

Anton Aronen

Raiteenmittausjärjestelmän käyttö vaihde- mittauksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

9.5.2014

Tekijä Otsikko	Anton Aronen Raiteenmittausjärjestelmän käyttö vaihdemittauksessa
Sivumäärä Aika	40 sivua + 1 liite 9.5.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	aluevastaava Mia Leppänen yliopettaja Vesa Rope
<p>Tässä insinööriyössä selvitetään Amberg Rail -raiteenmittausjärjestelmän käyttöä vaihdemittauksessa. VR Track Oy:n hankkimalla raiteenmittausjärjestelmällä pystytään yhdellä mittauksella saamaan radasta sijainti- ja asentotietoja, joiden mittaaminen perinteisin menetelmin olisi huomattavasti tehottomampaa.</p> <p>Insinööriyössä esitellään Suomen rataverkolla vallitsevat Liikenneviraston ohjeistukset ja määräykset, jotka ohjaavat radan suunnittelua, rakentamista, kunnossapitoa sekä mittauksia. Lisäksi vaihteita koskevat määräykset ja ohjeistukset käsitellään merkittäviltä osin. Yhdessä ohjeistukset ja määräykset määrittelevät vaihteet sekä miten niitä tulee mitata.</p> <p>Raiteenmittausjärjestelmän käyttöä vaihdemittauksissa testattiin niin uusilla kuin vanhoillakin jo liikenteen käytössä olevilla rataosuuksilla. Mittaustulokset käsiteltiin ja analysoitiin Amberg Rail -ohjelmistolla, jonka käyttöä kehitettiin tässä insinööriyössä. Saadut tulokset ovat lupaavia, ja raiteenmittausjärjestelmää voidaan pitää toimivana ratkaisuna niin vaihdemittauksissa kuin muissakin ratamittauksissa.</p> <p>Vaihteet ovat junaliikenteen turvallisuuden ja matkustusmukavuuden kannalta tärkeitä kohteita, joiden suunnittelu, rakentaminen ja kunnossapito vaativat tarkat geodeettiset mittaukset. Raiteenmittausjärjestelmällä pystytään suorittamaan vaativia ratateknisiä mittauksia, kunhan pidetään huoli siitä, että mittauustyö noudattaa laatuajattelua.</p>	
Avainsanat	mittausvaunu, vaihde, raidegeometria, tuentatyö

Author Title	Anton Aronen Railway switch measurements with a rail track measuring system
Number of Pages Date	40 pages + 1 appendice 9 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Mia Leppänen, District Manager, B.Sc. Vesa Rope, Principal Lecturer
<p>The aim of this final year project was to define if the highly accurate Amberg Rail track trolley is suitable for measuring railway switches.</p> <p>The Finnish railway system has a lot of regulations and instructions that determine how the tracks are built and maintained. These regulations and instructions were examined and a summary of these was written for the final year project. The focus in the regulations and instructions was in railway switches. The most significant regulations and instructions were gathered in this final year project so that they were exploited in the railway switch test measurements.</p> <p>The track trolley measuring system was tested both in new railway sections and older sections already in use. The measuring results were analyzed and examined with Amberg Rails' own software. The experiences and results were promising. It seems that the track trolley is very suitable for measuring railway switches.</p> <p>In the railway systems railway switches have a key role in safety and travel comfort. The design, building and maintenance of railway switches demand accurate geodetic surveys. The track trolley measuring system can live up to these standards.</p>	
Keywords	track trolley, track geometry, railway switches, track laying

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Organisaation esittely	2
2.1	VR Group	2
2.2	VR Track Oy	3
2.3	Teknologiakehitys ja mittaus	5
3	Suomen rataverkko	6
3.1	Yleistä rataverkosta	6
3.2	Radan geometria	7
3.2.1	Ratakilometrijärjestelmä	7
3.2.2	Raideleveys	9
3.2.3	Raiteen teoreettinen asema radan suunnittelussa	10
3.2.4	Pystygeometria	12
3.2.5	Vaakageometria	12
3.2.6	Pääpistelaskenta	13
3.2.7	Aukean tilan ulottuma (ATU)	13
3.3	Radan rakenne	14
4	Rautatievaihteet	15
4.1	Vaihde	15
4.1.1	Vaihdetyypit	16
4.1.2	Vaihteen rakenne	16
4.1.3	Vaihteen alue ja vaihdealue	17
4.1.4	Vaihteiden määrittely ja nimeäminen	17
4.2	Vaihdegeometria	18
4.2.1	Vaihteiden pysty- ja vaakageometria	18
4.2.2	Vaihteiden korkeusviiva	19
4.2.3	Vaihteissa käytettävät raideleveydet	20
5	Raiteen- ja vaihteentuenta	21
5.1	Tukemistyö	21

5.1.1	Tukemistyön periaate	21
5.1.2	Nuotittaminen ja mittaustyöt	22
5.2	Vaihteentuenta	23
6	Vaihdemittaukset nykyisin	24
6.1	Raiteen sijaintitoleranssit	24
6.2	Mittaustyön laatutavoitteet	25
6.3	Mittausperusta	25
6.4	Työpisteet	27
6.5	Mittaukset suunnittelua varten	28
6.6	Asennusmittaukset	28
6.7	Vaihteen geometrian kunnossapitomittaukset	28
6.8	Vaihteen nuotittaminen	29
7	Raiteenmittausjärjestelmän käyttö vaihdemittauksessa	31
7.1	Amberg Technologies	31
7.2	Raiteenmittausjärjestelmä Amberg GRP System FX	31
7.3	Raiteenmittausjärjestelmän tarkkuus	32
7.4	Raiteenmittausjärjestelmällä tehtävän mittaustyön prosessi	32
8	Vaihteiden testimittaukset	33
9	Turvallisuus	34
9.1	Rautatiealueella työskentely	34
9.2	Raiteenmittausjärjestelmän turvallinen käyttö	35
10	Yhteenveto	36
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. Esimerkki pääpistelaskennasta.	

Lyhenteet ja käsitteet

- ajolanka** Sähköjunat ottavat virroittimensa kautta tehoa sähköistetyistä ajolangasta. Ajolanka sijaitsee sähköistetyllä radalla kiskojen yläpuolella raiteen keskilinjan kohdalla. Sähköjunat käyttävät ajolangasta saatavaa sähköä energian lähteenään laitteisiinsa, kuten esimerkiksi sähkömoottoreihinsa.
- ATU** Aukean tilan ulottuma. Aukean tilan ulottumalla tarkoitetaan sitä pitkin raidetta ulottuvaa tilaa, jonka sisäpuolella ei saa olla kiinteitä rakenteita eikä laitteita.
- EUREF-FIN** ETRS89-datumin realisoinnin tuloksena saatu kansallinen koordinaattijärjestelmä. ETRS89 on realisoitu Suomessa GPS-mittausten avulla ja tästä realisaatiosta käytetään nimeä EUREF-FIN.
- GNSS** Global Navigation Satellite Systems, yhteisnimitys maailmanlaajuiselle satelliittipaikannusjärjestelmälle.
- GRP System FX**
Amberg Rail -raiteenmittausjärjestelmä.
- Jk-raide** Jatkovakiskoraide. Raide, jossa kiskon pituus $l > 300$ metriä.
- kiintopiste** Koordinaateiltaan tarkasti tiedetty piste, joka on merkitty pysyvästi maastoon.
- kiskon neutralointi**
Neutraloinnilla kisko vapautetaan jännityksistään neutraalilämpötila-alueella (+12 °C...+22 °C) vastaavaan neutraalipituuteensa.
- KKJ** Kartastokoordinaattijärjestelmä (kkj) perustuu 1900-luvulla tehtyihin kolmiomittauksiin. Järjestelmä on käytössä useissa eri kunnissa.
- korkeusjärjestelmät**
Suomessa on käytössä useita korkeusjärjestelmiä, jotka joudutaan päivittämään tarkkavaaituksella tietyin väliajoin maankohoamisen seuraukse-

na. Korkeusjärjestelmiä ovat mm. N43-, N60- ja N2000-korkeusjärjestelmät.

