

RATAGEOMETRIA

Ratageometria mittausvastaavan työkaluna

Lohilahti Lasse

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2019

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Lasse Lohilahti	Vuosi	2019
Ohjaaja	Timo Karppinen		
Työn nimi	Ratageometria		
Sivu- ja liitemäärä	25		

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli käydä läpi ratageometriaa maanmittausinsinöörin mahdollisen työkuvan kautta ratatyötehtävissä. Yksi mahdollinen hyöty opinnäytetyöstä on toimia infopakettina esimerkiksi maanmittauksen opiskelijoille, jotka ovat tekemässä ensimmäisen harjoittelun ratatyötehtävissä.

Työ perustui suurimmilta pääasiallisesti väyläviraston julkaisuihin ja opinnäytetyön tekijän työssä saatuihin kokemuksiin ja opintoihin.

Työssä esiteltiin ratageometrian määritelmää, suunnittelua ja mahdollisia työtehtäviä, joissa maanmittausinsinööri voi ratageometrian perusteita tarvita. Tietoa aiheesta ei löytynyt paljoa muualta kuin väyläviraston julkaisuista, mutta osa niistä on jo vanhentunutta tietoa.

Asiasanat

Väylävirasto, ratageometria, mittaussinööri

Degree Programme of Land Surveying
Bachelor of Engineering

Author	Lasse Lohilahti	Year	2019
Supervisor	Timo Karppinen		
Subject of thesis	Track Geometry System as a Tool Used by a Land Surveying Engineer		
Number of pages	25		

The objective of this thesis was to review the Finnish track geometry system through a land surveying engineer's job description that involves working in a track work environment. The thesis could be used as an information package for land surveying engineering students who do their first work placement in track work.

The thesis was based mostly on the publications of the Finnish Transport Infrastructure Agency (Väylä) and the author's work experience.

The thesis presented the definition of the Finnish track geometry system, the basics of design of the geometry and infrastructure of the Finnish track system and the possible job descriptions in which a land surveying specialist could need to know the basics of the track geometry system. Information about the topic is not much available elsewhere besides the publications of the Finnish Transport Infrastructure Agency. The information is updated yearly in these publications.

Key words

Finnish Transport Infrastructure Agency, track geometry system, land surveying engineer

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	RAIDEGEOMETRIA OSANA RAUTATIEJÄRJESTELMÄÄ.....	2
3	VAAKAGEOMETRIA	3
3.1	Kaaret.....	3
3.2	Vaihteet	7
3.3	Raitteen kallistus	9
4	PYSTYGEOMETRIA	11
5	RADAN GEOMETRIAN SUUNNITTELU	14
5.1	Ratageometrian suunnittelu yleisesti	14
5.2	Ratasuunnitteluperusteet.....	14
6	RATAGEOMETRIA MITTAUSVASTAAVAN TYÖKALUNA.....	17
6.1	Ratarakentaminen	17
6.2	Raitteen geometrinen kartoitus.....	18
6.3	Raitteen tukemistarve	19
6.4	Ratarakentamisen koneohjaus	21
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	24
	LÄHTEET.....	25

1 JOHDANTO

Raideliikenne on seuraava tulevaisuuden kasvava toimiala. Nykypäivänä tulevaisuuteen näkyvä trendi on kaupungistuminen, ilmastonmuutoksen hillintä sekä digitalisoituminen ja se tulee johtamaan siihen, että Suomen rataverkon on lisättävä sekä kapasiteettia että nopeuksia. Hyvä esimerkki on pitkään suunnitteilla ollut Tunnin juna-hanke Helsingistä Turkuun.

Raidegeometria on tärkein osa ratatekniikasta, sillä radan geometria sitoo kaikki radan erilaiset tekniset osa-alueet yhteen, kuten esimerkiksi radan turva- ja junakulunvalvontalaitteiston, sähköradan ja radan eri rakenteet. Ratageometriaa päivitetään aina uusilla geometrialaskennoilla, kun rataosien nopeuksia, käyttötarkeitä tai liikennemääriä halutaan muuttaa. Käytännössä kuitenkin suurien muutosten tekeminen raidegeometriaan on epäedullista, sillä se aiheuttaa suuria lisäkuluja raiteen sijainnin muutostyön vaatimissa rakentamiskustannuksissa.

Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa kokonaisvaltainen selvitys ratageometriasta, ratageometrian suunnittelusta ja ratageometriaa hyödyntävistä työtehtävistä painottuen maanmittausinsinöörin työnkuvaan ratatyötehtävissä. Työtä voidaan hyödyntää myös esimerkiksi perehdytyksiin ratatyötehtäviin tuleville maanmittausinsinööreille sekä -opiskelijoille.

Opinnäytetyön aihe on muodostunut kolmen kesän työharjoittelussa ratatyötehtävissä maanmittausalan insinöörioppilana. Työtehtäviin on kuulunut mm. laadunvarmistustehtäviä, koneohjausta sekä raiteen geometrisen sijainnin kartoitusta. Opinnäytetyössä tullaan hyödyntämään kokemuksia työtehtävistä sekä Väyläviraston julkaisuja.

2 RAIDEGEOMETRIA OSANA RAUTATIEJÄRJESTELMÄÄ

Suomen rautatiejärjestelmä koostuu ratainfrastruktuurista, kalustosta sekä liikennöinnistä. Suurin osa rautatiejärjestelmää koostuu valtion omistamista, väyläviraston hallinnoimista rataosista mutta valtion rataverkosta löytyy useita liittyviä yksityisraiteita, joita valtio ja väylävirasto ei hallinnoi tai omista. Yksityisraiteiden haltijat voivat itse määrittellä millaisella laajuudella yksityisraiteiden infrastruktuuri toimii yhteneväisesti väyläviraston ohjeiden kanssa.

Ratainfrastruktuuri koostuu radan rakenteista, sähköradasta, rataan liittyvistä turvalaitteista, radan merkeistä ja kaikista radan sijaintiin ja kulkureittiin liittyvistä rakenteista. Ratainfrastruktuuriin kuuluvat myös kaikki liikennepaikkoihin liittyvät rakenteet ja rakennukset, kuten laiturit, asemarakennukset ja opasteet.

Rautatiejärjestelmän kalusto koostuu liikkuvista yksiköistä, kuten junista, vetureista tai työkoneista. Esimerkiksi kiskopyörillä varustetut kaivinkoneet voidaan lukea työkoneiksi. Kaluston fyysiset edellytykset Suomen rautatiejärjestelmään on kiskoa vasten pyörivien pyöräkertojen yhteensopivuus raideleveyden kanssa sekä sähköradan ajojohtimen ajolangan korkeuden vaatima kaluston koko. (Väylävirasto 2018a)

Suomen rataverkko on jaettu 12 kunnossapitoalueeseen, jotka taas on jaettu useampiin rataosiin pois lukien kunnossapitoalue 10 josta siirrettiin suurin osa kunnossapitoalueeseen 9 vuoden 2019 alussa. Suomen rataverkon laskettu kokonaispituus on noin 6000 kilometriä, johon kuuluu sähköistämättömät ja sähköistetyt rataosat. (Väylävirasto 2017a.)

Raidegeometria sijoittuu ratainfrastruktuuriin ja se on järjestelmän toimivuuden kannalta merkittävä osa. Ratageometria sitoo kaiken radan infrastruktuurin joko välillisesti tai suoraan ja kaikki ratatekniikka voidaan paikantaa raidegeometrian paalutuksen avulla. (Väylävirasto 2010.)

