radan tukikerroksen ytimessä: ratasepeli. Verkkosivu. Viitattu 11.05.2025. [Luumäki-Imatra-ratahanke on radan tukikerroksen ytimessä: ratasepeli - Luumäki-Imatra-ratahanke on radan tukikerroksen ytimessä: ratasepeli](#)

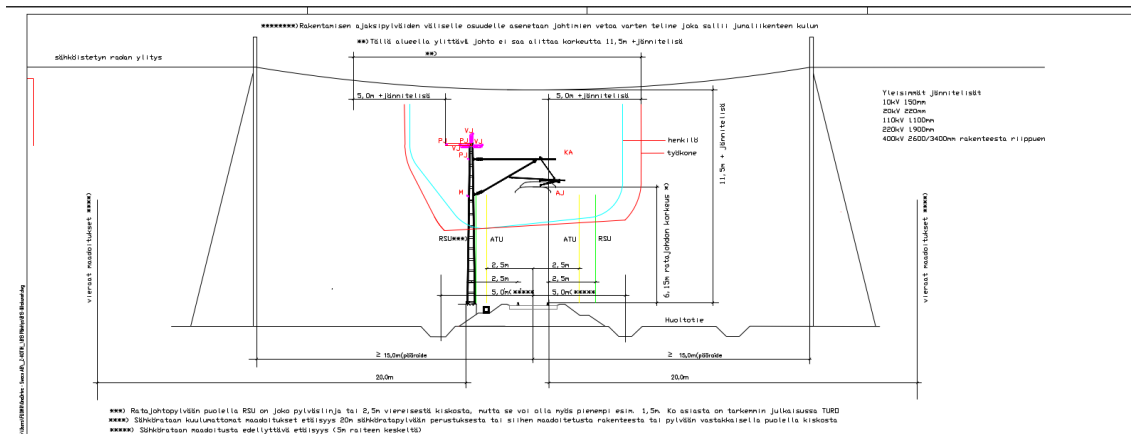
Väylävirasto. 2020b. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 21 Liikkuva kalusto. Verkkosivu. Viitattu 11.05.2025. [RATO 21 Liikkuva kalusto](#)

Väylävirasto. 2024a. Rataverkko. Verkkosivu. Viitattu 13.04.2025. [Valtion rataverkko - Väylävirasto](#)

Väylävirasto. 2024b. Rautatiealueiden luvat. Verkkosivu. Viitattu 27.10.2024. <https://vayla.fi/palveluntuottajat/ammattiliikenne-raiteilla/lomakkeet-ja-luvat#.XXn7UORIJ9A>

LIITTEET

Liite 1. Sähköistetyn radan ohjeellisia mittoja



Liite 2. Taulukko 5.12, Vähimmäisetäisyyksiä SFS_EN 50341-1

Etäisyydet: Johto risteää maanteitä, rautateitä ja vesiliikenneväyliä [m]																						
Kuormitus-tapaus	Tien pintaan tai rautatien kiskon harjaan (jos ei ole sähköistetty rautatie) (ks. Vaatimus alla)			Sähköradan, johdinautolinjan tai köysiradan rakenneosiin			Köysiradan vetoköysiin			Sallittuun aluksen ulottumaan virallisella vesiliikenneväylällä			Köysiradan kiinteisiin pisteisiin tai sähköradan ratajohdon kiinteisiin rakenneosiin			Köysiradan pylväisiin tai köysiratalaitteiden tuki- ja vetoköysiin			Yläpuolisiin köysiratalaitteisiin			
	B	C	I	B	C	I	B	C	I	B	C	I	B	C	I	B	C	I	B	C	I	
Suojausjärjestelmä																						
Johtimen suurin lämpötila	$6,0 + D_{el}$ mutta $\geq 6,6$	6,6	6,6	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	$4,0 + D_{el}$ mutta $\geq 4,6$	4,0	4,0	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	
Huippujääkuorma	$6,0 + D_{el}$ mutta $\geq 6,6$	6,6	6,6	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	$4,0 + D_{el}$ mutta $\geq 4,6$	4,0	4,0	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	
Nimellinen tuulikuorma	$6,0 + D_{el}$ mutta $\geq 6,6$	6,6	6,6	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	$4,0 + D_{el}$ mutta $\geq 4,6$	4,0	4,0	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	
Erikoistapaus 1	-	-	-	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erikoistapaus 2	-	-	-	-	-	-	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erikoistapaus 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$2,0 + D_{el}$ mutta $\geq 2,6$	2,0	2,0
Huomautuksia	Sivuteillä etäisyyttä voidaan pienentää 1 m NNA:n mukaisesti												Vaakasuora etäisyys			Vaakasuora etäisyys						
Erikoistapaus 1 sovelletaan, kun risteävät johtimet heilahtavat vaihtelevilla tuulikuormilla NNA:ssa määritellyssä lämpötilassa ja samanaikaisesti alittavan johtimen riippuma on minimissään.																						
Erikoistapaus 2 sovelletaan, kun risteävät johtimet heilahtavat vaihtelevilla tuulikuormilla NNA:ssa määritellyssä lämpötilassa ja vetoköydessä on maksimijännitys lisättyä 25%:lla. Tarkasteleessa vaakasuoria etäisyyksiä on seuraavat kuormitustapaukset otettava huomioon: — johdin heilahtaa tuulella köysiradan kiinteitä osia kohti — köysiradan köysi heilahtaa enintään 45° kulmassa ilmajohdon rakenteita kohti.																						
Erikoistapaus 3 sovelletaan, kun alittavan johtimen riippuma on minimissään ja vetoköydellä on maksimirippuma. Myös matkustajayhtin korkeus on otettava huomioon.																						
Vaatimus: Kiskoista mitattu etäisyys tulisi määrittää junan ulottuman mukaan eikä kiskojen tason mukaan. Ylitettäessä sähköistämätöntä rautatietä tulisi etäisyyksistä sopia rautatieviranomaisten kanssa, kun suunnitteilla on radan muuttaminen sähköistetyksi.																						
HUOM. Yllä olevat sarakeotsikoiden koodit ovat: B = Avojohtin, C = Päälystetty johdin, I = Eristetty kaapeli. Etäisyydet C- ja I-johtimille pätevät vain nimellijännitteille 1 kV < U _n ≤ 45 kV.																						