Lk-raide Lyhytkiskoraide. Raide, jossa kiskon pituus $l \leq 25$ metriä.

nuotitus

Takymetrimittauksella määritettävät nostot ja sivusiirtoarvot tunnetaan yleisemmin nuotituksena. Nuotitusta käytetään raiteen tuennassa

Pk-raide Pitkäkiskoraide. Raide, jossa kiskon pituus $l > 25$ metriä, mutta $l \leq 50$ metriä.

raiteen asema

Raiteen asema ilmaistaan koordinaatteina. Se ilmoittaa raiteen absoluuttisen sijainnin vaaka- ja pystytasossa. Raiteen asemalla tarkoitetaan myös sen ulkoista geometriaa.

raiteen asento

Raiteen asento tarkoittaa raiteen sisäistä geometriaa eli raiteen asentoa suhteessa keskilinjaan.

raiteen kallistus

Raiteen kallistus määritetään kiskojen selkien välisenä korkeuserona. Raide kallistetaan korottamalla kaarteiden ulkopuolista kiskoa.

raiteentuentakone

Raiteentuentakone tukee raiteen haluttuun asemaan. Raiteentuentakone siirtää raiteen haluttuun sijaintiin nuotituksen perusteella.

ratakilometri

Ratakilometri on nimetty määrämittainen osuus. Sen pituus on kahden peräkkäisen kilometripylvään väli raidetta pitkin. Sen pituus voi poiketa 1 000 metristä. Ratakilometri on nimetty arvoltaan pienemmän kilometripylvään tunnuksen mukaan.

- RATO Ratatekniset ohjeet sisältävät perustiedot radan ja ratalaitteiden suunnittelua, rakentamista, tarkastusta ja kunnossapitoa varten. Ratatekniset ohjeet hyväksyy Liikennevirasto. Aikaisemmin ne tunnettiin nimellä Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RAMO).
- VVJ Valtion vanha järjestelmä (vvj) on koordinaattijärjestelmä, joka perustuu Geodeettisen laitoksen suorittamaan I luokan kolmiomittaukseen.

1 Johdanto

VR Track Oy:n Teknologiakehitys ja mittauspalveluissa on otettu käyttöön uusi raiteenmittausjärjestelmä, jolla saadaan tarkkaa tietoa raiteen sijainnista ja asemasta. Tässä insinööriyössä selvitettiin raiteenmittausjärjestelmän soveltuvuutta vaihteen mittaamiseen.

Raiteenvaihtopaikat eli vaihteet sijaitsevat yleensä eri rataosuuksien liittymäkohdissa, ja niillä on siten keskeinen rooli eri rataosuuksien yhdistämisessä. Turvallisuus ja matkustusmukavuus ovat avainasemassa vaihteiden suunnittelussa, rakentamisessa ja niiden kunnossapidossa. Jotta edellä mainitut vaatimukset toteutuisivat, ne edellyttävät vaihteiden sijainnin tarkkaa määrittämistä, oli sitten kyse uuden vaihteen asentamisesta tai vanhan vaihteen kunnossapidosta. Raiteenmittausjärjestelmän avulla kartoitetaan raiteen sijainti tarkemmin kuin aikaisemmillä mittausmenetelmillä ja raiteen asennosta saadaan huomattavasti enemmän tietoa kuin ennen yksittäisillä mittauksilla.

Rautateiden geodeettiset mittaukset tehdään Liikenneviraston määrittelemien määräyksien ja ohjeistusten mukaan. Vaihteisiin liittyy myös runsaasti erilaisia ohjeistuksia ja määräyksiä, joihin on syytä tutustua ennen vaihteen mittaustöiden suorittamista. Insinööriyössä esitellään ohjeistusten ja määräysten keskeisimmät asiat, jotka painottuvat radan asento- ja asematietojen eli radan geometrian käsittelyyn. Lisäksi vaihteet esitellään keskeisiltä osiltaan.

Raiteenmittausjärjestelmän soveltuvuutta vaihteiden mittaamiseen selvitettiin testimitauksin, joita tehtiin kokonaan uusilla rataosuuksilla ja vanhoilla liikenteen käytössä olevilla rataosuuksilla. Testimittausten tuloksia hyödynnetään raiteenmittausjärjestelmän kehittämisessä niin vaihteiden kuin muunkin raiteenmittaustyön osalta. Haasteita mittaustyön ja tulosten käsittelyyn tuovat Suomen rautateiden asettamat vaatimukset, jotka ovat toteutuneet historian saatossa.

2 Organisaation esittely

2.1 VR Group

Suomen valtion omistama VR Group on junaliikennöintiin erikoistunut palveluyritys. Sen toimialueet jakautuvat matkustajaliikenteeseen, logistiikkaan ja infrarakentamiseen. Edellä mainituista toimialueista matkustajaliikenteestä vastaa VR, logistiikasta VR Transpoint ja infrarakentamisesta VR Track. VR Group eli VR-Yhtymä Oy on emoyhtiö, johon kuuluu yhteensä 23 tytäryhtiötä. VR-Yhtymä Oy saavutti nykyisen muotonsa 1990-luvulla tapahtuneiden muutosten myötä, kun se muuttui ensin valtion virastosta liikelaitokseksi vuonna 1990 ja vuonna 1995 perustettiin valtion omistama osakeyhtiö VR-Yhtymä Oy. VR Groupilla on toimintaa Suomen lisäksi Venäjällä, Ruotsissa ja Virossa. [1; 2.]

Valtion omistajuuden myötä VR Groupin toimintaa ja omistajan etua valvoo valtioneuvoston kanslian omistajaohjausosasto. Omistaja edellyttää VR Groupin toimivan tehokkaasti, kannattavasti ja vastuullisesti sekä noudattavan omistajaohjauksen periaatteita. Yhtiön toimintaan vaikutetaan omistajan toimesta hallitustyöskentelyn ja yhtiökokouksen avulla. [3, s. 13.]

VR Groupin liikevaihto vuonna 2012 oli 1 437,8 miljoonaa euroa ja liikevoitto 52,4 miljoonaa euroa. Liikevaihdosta suurimman määrän tuotti logistiikka, jonka osuus oli 38 %. Matkustajaliikenteen tuotto koko liikevaihdosta oli 35 % ja infrarakentamisen 20 %. [3, s. 26.]

VR-konsernissa työskentelee henkilöstöä noin 10 000 työntekijää, joista matkustajaliikenne työllistää 2 300, logistiikka 1 700, infrarakentaminen 2 000 ja muu tukitoiminta 4 000. Henkilöstön määrä on vähentynyt noin tuhannella henkilötyövuodella vuoden 2013 aikana. [3, s. 62; 4, s. 6.]

VR Groupin arvojen lähtökohtana on asiakaskeskeisyys. Muita arvoja ovat turvallisuus, vastuullisuus, tavoitteellisuus, uudistuminen ja yhdessä tekeminen. [5.]

2.2 VR Track Oy

Suomen suurimpiin rakennusyhtiöihin ja insinööritoimistoihin kuuluva VR Track Oy on VR Groupin tytäryhtiö, jonka ydinsaaminen keskittyy radan rakentamiseen ja suunnitteluun. VR Track Oy:llä on toimintaa ulkomailla, jossa tytäryhtiö AS VR-Track toimii Virossa ja VR Track Sweden AB Ruotsissa. Lisäksi tytäryhtiöihin kuuluu Insinööritoimisto Arcus Oy, joka vastaa kohteiden rakenne- ja geosuunnittelusta. VR Track Oy tytäryhtiöineen muodostaa VR Track -konsernin. Yhtiön liikevaihto oli vuonna 2012 noin 280 miljoonaa euroa. [6; 7.]

VR Track Oy tarjoaa palveluita radan suunnittelusta rakentamiseen ja kunnossapitoon. Suunnittelu kattaa radan ja turva- sekä sähkölaitteiden suunnittelun, jossa suunnittelun lähtökohdaksi on ottaa huomioon myös tulevaisuuden tarpeet esimerkiksi liikennemäärien kasvaessa. Suunnitteluosaston alaisuudessa toimii Teknologiakehitys ja mittauspalvelut, joka vastaa suunnittelun lähtötiedoista, kuten maastomalleista ja radan geometrian tarkastusmittauksista. Teknologiakehitys ja mittauspalvelut on osaamiseltaan yksi Suomen kokeneimmista mittausalan toimijoista. [8, s. 8.]

Suomen rautatierakentamisen kokeneimpana yhtiönä voidaan pitää VR Track Oy:tä, jonka osaamista käytetään myös kansainvälisesti. Yhtiö hyödyntää rakentamisen palveluissaan uusimpia työkoneita ja tekniikoita. Työkoneiden ohjaus tapahtuu tietokoneiden avulla digitaalisesti, jolloin rakentaminen on nopeaa ja laadukasta. Ratojen rakentamistekniikoiden kehittyminen on mahdollistanut työskentelyn samanaikaisesti liikennöidyillä rataosuuksilla. [8, s. 8.]