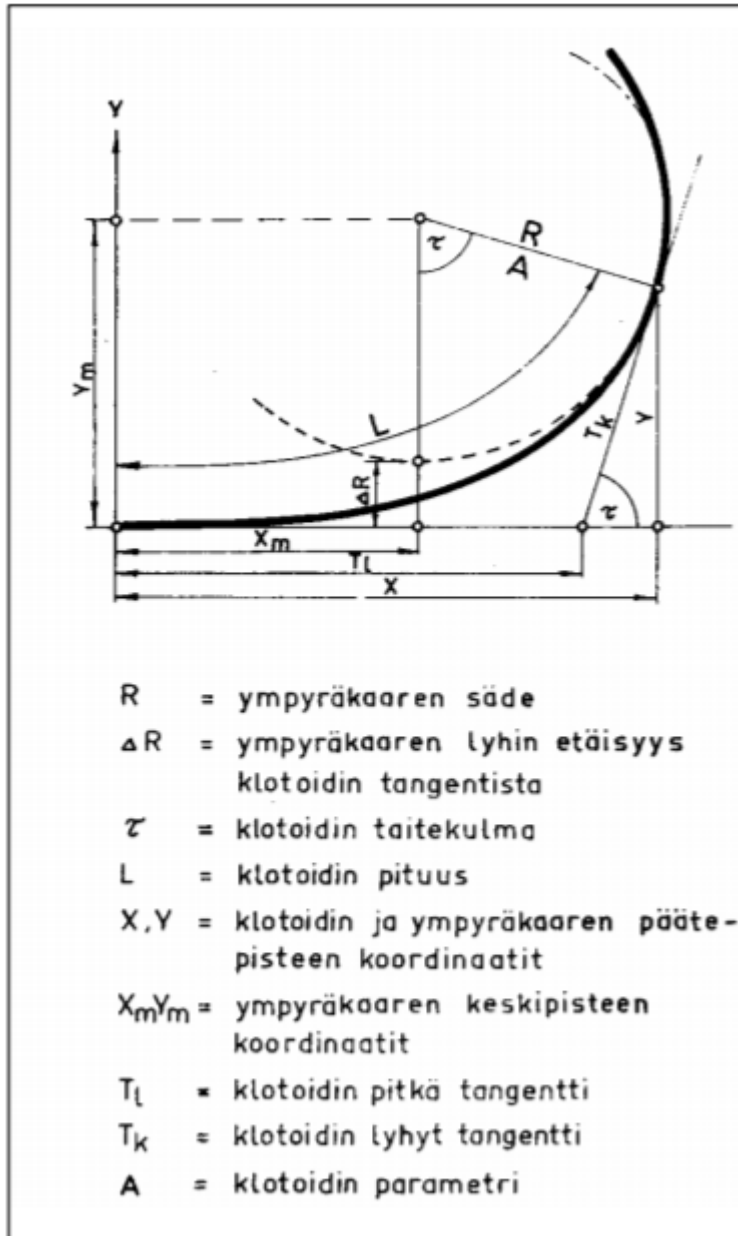
3 VAAKAGEOMETRIA

3.1 Kaaret

Radan ideaalivaakageometria muodostuisi ainoastaan suorasta osuudesta vaakageometrisesti. Suora rata ei kuitenkaan ole ollut mahdollista toteuttaa tarpeeksi kustannustehokkaasti minkä takia ratageometriassa on muutoselementtipisteitä, kuten kaaria, vaihteita ja raiteen kallistusta. Vaakageometrian tavoitteena on liikuvan kaluston sujuva kulku ja matkustusmukavuus.

Kaarella tarkoitetaan säteellä määriteltyä vaakatasoista ympyrän kaarta. Kaaressa kulku aiheuttaa poikittaiskiihtyvyyttä ulkokaarteeseen päin, jonka takia kaaret ovat usein tasapainokallistettuja. Tasapainokallistuksen tarkoituksena on teoreettinen poikittaiskiihtyvyyden nollaaminen raiteen tasossa tietyllä määrättyllä nopeudella.

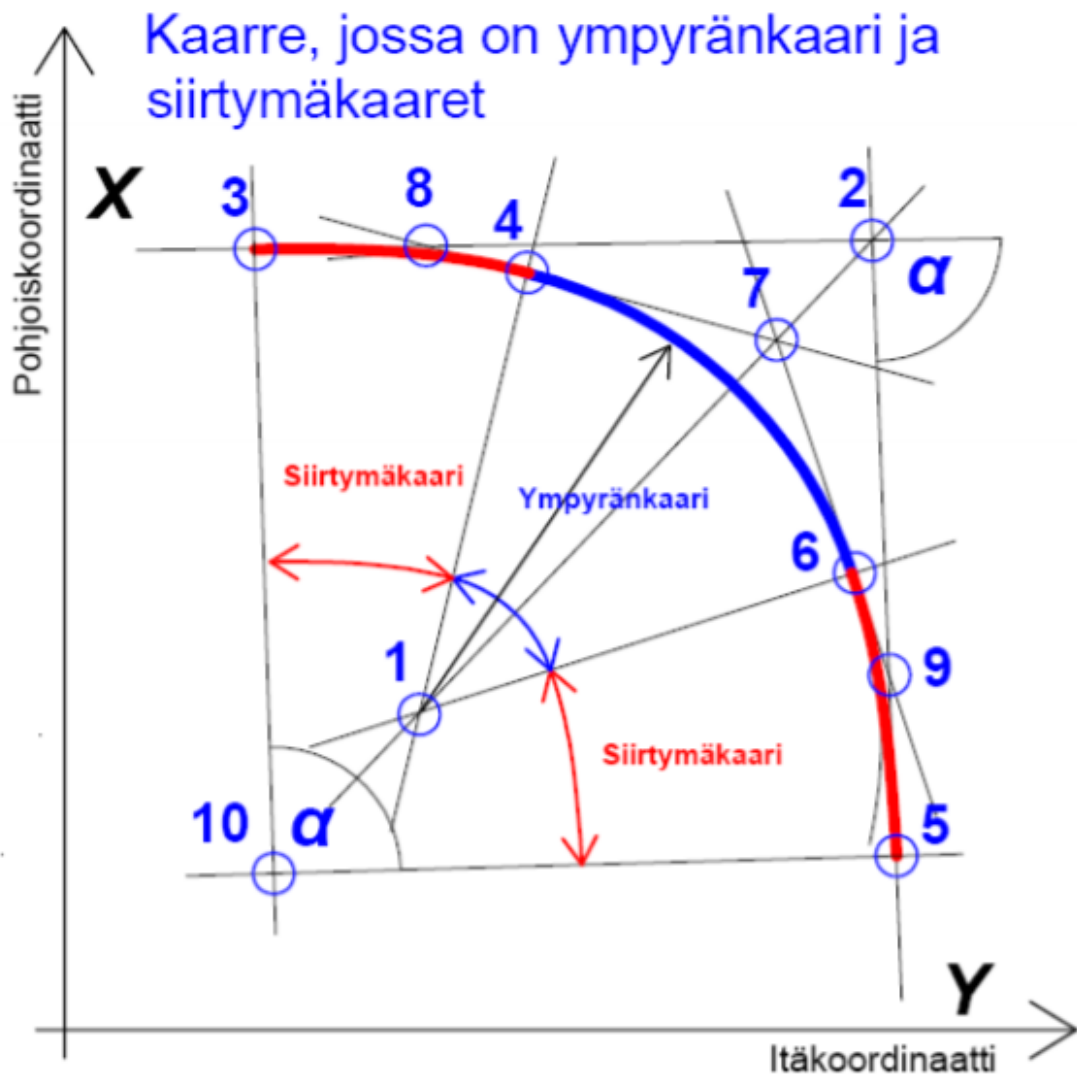
Vaakageometrian kaarien molemmille puolille on usein suunniteltu siirtymäkaari, joka yleisimmin tarkoittaa vaakageometriassa laskettua klotidia alkaen siirtymäkaaren aloituselementtipisteestä lukuarvolla nolla ja jatkuen laskennallista klotidia eli kolmannen asteen käyrää pitkin siirtymäkaaren lopetuselementtipisteeseen, josta alkaa ympyrän kaari. Klotidin muutos on suoraan verrannollinen käyrän siirtymäkaaren pituuteen ja kaaren säteeseen (Väylävirasto 2010.)



Kuvio 1: Klotoidin laskentamääreet (Väylävirasto 2013)

Suomessa on käytössä klotoidisiirtymäkaaren lisäksi helmertin siirtymäkaari ts. 4. asteen siirtymäkaari. Siirtymäkaaren muotona käytetään helmertin mukaista 4. asteen kaaren muotoa. Helmertin siirtymäkaarella suurin geometrian muutos tapahtuu klotoidin kiihtyvän käyrän sijaan siirtymäkaaren keskiosalla joka aiheuttaa haasteita raiteen kunnossapitoon ja raiteen oikean muodon säilyttämiseen. Helmertin siirtymäkaaria on käytössä vanhoilla rataosuuksilla, joiden nopeuksia on haluttu nostaa ilman suuria sivusiirtoja, esimerkkinä Suomen päärata.

Pääraiteiden kaaret ovat yleisimmin normaalikaaria, eli yhden kaarresäteen ympäräkaaria, jonka molemmissa päissä on siirtymäkaaret.