Kaiken rakentamisen lähtökohdaksi on hyvin tehty alusrakenne, jonka toteuttamisesta VR Track Oy:n maa- ja sillanrakentamispalvelulla on pitkä kokemus. Erityisesti rautateiden ali- ja ylikulkujen rakentaminen kuuluvat toimialan yleisimpiin tehtäviin. Toimintaa palveluilla on myös radanrakentamisen ulkopuolella, sillä yhtiöllä on myös kokemusta maantiesiltojen rakentamisesta ja korjaamisesta. Insinöörirakentamisen piiriin kuuluva maa- ja siltarakentaminen on yksi VR Track Oy:n nopeimmin kehittyvistä toimialoista. [8, s. 8; 9.]

VR Track Oy:n kunnossapitopalvelut vastaavat radan liikennöitävyydestä tarkastamalla säännöllisesti rakenteiden kuntoa ja laitteiden toimivuutta. Palvelut sisältävät sähkö-,

rata- ja turvalaitteiden tarkastuksen ja huollon. Tavoitteena on ennalta estää vikatilojen syntyminen huoltamalla laitteita säännöllisesti. [8, s. 9.]

Yhtiön radantarkastuspalvelut takaavat turvallisen ja sujuvan liikennöinnin. Radantarkastus perustuu mittausvaunujen tarkastustietokantoihin, joiden avulla voidaan havaita raiteen asentovirheitä ja mitata raidegeometriaa sekä tutkia ajolangan asentoa. Vauunuilla tehtävät tarkastukset ovat tärkeä osa radan kunnossapitoa. [8, s. 9; 10.] Kuvassa 1 on nähtävissä radantarkastusvaunu Plasser & Theurer EM 120.



Kuva 1. Radantarkastusvaunu tunnetaan yleisemmin nimellä Emma [10].

2.3 Teknologiakehitys ja mittaus

VR Track Oy:n Teknologiakehitys ja mittausosasto toimii suunnitteluosaston alaisuudessa. Teknologiakehitysyksikön vastuulla on uuden teknologian kehitystyö ja ohjaus. Kehitystyö painottuu erityisesti työkoneohjaukseen sekä mittaus- ja mallinnustekniikan kehittämiseen.

Mittauspalvelut työllistävät tällä hetkellä noin 40 mittausalan ammattilaista, joiden osaaminen kattaa kaikki rakentamisen ja suunnittelun tarvitsemat mittaukset. Rautateiden ja infrarakenteiden mittaukset kuuluvat mittauspalveluiden erikoisosaamiseen. Voidaankin sanoa, että mittauspalvelut ovat rautatie- ja infrarakentamisen hankkeissa yksi Suomen kokeneimmista alan toimijoista. Mittaustyössä käytettävät mittausvälineet edustavat alansa uusinta tekniikkaa. [11.]

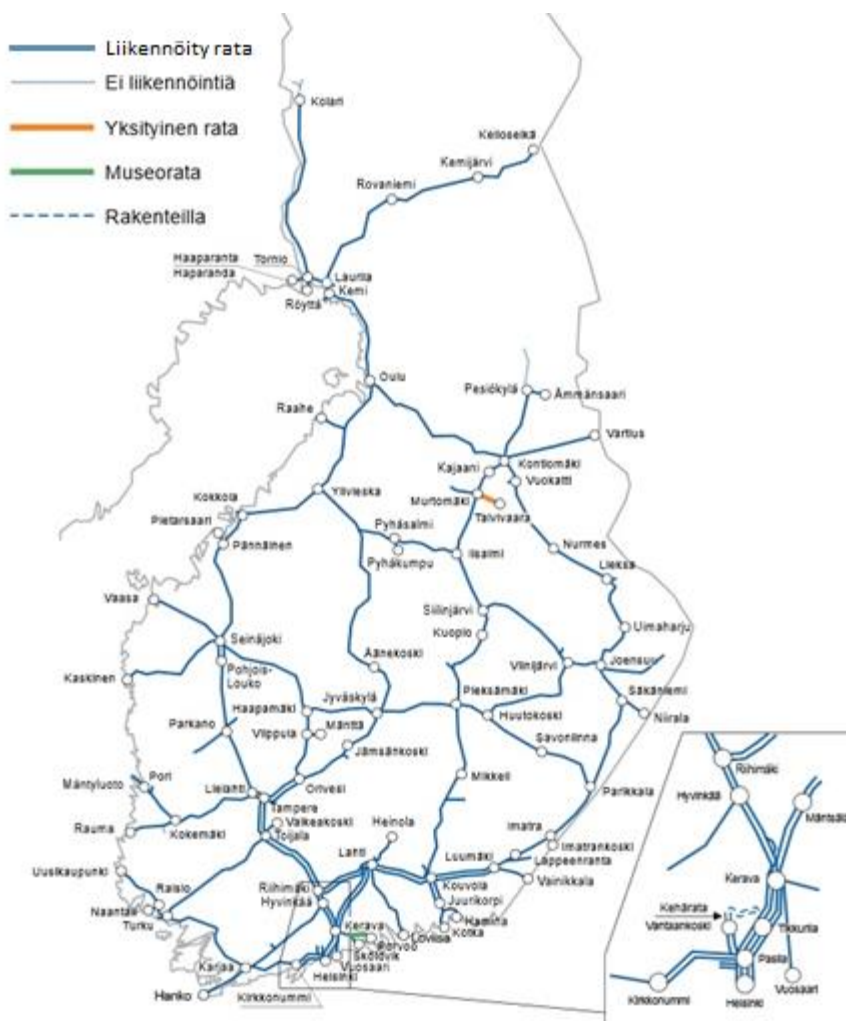
Mittauspalvelut tarjoavat muun muassa seuraavia tuotteita:

- Työkoneohjauspalvelut
- Työmaamittaukset
- Maastomallimittaukset
- Laserkeilaukset
- Erikoismittaukset
- Laadunvalvontamittaukset
- Geodeettiset mittaukset
- Estemittaukset
- Kaapelikartoitukset.

3 Suomen rataverkko

3.1 Yleistä rataverkosta

Suomen valtion rataverkko on 5 944 kilometriä pitkä. Sen ylläpidosta, kehittämisestä ja kunnossapidosta vastaa Liikennevirasto, joka huolehtii radan liikennöitävyydestä, liikenteenvälityksen tehokkuudesta ja turvallisuudesta. Rataverkon kunnostamiseen kuuluu vuosittain noin 200 miljoonaa euroa. [12.] Sen rakennetta voi tarkastella kuvasta 2.



Kuva 2. Suomen rataverkko [13].

Suomen rautatieliikenne alkoi vuonna 1862, kun Helsingin ja Hämeenlinnan välinen rataosuus vihittiin käyttöön. Kehityksen myötä höyryjunat ovat vaihtuneet dieselveturei-

hin, ja käyttöön ovat tulleet sähköjunat, joita varten on rakennettu nykypäivään tullessa 3 073 kilometriä sähköistettyä rataa. [2.]

Rataverkosta 90 prosenttia on yksiraiteista, mikä aiheuttaa haasteita junaliikenteen täsmällisyydessä. Vastakkaisista suunnista saapuvista junista toinen joutuu odottamaan kulkuvuoroaan kaksiraiteisella ohituspaikalla. Yksiraiteisuuden takia yhdenkin junan myöhästyminen aiheuttaa aikataulumuutoksia myös muissa junissa. [14.]

3.2 Radan geometria

Radan geometriaa käytetään raiteiden, ratalaitteiden ja radanrakennelmien teoreettisen sijainnin määrittämiseen mahdollisimman yksiselitteisesti, jotta sitä voidaan käyttää radanrakentamisessa, kunnossapidossa ja radan geometrian tarkastuksessa. Radan geometrian ymmärtämiseksi tässä luvussa esitellään Liikenneviraston julkaisemien ratateknisten ohjeistusten ja määräysten sisältöä.