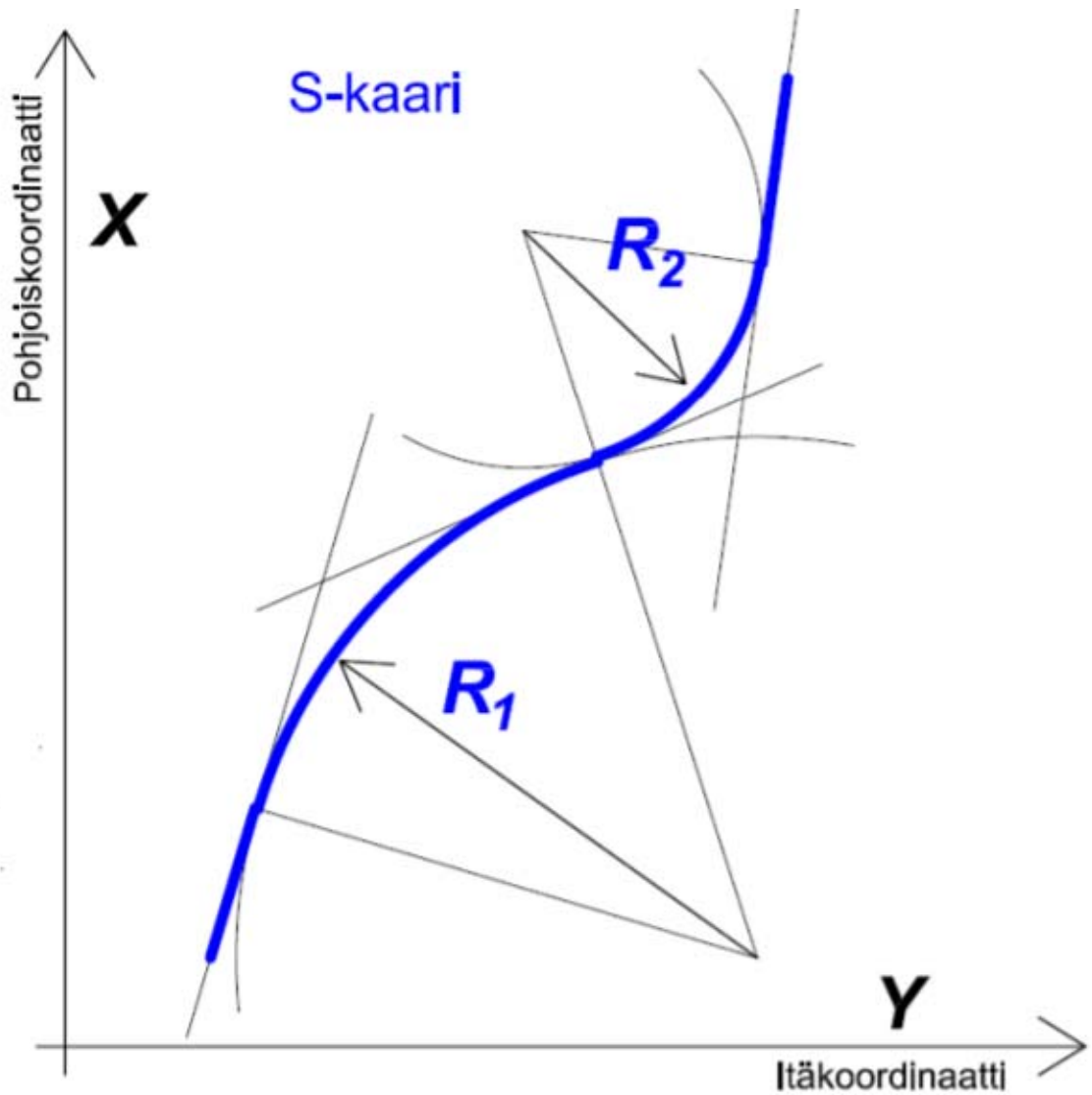


Kuvio 2 Kaarre, jossa on ympyränkaari ja siirtymäkaaret (Väylävirasto 2011)

Kuvassa 2 on esiteltyä havainnollistavasti siirtymäkaaresta ja ympyräkaaresta muodostuvan kaaren tärkeimmät teoreettiset pisteet. Pisteet 3 ja 5 ovat siirtymäkaaren alkupisteet, pisteet 4 ja 6 ovat siirtymäkaaren loppupisteet eli kohdat missä klotoidin kiihtyvyyden on saavuttanut ympyräkaaren laskennallisen kaaren. Piste 1 on ympyräkaaresta laskettu keskipiste, johon kaaren säde verrataan. Piste 2 on kaaren molemminpuolisten suorien leikkauspiste eli lakipiste. Pisteet 7, 8 ja 9 ovat siirtymäkaarien alku- ja loppupisteiden tangenttien leikkauspisteitä ja piste 10 on siirtymäkaarien alkupisteiden kohtisuorien leikkauspiste.

Normaalikaarien lisäksi ratageometriassa on korikaaria, joka muodostuu kahdesta tai useammasta samansuuntaisesta erisäteisestä kaaresta. Korikaaret ovat jatkuvia ja niiden välissä ja päissä voidaan käyttää siirtymäkaaria. Korikaaria käytetään paikoissa, joissa geometrian laatiminen on mahdotonta yksinkertaisen kaaren avulla. Korikaarien ongelmana on geometrian monimutkaisuus ja tästä johtuva vaikea kunnossapito. Korikaarien geometrian elementit voivat olla niin lähellä toisiaan, että geometria on erittäin vaikea ratkaista.

Ratageometriassa voidaan käyttää yhdensuuntaissirroissa myös S-kaaria, jotka muodostuvat kahdesta vastakkaiseen suuntaan kääntyvästä kaaresta. S-kaaret voivat olla vähintään kahdesta normaali- tai ympyräkaaresta muodostuvia. S-kaareksi luokittelu vaatii saman siirtymäkaaren/kaaren aloituspisteen tai minimimittaisen välisuoran kaarteiden väliin (Väylävirasto 2010.)



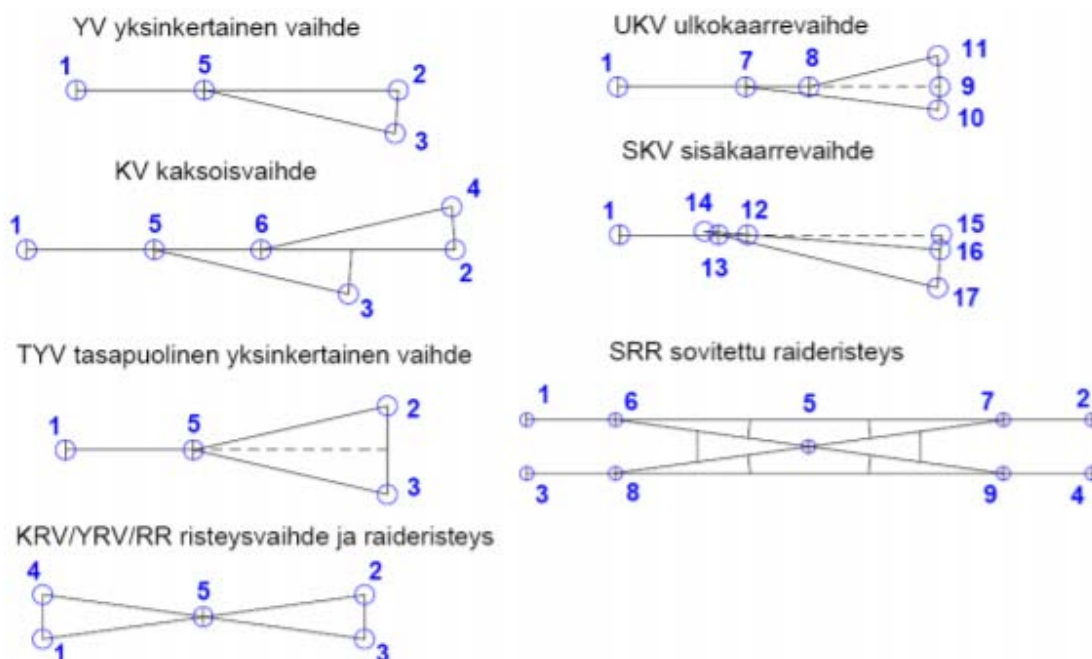
Kuvio 3 S-kaari havainnollistettuna (Väylävirasto 2011)

3.2 Vaihteet

Vaihteella tarkoitetaan kahden raiteen liityntäkohtaa jonka avulla liikennettä voidaan ohjata raiteiden välillä. Vaihteet toimivat raiderakenteeseen rakennettujen liikkuvien kieliosien avulla

Vaihteesta poispäin kääntyvää raidetta kutsutaan vaihteen poikkeavaksi raiteeksi. Perinteisten vaihteiden tärkeimmät elementtipisteet ovat etujatkos, matemaattinen keskipiste ja takajatkos. Etujatkoksella tarkoitetaan vaihteen matemaattista aloituspistettä, josta poikkeavan raiteen geometria alkaa. Matemaattisella keskipisteellä tarkoitetaan jatkuvan raiteen ja poikkeavan raiteen suorien

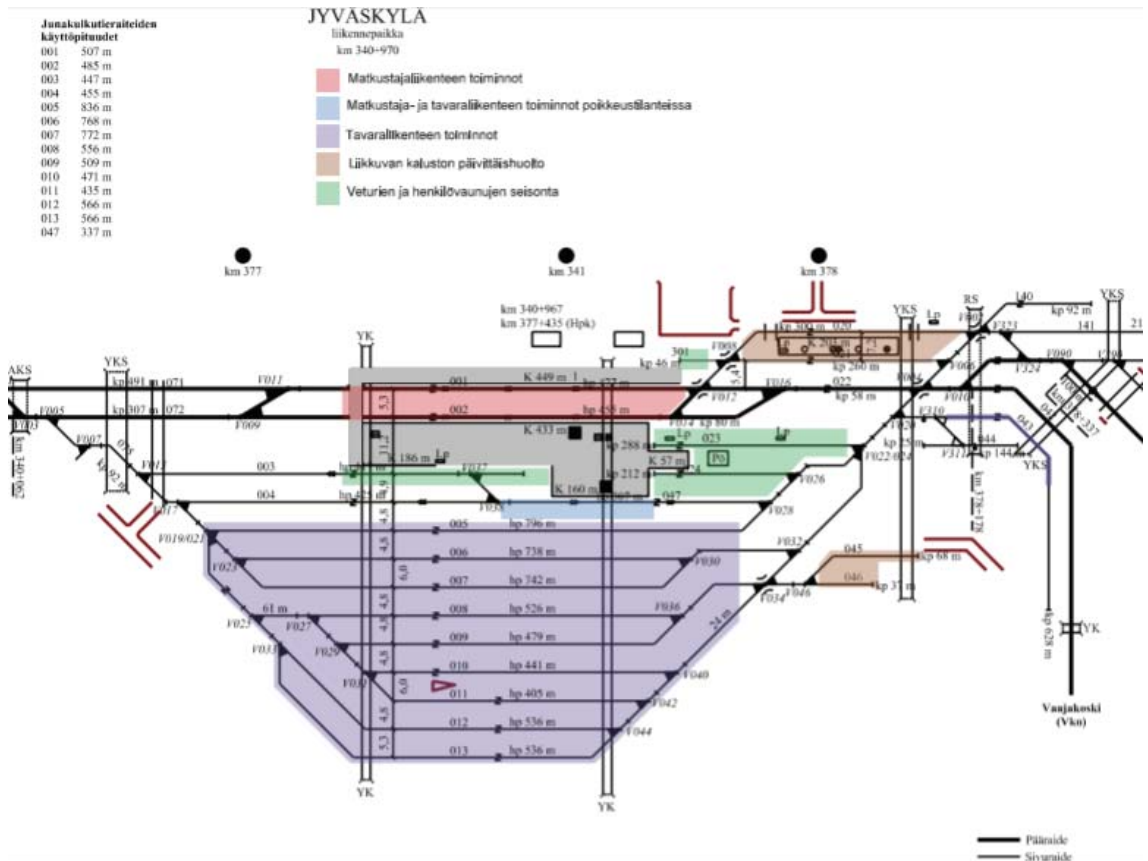
leikkauskohtaa. Takajatkoksella tarkoitetaan vaihteen elementin päättymispistettä.



Kuvio 4 Yleisimmät vaihdetyypit elementtipisteittäin (Väylävirasto 2011)

Vaihteet ovat tärkeä osa ratageometrioita varsinkin liikennepaikoilla, joilla tapahtuu pysähdyksiä. Jokaisella vaihdetyypillä on laskettu geometria, jonka avulla vaihteita voidaan mitoittaa ratageometriaan.

Liikennepaikoilla vaihteita voi olla useita hyvinkin lähellä toisiaan sijaitsevia vaihteita. Vaihteet eivät voi kuitenkaan olla peräkkäin, sillä vaihteen takajatkosalueen ja seuraavan vaihteen etujatkoksen väliin on jätettävä määrätty etäisyys riippuen vaihdetyypistä. Liikennepaikkojen päissä on usein vaihdekujat, joita pitkin voidaan liikennöintiä ohjata sivuraiteille. Vaihdekujien pituus määräytyy yhdensuuntaisten raiteiden raidevälien ja lukumäärien mukaan (Väylävirasto 2012.)



Kuvio 5 Jyväskylän liikennepaikan havainnollistava raiteistokaavio (JKL.fi 2017)

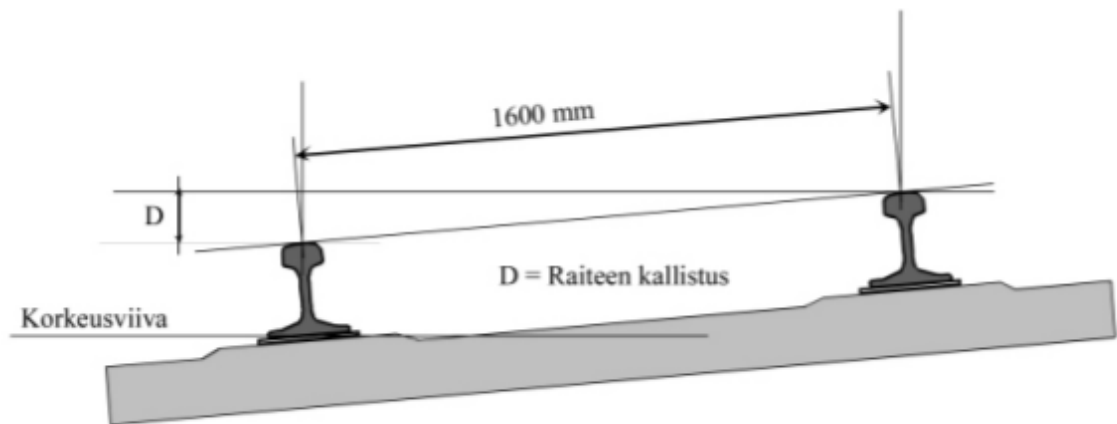
3.3 Raiteen kallistus

Raiteen kallistuksella tarkoitetaan raidegeometriassa määritettyä raiteen kiskojen korkeuseroa. Raiteen kallistuksen päätavoite on halutun nopeuden saavuttamiseksi vähentää raiteen geometrian kaarien aiheuttamaa poikittaiskiihtyvyyttä ulkokaarretta kohti. Kaaren hyvin mitoitettu kallistus edistää junan matkustuskavuutta, turvallisuutta ja vähentää raiderakenteen kulumista pistemäisistä paikoista.

Ideaalitilanteessa raiteen kallistuksena voidaan käyttää teoreettista kallistusta, jolloin poikittaiskiihtyvyys on täysin kompensoitu kallistuksella. Koska teoreettisen kallistuksen käyttö edellyttäisi kaiken liikenteen kulkevan samalla nopeudella ja akselipainolla ja suurin osa liikenteestä koostuu eri nopeuksilla ja akselipainoilla kulkevasta tavaraj- ja henkilöjunaliikenteestä, on turvallisempi käyttää tasa-

painokallistusta joka on pyritty määrittämään liikennöinnin keskinopeudelle. Keskinopeudelle laskettu kallistus estää sekä kallistuksen vajauksen maksimiarvon ylittymisen nopeimmilla junilla että liikakallistuksen hitailla tavarajunilla. Raiteen kallistukseen on huomioitava myös mahdolliset pysähtymistilanteet, jonka takia esimerkiksi liikennepaikkojen lähistöllä olevat kaarrealueet on kallistukseltaan mitoitettava pienemmiksi, kuin linjalla olevien kaarteiden kallistukset.