3.2.1 Ratakilometrijärjestelmä

Ratakilometrijärjestelmän tarkoituksena on määrittää yksiselitteisesti eri rataosien sijainti toisiinsa nähden. Järjestelmä toimii ratasuunnittelun ja radalla navigoimisen pohjana. RATO 13 määrittää ratakilometrin seuraavasti:

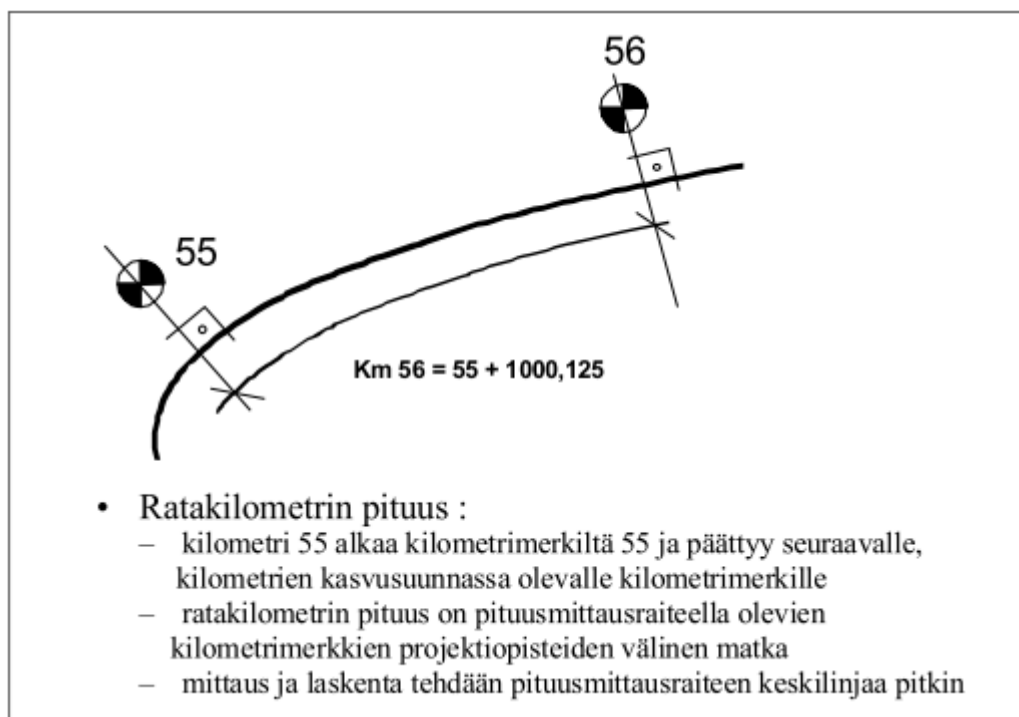
Ratakilometri on nimetty määrämittainen osuus. Sen pituus on kahden peräkkäisen kilometripylvään väli raidetta pitkin. Sen pituus voi poiketa 1000 metrissä. Ratakilometri on nimetty arvoltaan pienemmän kilometripylvään tunnuksen mukaan. [15, s. 11.]

Rataverkon rakentamisen seurauksena radan pituus saattaa muuttua esimerkiksi oikaisun takia. Edellä mainitusta johtuen ratakilometri voi poiketa 1 000 metrissä aina 500 tai jopa 1 500 metriin asti. Oikaisu saattaa lyhentää rataa niin, että osa kilometrinumeroista jää kokonaan pois. Tuolloin numerointia jatketaan oikaisua edeltävältä kilometrimerkiltä. Toisaalta rata voi pidentyä uuden ratalinjauksen johdosta, jolloin usealle kilometrille tulee sama kilometrinumero. Sekaannuksen estämiseksi samalle kilometrinumerolle osuvat kilometrit yksilöidään kirjaimin aakkosten ensimmäisestä kirjaimesta alkaen. Esimerkiksi ratakilometriä 75 ja 76 väliin rakennetaan uusi rataosuus, jonka

seurauksena edellä mainitun rataosuuden väli muuttuu kahden kilometrin mittaiseksi, jolloin uudet ratakilometrit nimetään 75A:ksi ja 75B:ksi.

Käytännössä ratakilometrijärjestelmä toteutetaan maastoon merkityillä kilometripylväillä, jotka sijoitetaan kilometrien kasvusuuntaan nähden radan oikealle puolelle. Pylväiden sijainti maastossa mitataan ja sijaintitiedot eli koordinaatit tallennetaan. Kilometrimerkkin tuhoutuessa tai siirtyessä määräävät mitatut koordinaatit uuden merkin sijainnin. Kilometripylvään tunnistaa maastossa kyltin valkoisesta pohjasta ja mustasta tekstistä.

Ratakilometriä mittaaminen suoritetaan pituusmittausraidetta pitkin, joka on yleensä linjaraide ja liikennepaikoilla läpikulkuraide. Radoilla saattaa olla myös useampia raiteita, esimerkiksi Etelä-Suomessa tällaisia rataosuuksia on monia. Pituusmittausraiteeksi määritetään ja nimetään jokin näistä raiteista. Ratakilometrin pituus määritetään projisoimalla kilometrimerkkien pisteet pituusmittausraiteen keskilinjalle ja mittaamalla näiden pisteiden todellinen matka vaakatasossa keskilinjaa pitkin. Korkeutta ei huomioida pituuslaskennassa. Esimerkki ratakilometrin mittaamisesta on nähtävissä kuvassa 3.



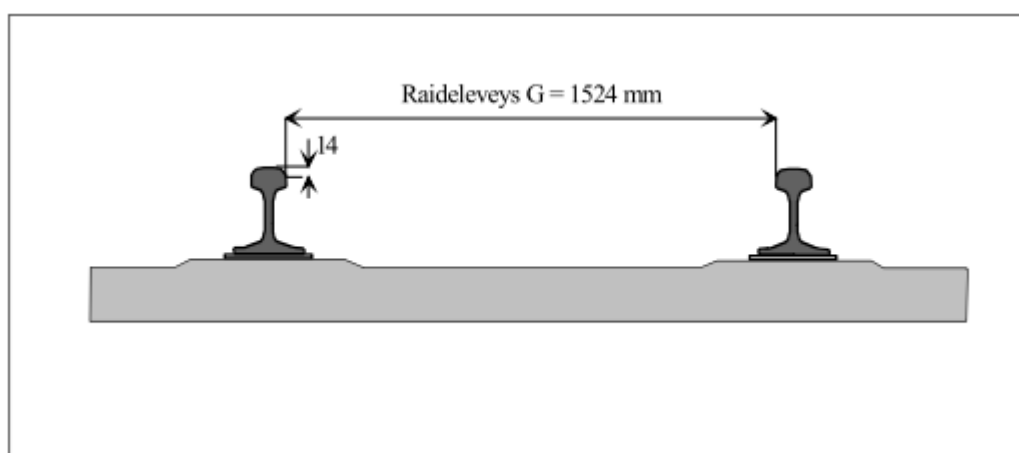
Kuva 3. Esimerkissä ratakilometri poikkeaa 1000 metristä ja ratapylväät on merkitty virheellisesti radan vasemmalle puolelle [16, s. 70].

Ratakilometri alkaa aina kilometripylväältä ja loppuu seuraavaan kilometripylvääseen. Pylväiden välistä matkaa kutsutaan mittausjaksoksi. Ratakilometrit määritetään geometrialaskennassa siten, että vaakamatkaelementit lasketaan yhteen xy-tasossa.

On huomioitava, että ratakilometrijärjestelmä toimii tarkan sijainnin määrittämiseen vain pituusmittausraiteella. Muilla raiteilla ratakilometrijärjestelmää voidaan käyttää vain karkeaan paikantamiseen. [16, s. 69–72.]

3.2.2 Raideleveys

Suomen valtion rautateiden raideleveyden nimellismitta on 1 524 mm kiskojen kulku-reunojen välillä. Raideleveys mitataan kuvan 4 mukaisesti 14 mm kiskon selän alapuolelta. Raideleveydestä käytetään lyhennystä G, joka tulee englannin kielen sanasta gauge.



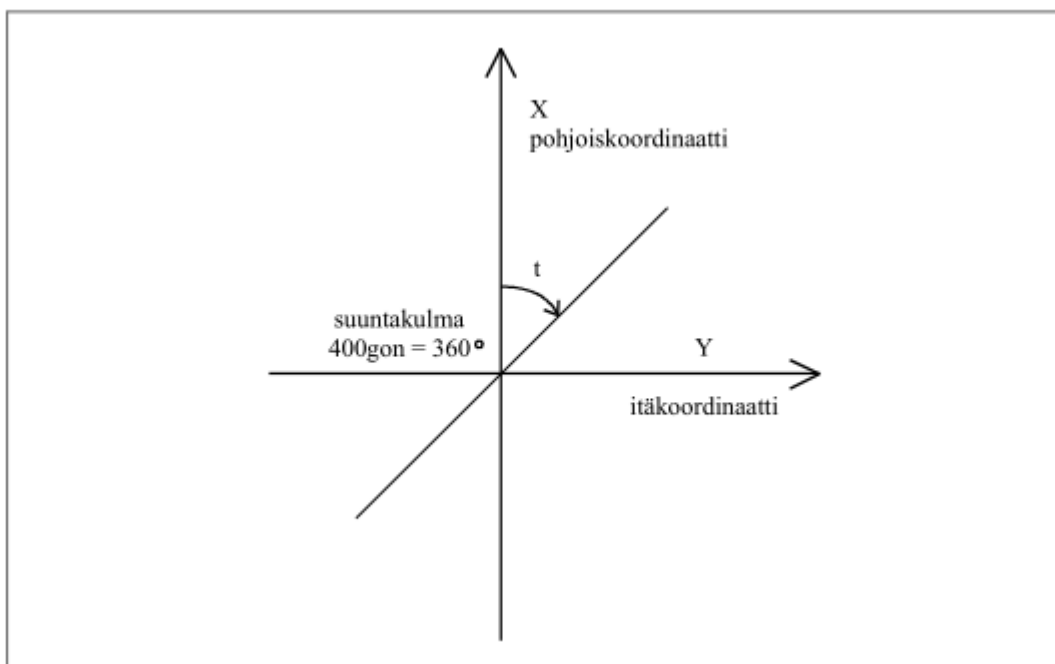
Kuva 4. Raiteen poikkileikkäuskuvassa määritetään raideleveyden nimellismitta [16, s. 18].