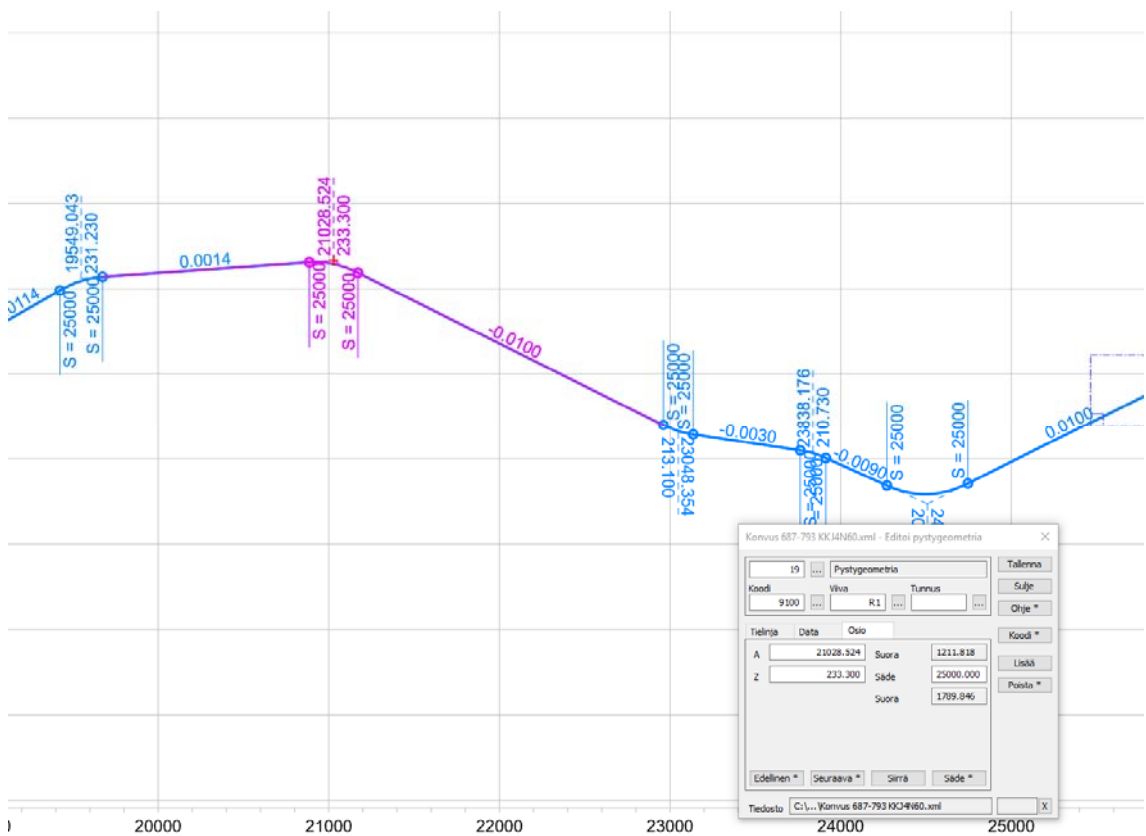
Raiteen suunniteltu kallistus tukikerroksellisella raiteella saa olla enintään 190mm (Väylävirasto 2010.)



Kuvio 6 Raiteen kallistus (Väylävirasto 2011)

4 PYSTYGEOMETRIA

Radan profiili eli pystygeometria määrittää raiteen korkeussuuntaisen sijainnin. Ratageometrian pystygeometria muodostuu kahdesta elementistä; kaltevuusjaksoista ja kaltevuustaitteiden pyörityksistä. Kaltevuusjaksolla tarkoitetaan kahden taitepisteen välistä vaakasuoraa välimatkaa ja kaltevuustaitteella tarkoitetaan taitepisteiden pyöristettyä kaarta, joka on ympyräkaari ja jolle on laskettu pyöristyskaarresäde. Kaltevuusjaksot on määritelty RATO 2-julkaisussa tarkasti pituuskaltevuuden raja-arvoilla.



Kuvio 7 Pystygeometria esimerkki (3D-Win)

Kuvassa 7 on nähtävissä esimerkki pystygeometriasta 3D-win-ohjelman edito- rissa, josta käy ilmi kahden kaltevuusjakson pituudet (suora-kohdat käyttöliitty- mässä), kaltevuusjaksojen kaltevuusarvot sininen 1,4 promillen nousujakso sekä 1 prosentin laskeva jakso vaaleanpunaisella. Pyöritys kahden kaltevuusjakson välillä on esitetty ympyräkaaren säteen arvolla ja lakipiste, eli kahden kaltevuus- jakson leikkauspiste on paalulla 21028.524 kuvan mukaan.

maanpinnan korkeus. Kuvan 6 geometria kulkee alikulkusillan yli. Pituusleikkauksen keskiosasta voidaan tarkastaa mitattu radan korkeus ja geometrian lasketun pystygeometrian ero mitattuun korkeuteen. Pituusleikkauksen kaarevuuskuvaaja esittää mahdollisen kaarteiden säteen ja pituuden sekä kallistuksen ja kallistuksen muutoksen.

Raiteiden pystygeometriaa voidaan usein yhdistää yhden yhteisen korkeusviivan luomisella tilanteissa, joissa raiteita kulkee vierekkäin, esimerkkinä liikennepaikat ja useampiraiteiset rataosat (Väylävirasto 2010.)

5 RADAN GEOMETRIAN SUUNNITTELU

5.1 Ratageometrian suunnittelu yleisesti

Ratageometrian suunnittelun perustana on tavoitteet, jotka koskevat pitkällä aikavälillä kalustoa, liikennettä, ympäristöä ja radan elinkaarta.

Suunnittelua ohjaa suurelta osin erilaiset ohjeistukset ja direktiivit, jotka tulevat aina EU:n komission päätöksistä, kuten eurooppalaisen rautatiejärjestelmän yhteentoimivuuteen liittyviä teknisiä määräyksiä sisältävä Yhteentoimivuuden tekniset eritelvät, YTE.

Ratageometriaa voidaan suunnitella uusille ja vanhoille raiteille. Usein olemassa olevien raiteiden suunnittelu johtuu radan kapasiteettiin, nopeuteen tai liikennöintiin haluttavista muutoksista. Raiteen muoto ja korkeus muuttuu tukemistöiden seurauksena joka myös aiheuttaa tarpeellisuuden uuden raiteen geometrian laskentaan.

Raidegeometrian suunnittelu perustana on yksittäisen elementin, kuten esimerkiksi kaaren, suunnittelu. Elementeistä muodostetaan raiteita yhdistelemällä niitä toisiinsa. Raiteet mitoitetaan raiteella käytettävän suurimman nopeuden, eli mitoitussopeuden mukaan.

Pystygeometrian osalta suunnittelua ohjaa usein nykyinen raidegeometrian pystyprofiili. Pystyprofiilia uudistamalla voidaan parantaa liikenteen tavoitteita ja taloudellisuutta sekä rakenteita. Yksi hyvä esimerkki pystyprofiilin parantamisesta on radan liikennöinnin muutoksen aiheuttama kiihdytys- tai jarrutusalueen tarve, joka on suunniteltava liikenteen määräämän pituuskaltevuuden avulla (Väylävirasto 2010.)

5.2 Ratasuunnitteluperusteet

Ratasuunnittelu ohjataan infrasuunnitteluohjeistuksella ja on yleispiirteiltään yhteneväistä muiden väylähankkeiden kanssa. Ratasuunnittelun prosessiin kuuluvat esiselvitysvaihe, yleissuunnitteluvaihe, ratasuunnitteluvaihe sekä rakennussuunnitteluvaihe.

RATASUUNNITTELUN ELINKAARI

1. TARVE	Ratasuunnitteluhankkeen perustana on tarve tehdä muutos tai muutoksia joiden avulla voidaan kehittää rautatieverkkoa, sen toimivuutta tai käyttöä
2. ESISELVITYS	Esiselvityksessä määritetään hankkeen tausta, tarve, tavoitteet, vaihtoehdot toteutukselle, vaatimukset, alustava kustannusten suuruusluokka, vaikutukset, kannattavuus sekä riskit
3. YLEISSUUNNITTELU	Yleissuunnitelma esittää selvityksen hankkeen kehittämisen tarpeellisuudesta, selvitystyistä vaihtoehdoista, radan liikennöintiin ja tekniikkaan selvitetystä ratkaisusta sekä arvioiduista vaikutuksista
4. RATASUUNNITTELU	Ratasuunnitelma osoittaa rautatien sijainnin, käyttötarkoituksen, profiilin eli korkeusase- man, poikkileikkauksia sekä kuivatuksen tavalla ja tarkkuudella jota voidaan käyttää vaikutusten arviointiin ja maastoon merkintään
5. RAKENTAMISSUUNNITTELU	Rakentamissuunnitelma osoittaa hankkeen toteutustavan, lopputuloksen ja toiminnan

Taulukko 1 Ratahankkeen toteutuskaari (Ratahallintokeskus 2018)

Taulukossa 1 on esitetty ratahankkeen suunnittelun toteutuskaari tarpeen tunnistamisesta rakentamissuunnitteluun.

Rata- ja rakennussuunnitteluvaiheessa hyödynnetään tarkkoja maastomalleja, joiden muodostuksesta vastaavat mittaustyöntekijät. Maastomallit rakentuvat tai-teviivoista ja hajapisteistä, joiden avulla suunnittelija voi muodostaa 3D-suunnit-teluaineistoa esimerkiksi havainnollistamiseen.

Ratageometriasuunnitelmia voidaan muodostaa hankkeiden esiselvitysvai-heissa, mutta useimmin niitä suunnitellaan yleissuunnitelmavaiheen jälkeen jol-loin yleissuunnitelman mukana on muodostettu jo periaatteellisia ratkaisutapoja yksityiskohtaisempaan suunnitteluun. Ratageometrialla on tarkoitus parantaa esimerkiksi yhteyksien toimivuutta, rataväylien solmukohtia sekä liikennepaikkoja suunnittelussa.

Ratageometrian suunnitteluperusteisiin voi kuulua erilaiset liikennetekniikkaan liittyvät mitoitusperusteet, radan linjausta koskevat rajaukset, ympäristöä ja kaa-voitusta koskevat rajoitteet sekä liikennepaikkojen raiteistoja koskevat yleisperi-aatteet (Väylävirasto 2011b.)

6 RATAGEOMETRIA MITTAUSVASTAAVAN TYÖKALUNA

6.1 Ratarakentaminen

Ratarakentamishankkeella voidaan ratamittausvastaavalla katsoa olevan kolme vaihetta työskentelyssä. Alustava työvaihe, toteutusvaihe sekä luovutusvaihe. Tämän lisäksi voidaan myös kunnossapitovaihe laskea mikäli kunnossapito toteutetaan työllistävän rakennusliikkeen kautta. Alustavaan työvaiheeseen liittyy vahvasti hankkeen toteutusalueeseen liittyvät esiselvitykset ja niiden läpikäynti. Toteutusvaiheessa mittausvastaava on vastuussa rakennetun kohteen toteuma- ja paikalleenmittauksesta, joko välillisesti koneohjauksen kautta tai suoraan esimerkiksi takymetrimittauksilla.

Radalle tehtävien hankkeiden perustana toimiva mittausperusta tulee testata ja tarkistaa mahdollisten koordinaattimuutosten ja pisteiden liikkumisen poissulke-miseksi. Huono mittausperusta voi pahimmillaan aiheuttaa radan geometriaan ongelmia kuten sijainnin epätarkkuutta ja pahimmillaan junaliikenteeseen epä-edullisesti vaikuttavia nopeusrajoituksia. Mittausperustan toiminnan epävarmuustilanteista voidaan suorittaa uusi mittausperustan vaaitus, jolla varmistetaan uudelleenlaskennalla mittausperustan pisteet käyttökelpoisiksi. Mikäli uusia runkopisteitä halutaan tuoda vanhaan mittausperustaan on vanhan mittausperustan pisteitä käytettävä jonossa pakkopisteinä, joiden avulla tarkkuus voidaan osoittaa. Toteutusvaihetta varten mittausperustan pisteet tulee suojata ja merkitä maastoon siten, että sen läheisyydessä, alle 200 mm päässä on keltainen paalu, johon on merkitty pisteen numero (Väylävirasto 2010.)

Hankkeiden toteutusvaiheessa ratageometria on tärkein työkalu mittausvastaavan työnkuvassa. Ratageometrian avulla voidaan muodostaa suunnitelmien pohjalta mm. koneohjaus- ja paikalleenmittausmalleja joita voidaan käyttää esimerkiksi työkoneautomaatiota hyödyntävillä urakoilla. Ratageometria määrää myös rakennetun raiteen aseman, johon raide tulee tukea ennen liikenteelle luovutusta.

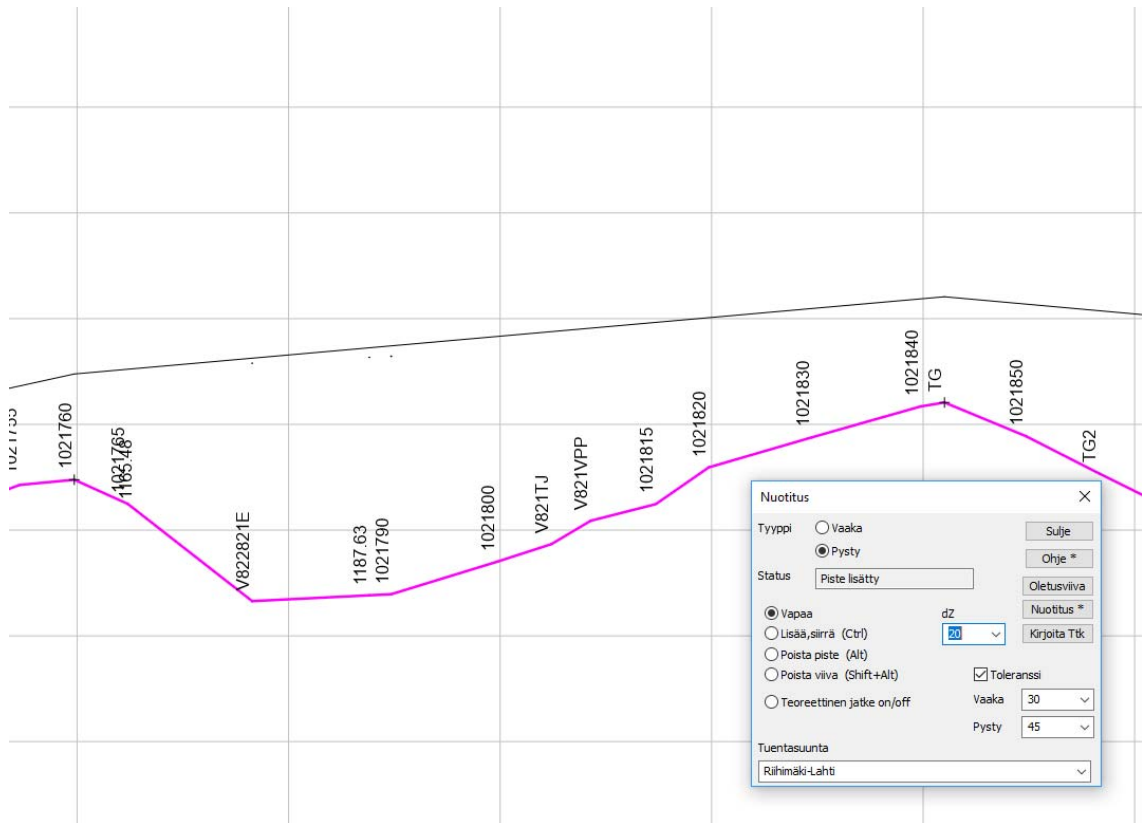
6.2 Raiteen geometrinen kartoitus

Tukemismittauksella tarkoitetaan radan geometrisen sijainnin kartoitusta, usein verrattuna ratageometriaan. Radankartoitusmittauksiin käytetään usein tarkkuusmittausta takymetrillä, sillä radan geometrisen sijainnin määrittämiseen käytettävät yksiköt ovat millimetrejä, jolloin GPS-laitteiden käyttö ei ole tarpeeksi tarkkaa. Radan geometriamittauksiin voidaan käyttää myös radantarkastusvaunuja, jotka mittaavat radan sijaintia kuormitettuna.

Raiteen geometrinen kartoitus voi toimia lähtötietona mm. ratageometrian suunnittelulle, radan kunnossapitoon ja rataomaisuudenhallintaan. Ratasuunnittelussa käytettävää kartoitustietoa voidaan editoida useammilla erilaisilla 3D-sovel-lusohjelmilla.

Ratatehtävissä toimivan mittausvastaavan työtehtäviin voi kuulua radan geometrisen sijainnin kartoitusten pohjalta muodostettavat tukemislistaukset eli nuotit. Tukemislistauksen avulla voidaan jakaa tietoa mittauksen ja raiteentukemiskoneen välillä. Nuotit sisältävät yksinkertaistettuna nosto- ja sivuttaissiirtojen tiedot listattuna radan geometrian kartoituksesta verrattuna ratageometriaan. Tukemiskoneen kuljettaja voi nuotin avulla tukea radan tukemislistauksessa esitettyyn asemaan. Nuotissa myös informoidaan tukemiskoneen kuljettajaa tuettavasta alueesta, johon kuuluu mittaajan tiedot, nuotittajan tiedot, mittauksen ja nuotituksen ajankohta, mittauskalusto, koordinaattijärjestelmä, nuotituksessa käytetty geometria, tuennan kohde, tuentasuunta, tiedot kiskosta kuten kiskopaino, mitattu johtokisko, tiedot tukemisalueen geometrian elementti-, pakkopisteistä (esimerkiksi tasoristeykset, kiinteät sillat) ja mahdollisen laserlähettimen käyttömahdollisuuden paikat (Väylävirasto 2018c.)