Raideleveyden nimellismittaa käytetään suorilla raiteilla ja kaarissa, joiden säde on suurempi kuin 220 metriä. Kaarissa, joiden säde on pienempi kuin 220 metriä, joudutaan käyttämään nimellismittaa leveämpää raideleveyttä. Ratateknisissä ohjeistuksissa määritetään vaihteiden raidelevitykset erikseen. [16, s. 18.]

3.2.3 Raiteen teoreettinen asema radan suunnittelussa

Radan suunnittelussa radan asema määritetään yleisesti käytetyssä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä. Yleisin käytössä oleva koordinaattijärjestelmä ratateknisissä mittauksissa on valtakunnallinen kartastokoordinaattijärjestelmä (kkj). Tulevaisuudessa EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmä tulee korvaamaan käytössä kkj:n. Lisäksi käytössä on valtion vanha järjestelmä (vvj) ja kaupunkien paikalliset koordinaattijärjestelmät. Korkeusjärjestelmistä käytössä on N60, joka tullaan korvaamaan N2000-korkeusjärjestelmällä. Ratamittauksissa voidaan käyttää myös N43- ja paikallisia korkeusjärjestelmiä. [16, s. 12, 62.]

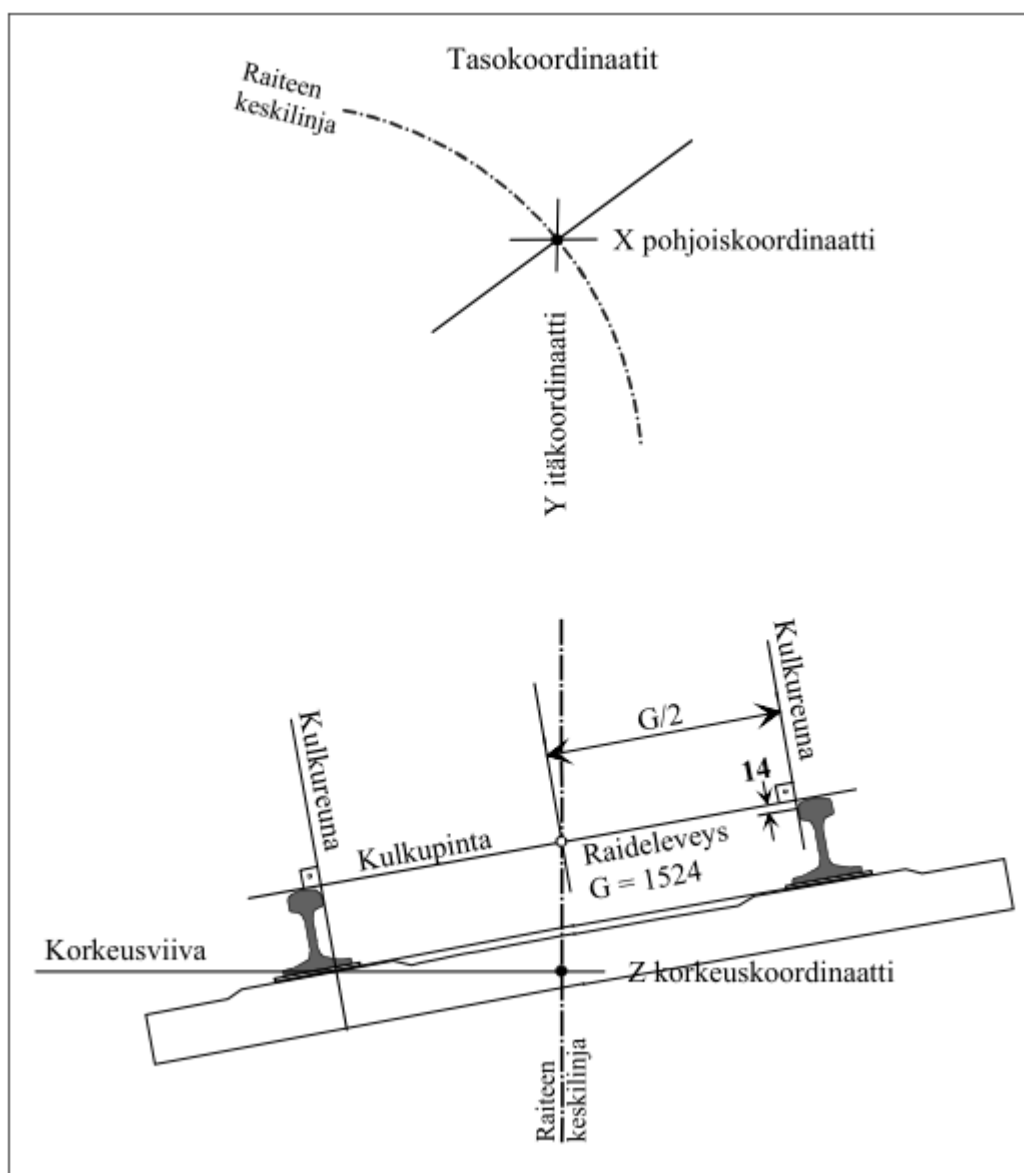
Raiteen aseman tasokoordinaatit määritetään geodeettisina koordinaatteina niin, että x on pohjoiskoordinaatti ja y on itäkoordinaatti. Tasokoordinaatisto esitellään kuvassa 5.



Kuva 5. Geodeettinen koordinaatisto [16, s. 12].

Raiteen sijainnin määrittämiseksi käytetään tasossa raiteen keskilinjaa ja korkeudessa korkeusviivaa. Raiteen kiskojen välinen keskikohta on molempien kiskojen johtoreunasta samalla etäisyydellä, joka on nimellismittaisessa raiteessa 762 mm eli puolet raidelevydestä 1 524 mm. Keskikohtaa pitkin kulkevaa linjaa kutsutaan keskilinjaksi.

Korkeusviivan avulla määritetään raiteen korkeus, joka mitoitetaan kiskon kulkureunan kohdalta aluslevyn tai välilevyn alapinnan tasosta. Suoralla radalla ja kallistamattomissa kaarteissa määritetään korkeusviiva toisen kiskon kulkureunan kohdalta. Korkeusviiva määritetään kallistetuissa kaarteissa alemman kiskon kulkureunan mukaan, kuten kuvassa 6 on nähtävissä. [16, s. 12–13.]

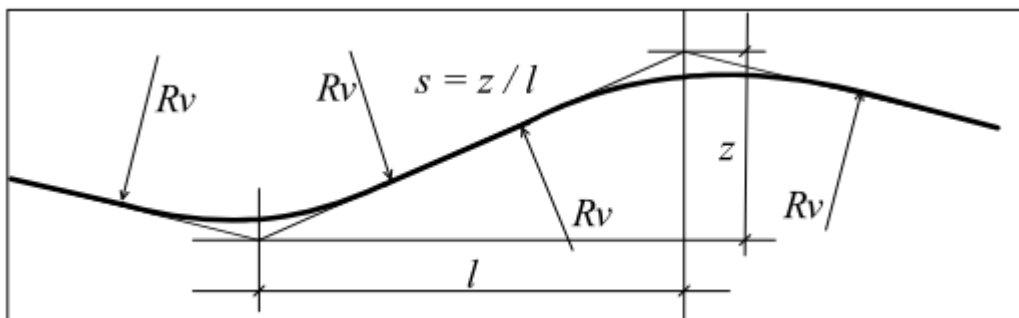


Kuva 6. Raiteen korkeus- ja keskiviivan määrittäminen kallistetussa kaarteessa [16, s.13].

Kuvassa 6 on esitetty kuva kallistetusta raiteesta. Raiteen kallistus määritetään kiskojen selkien välisenä korkeuserona. Kaarteissa raiteen kallistus tehdään korottamalla kaarteiden ulkopuolista kiskoja. [16, s. 9.]