Yksi tapa muodostaa nuotti graafisella 3D-winin käyttöliittymällä mitatuista pisteistä. 3D-winin käyttöliittymä vaatii nuotitustoimintoa varten kiskon kartoituksen ja geometriatiedoston, johon nuotitustoiminto vertaa mitattua kartoitusta. Nuotitustoiminnolla voidaan muodostaa tukemissuunnitelmaa niin pysty- kuin vaaka-geometriankin osalta. Nuotitustoiminnosta on mahdollista kirjoittaa ulos muodostettu nuotti esimerkiksi excel-tulosteena tai ver-tiedostona, joka voidaan syöttää uusimpien radantukemiskoneiden tietokantoihin sellaisenaan.



Kuvio 9 Tukemissuunnitelma eli nuotti 3D-win-ohjelman nuotitus-käyttöliittymällä

Kuvassa 9 on 3D-win-ohjelman nuotitus-käyttöliittymällä muodostettu pystygeometrian nuotti pituusleikkauksena, jonka kohteena on vaihde 822 Rovaniemi-Kemijärvi väliseltä rataosalta Misin liikennepaikalta. Vaaleanpunainen viiva esittää mitattua pystykoordinaatin muutosta ratageometriaan vertailluna. Vaaleanpunaisen viivan muutos pisteet ovat mitattuja pisteitä ja tunnukset ovat mittajaan käytämiä tunnuksia pisteille, joista tärkeimpiä ovat etujatkoksen, takajatkoksen sekä viimeisen pitkän pöllin mitatut pisteet (kuvassa pisteet v822821E, V821TJ sekä V821VPP).

6.3 Raiteen tukemistarve

Raiteen kunnossapidolliseen tukemistarpeeseen on kaksi yleisintä tekijää. Radan kunnossapitoalueet on tuettava vähintään kerran sopimusaikana kunnossapitäjän toimesta ja tämän lisäksi Suomen raiteilla ajaa joka radantarkastusvaunu rataosien läpi raiteen kunnossapitotason vaatiman määrän kertoja. Radantarkastusvaunun tehtävänä on muodostaa yliajon aikana tietoa ratageometriasta, kiskojen kulkupintojen kunnosta sekä sähköradasta, kuten ajolangan asemasta rataan verrattuna reaaliajassa. Radantarkastusvaunun muodostamasta datasta

voidaan eritellä vaaditun tukemistyön kiireellisyys, johon vaikuttaa rataosuuden kunnossapitotaso ja tukemistyötä vaativan virheen suuruus. Virheen suuruudet on lajiteltu Väyläviraston toimesta kolmeen luokkaan: C-, D- ja *-luokan (tähtiluokan) virheiksi. C-luokan virheellä tarkoitetaan alkavaa virhettä, D-luokan virheellä virhettä, joka on tuettava virheen lähitulevaisuudessa havaitsemisesta ja tähtiluokan virheellä välitöntä korjaamista vaativaa virhettä.

Tuenta ei voida tehdä pistemäisesti havaitun virheen perusteella vaan tuettava alue tulee määrittää radantarkastusdatan edellisestä nollavirhepaikasta seuraavaan nollavirhepaikkaan. Yksittäisen tukemisalueen osuessa vaihteen tai siirtymäkaaren kohdalle, on tuenta tehtävä vähintään koko elementin matkalta (Väylävirasto 2018c.)

Vuoteen 2018 asti Suomessa toimi radantarkastusvaununa Ttr1 51 eli Emma. Emma-vaunun korvaajaksi vuoden 2019 aikana on tulossa Meeri-vaunu (kuva 10), joka tuo radantarkastukseen lisää tarkkuuta ja mahdollisuuksia niin radan, vaihteiden kuin sähköradankin tarkastuksiin (Rautatieohjeet päivittyvät, Väylävirasto, 2019). Suurin kehitysaskel Emmasta Meeriin siirryttäessä on uusi ultraäänimittausjärjestelmä, jolla voidaan tuottaa tietoa entistä laajemmin raiteiden epäkohdista (MERMEC.)



Kuva 10 Radantarkastusvaunu Meeri (junalauta.net)

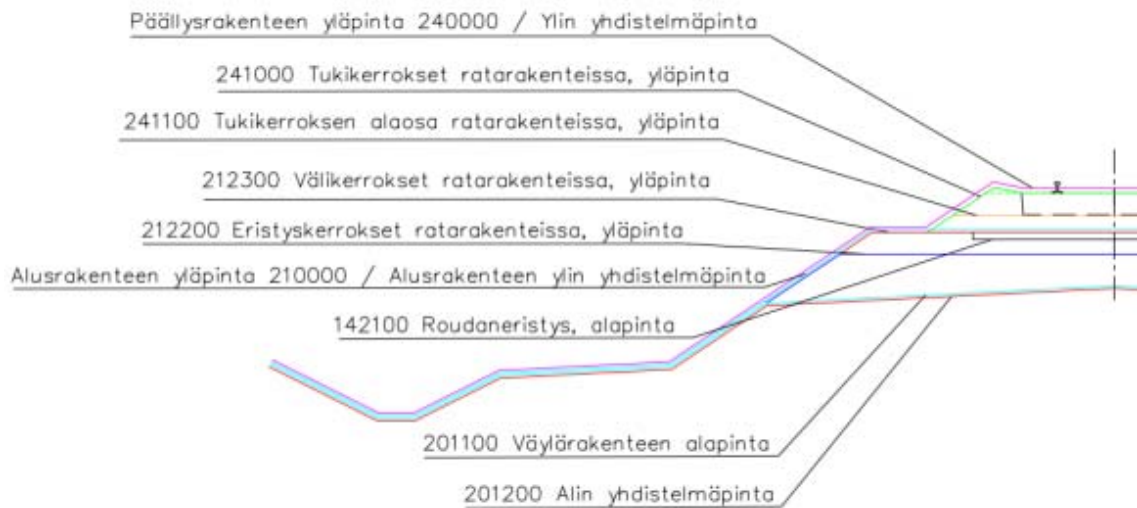
6.4 Ratarakentamisen koneohjaus

3D-rakentamisen kehitys on ollut todella nopeaa 2000-luvulla. Ala on digitalisoitunut radikaalisti ja yleisesti infrarakentaminen on pyrkinyt mallipohjaisuuteen aina enemmän. Rataan liittyvää mallintamista voidaan hyödyntää koko radan elinkaaren aikana, suunnittelusta rakentamiseen ja kunnossapitoon.

Ratateknisissä rakentamishankkeissa koneohjauksen käyttö on tullut hieman perinteistä tie- ja aluerakentamista jäljessä, sillä ratarakentamisen hankkeilla esimerkiksi näkemä- ja työskentelyalueet ovat usein pieniä. Myös toleranssit ovat todella tarkkoja, joka hidastaa mallipohjaista tuotantoa suurilta osin hyödyntävää urakkaa ellei työkoneiden kuljettajat ole erityisen ammattitaitoisia.

Ratarakentamisen aikana ratasuunnitelmista ja suunnitelmamalleista muodostetaan hankkeen koneohjausmalleja, joiden avulla ratarakentamisen hankkeet voitaisiin toteuttaa suunnitellusti. Ratageometriaa voidaan hyödyntää koneohjaus-

malleissa mm. mallinnettavan kohteen mittalinjana. Usein ratarakentamisen koneohjausmallit painottuvat radan kerrosten kaivanto- ja radan rakenteiden kerrosten yläkerrosten pintoihin. Kuvassa 11 on nähtävissä näkymä radan poikki-leikkauksesta, johon on kirjattu rakennepintojen nimet ja tunnuksat.