3.2.4 Pystygeometria

Raiteen teoreettisen sijainnin määrittämisessä käytetään pysty- ja vaakageometriaa. Pystygeometria esitetään korkeusviivana, joka koostuu kaltevuusjaksoista ja pyöristyskaarista. Se muodostetaan korkeusviivan ja sen taitepisteiden avulla. Kuvassa 7 on esimerkki pystygeometriasta.



Kuva 7. Pystygeometriassa on nähtävissä kaltevuusjaksot ja pyöristyskaaret [16, s.20].

Korkeusviivan kaltevuusjakson pituuskaltevuus muodostuu kahden tangentialipisteen välimatkan ja korkeuden suhteesta siten, että l on pisteiden välinen matka ja $h(z)$ on pisteiden välinen korkeusero. Pituuskaltevuus lasketaan kaavasta $s = z / l$, jonka tulos ilmaistaan promilleina tai desimaalilukuna. Kuvassa 7 nähtävät pyöristyskaarresäteet (R_v) määrittävät pyöristyskaaren tangentialipisteiden paikat.

Pystygeometrian tarkoituksena on palvella liikenteessä olevia junia niin, että junat pysyvät hyödyntämään radan kaltevuuksia kiihdytyksissä ja jarrutuksissa. Rataosuudelle suunniteltu liikenne määrittää viime kädessä pituuskaltevuuden raja-arvot. Suunnittelussa onkin erityisesti huomioitava liikenteen tavoitteet, rakenteelliset vaatimukset ja ympäristöstä tulevat ehdot. [16, s. 20.]

3.2.5 Vaakageometria

Vaakageometria koostuu erilaisista geometrisista elementeistä, jotka määrittävät raitteen keskilinjan sijainnin vaakatasossa ja kaarteissa käytettävän kallistuksen. Vaakageometriassa käytettävät elementit jakautuvat suoriin, siirtymä- ja ympyräkaariin sekä vaihteisiin. Yhdessä eri ratojen elementit muodostavat matemaattisen mallin, jossa yhteen liittyneet elementit vaikuttavat toisiinsa.

Vaakageometriasuunnittelusta syntyvät elementtien sijaintitiedot, jotka ovat absoluuttisin koordinaatein määritetty sekä parametriarvot erilaisille elementeille, esimerkiksi kaarien sädearvot, kallistukset ja elementtien pituudet. [16, s. 20.]

3.2.6 Pääpistelaskenta

Pysty- ja vaakageometria määrittävät yhdessä raiteen teoreettisen sijainnin pysty- ja vaakatasossa. Näiden geometrioiden tiedot esitetään pääpistelaskentana, jossa määritetään pääpisteiden koordinaatit ja elementtien parametrien arvot. Pääpisteillä tarkoitetaan pisteitä, jotka yhdistävät eri elementit toisiinsa. Toisin sanoen pääpistelaskennan pisteet määrittävät elementin niin, että se alkaa pääpisteestä ja loppuu pääpisteeseen. Esimerkiksi suora alkaa pääpisteestä ja loppuu pääpisteeseen, josta alkaa siirtymäkaari, joka päättyy siirtymäkaaren pääpisteeseen. Toisaalta kaarissa kaarevuuspisteet katsotaan myös pääpisteiksi. Liitteessä 1 esitellään ote pääpistelaskennan listauksesta ja kuva vaakageometriasta niin, että elementit on värjätty samalla värillä pääpistelaskennassa ja kuvassa tulkinnan helpottamiseksi.

Geometria sidotaan koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään pakkopisteiden avulla, jotka ovat koordinaateiltaan tunnettuja pisteitä. Koordinaattijärjestelmänä käytetään pääpistelaskennassa esimerkiksi kartastokoordinaatistojärjestelmää. Koordinaattitietojen avulla pystytään käyttämään raidegeometriaa ratateknisissä mittauksissa. [17, s. 86.]

3.2.7 Aukean tilan ulottuma (ATU)

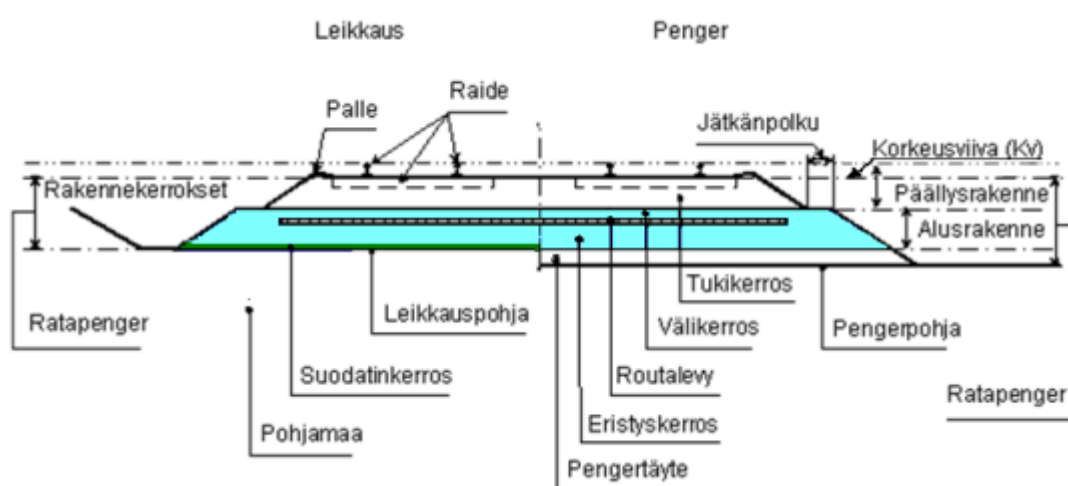
Junaliikenteen turvallisuuden takaamiseksi on määritetty aukea tilan ulottuma, jolla tarkoitetaan raidetta pitkin kulkevaa tilaa, jonka sisällä ei saa olla kiinteitä rakenteita tai laitteita. Radan aukea tila määritetään raiteen keskiviivaa vasten kohtisuorassa tasossa niin, että leveys saadaan vaakasuoran raiteen pystysuorasta keskiviivasta ja korkeus kiskon selän korkeudesta alkaen. [16, s. 47.]

Radan aukea tilan tulee olla leveämpi kaarteissa ja vaihteissa kuin suorilla osuuksilla, jotta rakenteet ja laitteet eivät osu radalla kulkevaan junaan. Lisäksi tavarajunat vaatii suuremmat ATU:n levytykset kuin matkustajajunat. ATU:n levytyksistä määrätään tarkemmin Liikenneviraston julkaisemissa ratateknisissä ohjeistuksissa. [16, s. 47.]

3.3 Radan rakenne

Liikennevirasto on julkaissut radan rakennetta koskevan ohjeistuksen, jossa määritetään, miten rata tulee suunnitella ja rakentaa. Hyvin tehty pohjatyö ja alusrakenne takaavat päällysrakenteen liikkumattomuuden sekä Suomessa maan routimisen vaikutusten minimoimisen.

Radan rakenne voidaan jakaa kolmeen osaan: pohjamaahan ja alus- sekä päällysrakenteeseen. Pohjamaata voidaan tarvittaessa vahvistaa pohjanvahvistustoimenpiteellä, jolla pystytään tiivistämään maakerrosta ja parantamaan sen teknisiä ominaisuuksia. Pohjamaan päällä on alusrakenne, joka koostuu välikerroksesta, tukikerroksesta ja tarvittaessa suodatinkerroksesta ja routalevystä. Maapohja ja alusrakenne tukevat niiden päälle tulevaa päällysrakennetta, joka koostuu tukikerroksesta ja raiteista. Tukikerroksen avulla raide pysyy geometrian mukaisessa asennossa, ja se jakaa liikenteen aiheuttaman kuormituksen alusrakenteen ja maapohjan kanssa. Tukikerros rakennetaan käyttämällä materiaalina raidesepeäliä tai raidesoraa. [18, s. 5–7.] Radan rakenteen poikkileikkaus on esitettyä kuvassa 8.



Kuva 8. Poikkileikkaus radan rakenteesta [18, s. 8].

4 Rautatievaihteet

4.1 Vaihde

Vaihteella tarkoitetaan raiteenvaihtopaikkaa eli liityntäkohtaa, jossa raiteet yhdistyvät toisiinsa ja liikenne voidaan ohjata raiteelta toiselle. Myös raideristeykset kuuluvat vaihteisiin. Vaihteet koostuvat kiskoista, pölkkyistä ja turvalaitetekniikasta, joiden kunto ja rakenne ovat avainasemassa matkustusmukavuuden takaamisessa. [19, s. 7.] Kuvassa 9 on nähtävissä Hakosillan vaihteita.



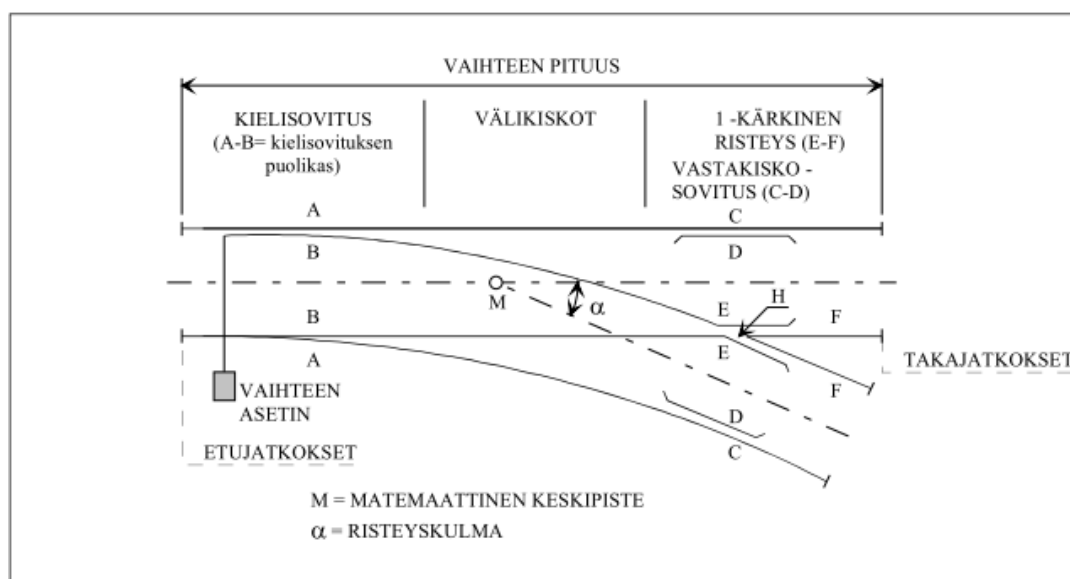
Kuva 9. Hakosillan vaihteet kuuluvat vilkkaasti liikennöidylle Oikoradan (Helsinki–Lahti) rataosuudelle [Kuva: Anton Aronen ©].

4.1.1 Vaihdetyypit

Rautatievaihteet jaetaan seuraaviin tyyppeihin: yksinkertaiset vaihteet (YV), kaksoisvaihteet (KV), risteysvaihteet (yksipuolinen YRV ja kaksipuolinen KRV) ja raideristeykset (RR). Edellä mainituista vaihteista yleisimpiä ovat yksinkertaiset vaihteet. Kuvassa 9 on nähtävissä vaihde, joka on tyypiltään yksinkertainen vaihde YV60-900-1:18-V. [19, s. 7.]

4.1.2 Vaihteen rakenne

Vaihteet koostuvat osista, joita esimerkiksi yksinkertaisessa vaihteessa ovat kielisovitukset, vaihteen asetin, välikiskot, 1-kärkinen risteys ja vastakiskosovitukset. Kuvassa 10 on osat merkitty kirjaimin niin, että A:lla on merkitty tukikiskot ja B:llä kielet. Ne muodostava yhdessä kielisovituksen, jonka avulla juna pystyy siirtymään raiteelta toiselle. C:llä on merkitty vastakiskojen tukikiskot ja D:llä vastakiskot. Yhdessä ne muodostavat vastakiskosovituksen. E:llä on merkitty siipikiskot, F:llä kärkikiskot ja M:llä vaihteen matemaattinen keskipiste. H:lla merkitään risteyksien kulkureunojen leikkauspistettä eli kuvassa olevan yksinkertaisen vaihteen tapauksessa suoran ja poikkeavan raiteen kulkureunojen leikkauspistettä. Risteyskulma α määrittää suoran ja poikkeavan raiteen välisen kulman. Se ilmoitetaan tangenttina eli suhdelukuna, esimerkiksi 1:9. [19, s. 9.]

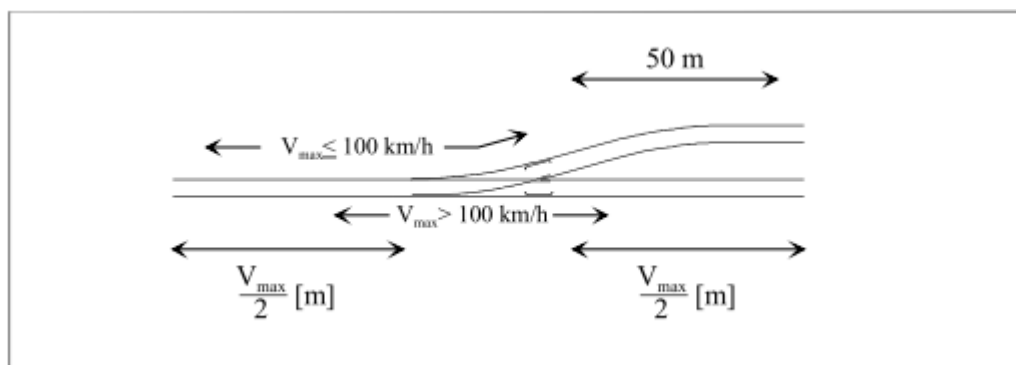


Kuva 10. Vaihteenosat eriteltyinä aakkosten mukaan [20, s. 8].

4.1.3 Vaihteen alue ja vaihdealue

Vaihteen alue voidaan jakaa kolmeen osaan, jotka ovat etu- ja takajatkosalueet sekä välialue. Etujatkosalue ohjaa liikenteen kielisovituksiin joko suoralle tai poikkeavalle raiteelle. Sen kohdalla raideleveys ja kiskon kallistus muutetaan normaaliraidetta vastaavaksi. Etujatkos- ja takajatkosalueen välissä on välialue, jossa välikiskot kulkevat. Välialueella suoran ja poikkeavan raiteen kiskot kulkevat niin sanottujen pitkien ratapölkkyjen päällä. Pitkiä ratapölkkyjä käytetään vaihteiden rakenteissa niin, että sekä poikkeavat ja suorat raiteet kulkevat saman yhtenäisen ratapölkyn päällä, jolloin raiteiden keskinäisen raidegeometrian toimivuus pystytään takaamaan. Takajatkosalueella raideleveys ja kiskon kallistus muutetaan jälleen normaaliraiteen mukaiseksi, jos vaihteessa raideleveys tai kiskon kallistus vaihtelee normaaliraiteesta. [19, s. 10–11.]

Vaihdealueeseen kuuluvat vaihteen alue ja sen etu- ja takajatkoksien ulkopuolelle jäävä alue. Ulkopuolelle jäävät alueet määritetään siten, että vaihteessa oleva nopeusrajoitus eli maksiminopeus, jolla juna saa ajaa vaihteeseen, jaetaan kahdella. Laskutoimituksen tuloksena saatu metrimäärä lisätään sekä etu- että takajatkoksille. Kuvassa 11 esitetään, miten vaihdealue määritetään vaihteelle, jossa nopeusrajoitus on alle 100 km/h.

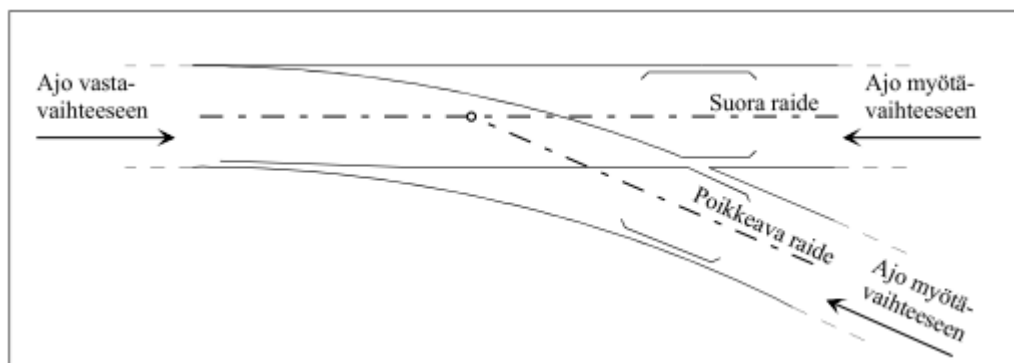


Kuva 11. Vaihdealueen määrittäminen yksinkertaiselle vasenkätiselle vaihteelle [20, s. 16].