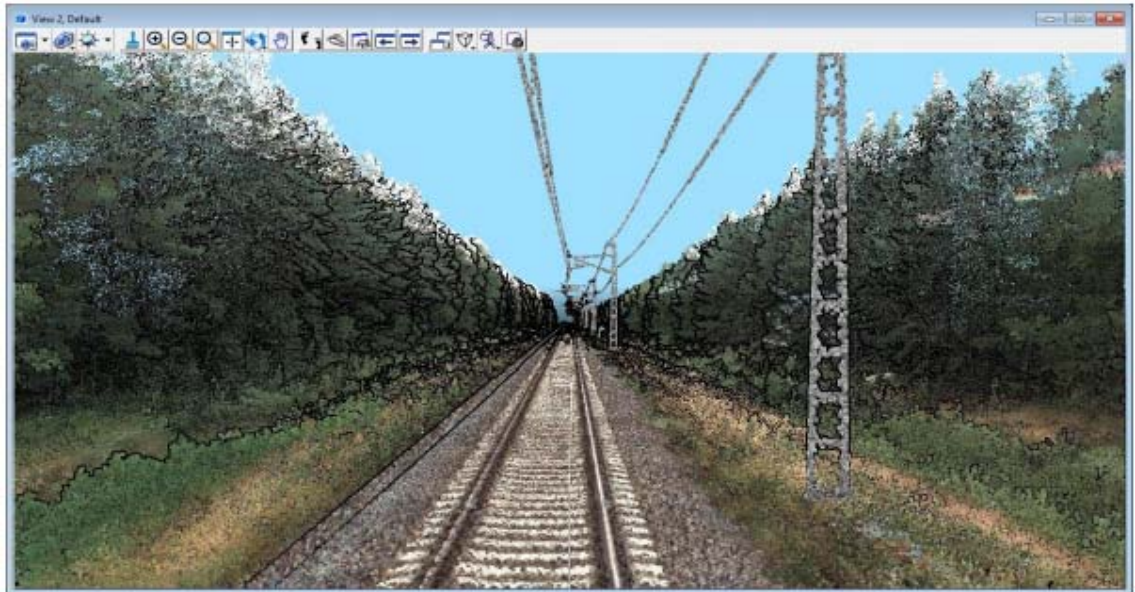


Kuva 9 Radan mallinnettujen rakennepintojen nimet ja koodit InfraBIM-nimikkeistön mukaisesti (Buildingsmart.fi 2015)

Koneohjauksella voidaan korvata yksi mittausryhmä mahdollisten rakentamisen aikaisten paikalleenmittausten ja tarkemittausten osalta, mutta esimerkiksi radan tukemistyöt vaativat tarkkuusvaatimusten takia vielä fyysisen mittaajan ja nuotittajan (Väylävirasto 2018c.)

Kunnossapidossa voidaan myös hyödyntää tietomallintamista. Omaisuudenhallinta ja kunnossapito ovat seuraava kehitysaskel radan elinkaaren jatkuvuudessa, jonka mahdollistaa rakentamisen mallipohjainen suunnittelu. Yksi esimerkki kunnossapidon mallintamisen kohteista ovat sähköradan elementit, joita ovat mm. kaapelireitit, opastimet, turvalaitteisiin liittyvät kaapit, ratajohdot sekä muuntajat. Myös päällysrakennetta ja radan muita rakenteita, kuten tasoristeyksiä, tasoristeyksien näkemäalueita sekä turvallisuuteen vaikuttavia asioita voidaan mallintaa. Esimerkiksi laserkeilattua pistepilviaineistoa on mahdollista käyttää kunnossapidon lähtötietomallina. Vuonna 2018 tehtiin pilottihanke radan laserkeilauksesta liikkuvan kaluston avulla, jonka tavoitteena oli muodostaa kelvol-

lista ja tarkkaa pistepilviaineistoa haittapuiden kaatumisen ennakointiin, tasoristeysnäkemien esittämiseen sekä ratavarusteiden tunnistamiseen (Jaakkola 2018, 12.)



Kuva 10. Värjätty pistepilviaineisto (Väylävirasto 2018)

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Raidegeometria voi olla yksinkertaisesti kerrottunakin suuri ja moniulotteinen kokonaisuus, joka on mm. Väyläviraston julkaisuissa jaettu useampaan julkaisuun. Maanmittausinsinöörinä voi työskennellä jonkin verran ratatyötehtävissä ilman kosketusta ratageometrian kanssa, mutta se on erittäin epätodennäköistä. Lähes kaikki rataan ja radan rakenteisiin liittyvät mittaukset lähtevät liikkeelle ratageometriasta, vähintään paikantamisesta.

Opinnäytetyön suuntaa antava aihe valikoitui opintojen aikaisen työkokemuksen vuoksi. Ensimmäisen kesän työharjoittelun oli vielä ”ainoastaan” 5 kuukautta ratatyötehtävissä, mutta toisen kesän työharjoittelun alusta olen ollut ainoastaan 3 kuukautta päätoimisena opiskelijana. Kaikki työkokemus on tullut ratatyötehtävistä.

Suurin haaste opinnäytetyön työstössä oli aiheen laajuus. Vaihdoin opinnäytetyön aiheen rajausta useaan otteeseen laajemmasta suppeampaan. Lopullinen opinnäytetyön aihe käsittelee suurimmaksi osaksi omaa kiinnostuksen kohdetta joka on ratageometria ja sen suunnittelu.

Rataan liittyvillä opinnäytetöillä on taipumus sisältää lähteinä suuri määrä väyläviraston (ent. liikennevirasto) julkaisuja. Väylävirasto kuitenkin päivittää vuosittain rataohjeistusta, joka muovaa opinnäytetöitä vuosi vuodelta tarkempaan ja kehittyneempään suuntaan.

LÄHTEET

- Jaakkola, M. 2018. Laserkeilauksella radan kunnossapidon lähtötietomalli. Viitattu 20.11.2019. <http://www.mermeccgroup.com/press-room/news/1066/mermec-won-the-inspection-contract-for-finlands-entire-rail-network-.php>
- MERMEC. MERMEC won the inspection contract for Finland's entire rail network. Viitattu 30.8.2019. <http://www.mermeccgroup.com/press-room/news/1066/mermec-won-the-inspection-contract-for-finlands-entire-rail-network-.php>
- Mäenpää, H. 2018. Ratasuunnittelun ohjeet. Viitattu 10.11.2019. https://vayla.fi/documents/20473/421801/M%C3%A4enp%C3%A4+Heidi_2018-02-01+Ratasuunnittelun+ohjeet.pdf/b8b0815c-3d8b-4a17-a2fc-4495151d2b10
- Ratahallintokeskus. Radan suunnitteluohje. Viitattu 24.11.2019. https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rhk_b20_rad_n_suunnitteluohje.pdf
- Vr Transpoint. Yleistä rautatieliikenteestä. Viitattu 20.9.2019. <https://www.vrtranspoint.fi/fi/vr-transpoint/asiakkaan-opas/yleista-rautatieliikenteesta/>
- Väylävirasto 2017a. Rataomaisuuden jako alueisiin ja rataosiin. Viitattu 10.11.2019. <https://vayla.fi/documents/20473/23405/170501+rataomaisuuden+jako+alueisiin.pdf/4acbf90c-e0d2-4844-93a2-72b9ea0ed1bc>
- Väylävirasto 2018a. RATO 1. Viitattu 20.9.2019. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-31_rato1_web.pdf
- Väylävirasto 2010. RATO 2, radan geometria. Viitattu 18.11.2019. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2010-03_rato_2_rad_n_geometria_web.pdf
- Väylävirasto 2014. RATO 3. Viitattu 18.11.2019. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-17_rato3_web.pdf
- Väylävirasto 2012. RATO 4. Viitattu 10.10.2019. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2012-22_rato_4_web.pdf
- Väylävirasto 2011a. RATO 7. Viitattu 21.11.2019. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-13_rato_7_web.pdf
- Väylävirasto 2017b. Rautatieohjeet päivittyvät. Viitattu 25.11.2019. <https://vayla.fi/-/rautatieohjeet-paivittyvat#.XdvtxugzaUk>
- Väylävirasto 2018b. Rautateiden kunnossapito nyt ja tulevaisuudessa. Viitattu 10.10.2019. https://vayla.fi/documents/20485/417418/Noukka+Mirja+2018_01_23_Rautateiden+kunnossapito_nyt_ja_tulevaisuudessa.pdf/82dbe102-75cd-4ed5-873b-4a56c5c5ae22

Väylävirasto 2018c. Tukemistyön suunnittelu ja toteuttaminen. Viitattu 28.9.2019. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-21_tukemistyön_suunnittelu_web.pdf

Väylävirasto 2011b. Väylähankkeiden suunnittelun web. Viitattu 28.9.2019. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-24_vaylahankkeiden_suunnitteluperusteiden_web.pdf