4.1.4 Vaihteiden määrittely ja nimeäminen

Vaihteeseen voidaan ajaa joko myötä- tai vastavaihteeseen. Myötävaihteeseen ajettaessa kuljetaan takajatkosalueelta kohti etujatkosaluetta. Vastavaihteeseen ajo tapahtuu taas päinvastoin. Vaihteeseen tulotapa voidaan myös määrittellä niin, että vastavaih-

teeseen ajetaan, kun vaihteen kielenkärjet ovat ennen kielenkantoja. Kuvassa 12 selvitetään, miten ajo myötä- ja vastavaihteeseen tapahtuu.



Kuva 12. Ajo myötä- ja vastavaihteeseen [20, s. 10].

Vaihteet voidaan jakaa oikea- ja vasenkätisiin vaihteisiin. Oikeakätisessä vaihteessa (O) kuljettaessa vastavaihteeseen jää poikkeava eli haarautuva raide oikealle puolelle. Vasenkätisessä vaihteessa (V) poikkeava raide haarautuu vasemmalle. [20, s. 10.]

Kaikki vaihdetyypit nimetään ratateknisten ohjeistusten mukaan samalla tavalla, jotta sekaannuksilta vältyttäisiin. Esimerkiksi vaihteen YV60-900-1:18-V nimi muodostuu niin, että YV60 tarkoittaa yksinkertaista vaihdetta, jossa käytetään 60 kilogrammaa/metri painavaa kiskotyyppiä. Väliviivan jälkeinen arvo kertoo poikkeavan raiteen kaarteen säteen R, joka on 900 metriä. Joskus kaarresäteen jälkeen on merkitty kirjain N, joka tarkoittaa, ettei vaihteessa ole tehty raidelevyyden levitystä. Lisäksi kaarresäteen jälkeen saattaa esiintyä P-kirjain, joka ilmaisee, ettei kiskossa ole kallistuksia. Tämän jälkeen ilmoitetaan risteyskulma α , joka on 1:18. Viimeisenä kerrotaan vaihteen kätisyys, joka on tässä tapauksessa vasenkätinen (V). [20, s. 15.]

4.2 Vaihdegeometria

4.2.1 Vaihteiden pysty- ja vaakageometria

Vaihdegeometria koostuu pysty- ja vaakageometriasta. Vaihteet suunnitellaan niiden poikkeavalla raiteella ajettavan maksiminopeuden, suurimman sallitun poikittaiskiihtyvyyden ja nykäyksen mukaan. Nykäyksellä kuvataan kiihtyvyyden muutosta tietyssä ajassa, ja sillä on suuri merkitys matkustusmukavuudelle. Sitä pidetään matkustusmu-

kavuutta kuvaavana suureena. Vaihteiden suorat osuudet on suunniteltu niin, että niillä on mahdollista ajaa linjanopeuksia. Poikkeavalla raiteella nopeutta rajoittaa se, ettei sillä ole yleensä siirtymäkaaria ja raiteen kallistusta, jolloin nopeuden määrittää poikkeavan raiteen kaarresäde. [20, s. 24.]

Vaihteen vaakageometria koostuu esimerkiksi yksinkertaisessa vaihteessa suorasta linjaosuudesta sekä poikkeavan raiteen ympyränkaaresta. Kaksipuolisessa risteysvaihteessa ympyrän kaaria ja suoraa linjaosuuksia on useampia. Poikkeavalla raiteella on tyypillisesti vain yksi kaarresäde, mutta joissakin vaihteissa on myös useampia peräkkäisiä erisäteisiä kaarteita. Esimerkiksi yksinkertaisessa vaihteessa YV60-5000/3000-1:28 on vastavaihteeseen ajettaessa ensin siirtymäkaari, jolla pienennetään nykyistä ja parannetaan siten matkustusmukavuutta. [20, s. 18–19.]

Pystygeometriassa on huomioitava, että vaihteiden sijoittamista kaltevuustaitteisiin pyritään aina välttämään, koska kielisovitusten kohdalla taite vaikeuttaa kielien kääntymistä. Mikäli vaihde joudutaan sijoittamaan kaltevuustaitteen kohdalle, tulee pyöristyskaarresäteen olla taulukon 1 mukainen. Kaltevuuspyöristystä ei saa olla pitkissä vaihteissa, joiden risteyssuhde on 1:26 ja 1:28. [21, s. 120.]

Taulukko 1. Taulukossa on esitetty sallitut pyöristyskaarresäteet vaihdetyyppien mukaan [21, s. 120].

Vaihdetyyppi	Pyöristyskaaren säde koverassa taitteessa	Pyöristyskaaren säde kuperassa taitteessa
Lyhyt vaihde (risteyssuhde 1:7, 1:9, 1:9,514)	20 000 m	20 000 m
Pitkä vaihde (risteyssuhde 1:11,1, 1:14, 1:15,5, 1:18)	25 000 m	30 000 m
Pitkä vaihde (risteyssuhde 1:26, 1:28)	Kaltevuustaitteen pyöristyskaarta ei saa olla.	

4.2.2 Vaihteiden korkeusviiva

Vaihteissa tulee huomioida, että niissä käytetään välilevyjä, jotka ovat esimerkiksi 60E1-vaihteissa 6 mm paksuja ja 54E1-vaihteissa 4 mm paksuja. Välilevyjä käytetään vaihteissa kiskon ja vaihdealuslevyn välissä kaikkialla lukuun ottamatta kielisovituksis-

sa kielen liikkuvalla alueella. Kiskon ja välilevyn alapuolella on myös korkkikumivälilevy, joka on betonipölkkyvaihteissa 4 mm paksu. Vaihteissa korkeusviiva kulkee välilevyn alla. [16, s. 9; 20, s. 27.]

4.2.3 Vaihteissa käytettävät raidelevyydet

Erityyppisissä vaihteissa käytetään erilaisia raidelevyksiä. Linjaosuuksilla käytettävää raidelevyettä 1 524 mm käytetään myös vaihteiden suoralla raiteella. Ratateknisissä ohjeistuksissa todetaan, että kallistamattomassa kaarteessa, jonka kaarresäde on pienempi kuin 220 metriä, tulee tehdä raidelevitys. Vaihteiden poikkeaville raiteille raidelevityksistä määrätään erikseen vaihdetyyppien mukaan Ratateknisten ohjeistusten osassa 4 Vaihteet. Vaihteiden raidelevyydet vaihtelevat lisäksi tiettyinä vuosina valmistettujen vaihteiden osalta niin, että esimerkiksi YV54-vaihteet valmistettiin raidelevyyteen 1 534 mm aina vuoteen 1996 asti. [16, s. 18; 20, s. 17.]

5 Raiteen- ja vaihteentuenta

5.1 Tukemistyö

5.1.1 Tukemistyön periaate

Raiteen tukemistyöllä tarkoitetaan raiteen siirtämistä haluttuun geometriaan tiivistämällä päällysrakenteen sepelikerrosta ratapölkkyjen alle. Raiteet ja vaihteet tuetaan haluttuun asemaansa tuentakoneella. Tuennalla pystytään lisäksi korjaamaan raiteen asentovirheitä, jotka johtuvat esimerkiksi routapainumista tai raiderakenteen normaalista kulumisesta.

Tukemistyö onnistuu vain, jos päällyskerroksessa on riittävästi laadukasta sepeliä. Liikaantunut sepeli tai sen vähäisyys heikentävät tukemisen korjaavaa vaikutusta. Ihanetilanteessa sepeli on puhdasta, ja sitä on riittävästi, jolloin radan rakenteisiin kohdistuva rasitus jakaantuu tasaisesti eri rakennekerroksiin. Tuentatyö tehdään aina tuentakoneella. [22, s. 6–7.] Kuvassa 13 on vaihteentuentakone.



Kuva 13. Tuentakone tukemassa vaihdetta Vuosaaren satamassa kesällä 2013 [Kuva: Anton Aronen ©].

Tuentatyö suoritetaan aina vain tarpeen vaatiessa, koska tuenta heikentää sepelin laatua jauhattamalla sitä. Sepelin kulumista aiheuttaa lisäksi raiteilla kulkeva liikenne. Kulumisen seurauksena sepeli menettää kimmoisuus- ja jousto-ominaisuuksiaan. Siksi raidesepeli puhdistetaan tietyin väliajoin liasta ja huonokuntoisesta sepelistä. Poistetun materiaalin tilalle vaihdetaan uutta ainesta.

Kunnossapitotukeminen aloitetaan keväisin routa-ajan päätyttyä. Tuentatyötä ei saa suorittaa, jos routa ei ole sulanut, koska tuolloin tuennalla ei saavuteta pysyvää raiteen asentoa. Mikäli raidetta on tuettu ennen kuin routa on sulanut, joudutaan tukemistyö suorittamaan uudelleen roudan sulettua. [23, s. 14.]

Raiteen paikalleen tuennalle on määritetty nosto- ja sivusiirtorajat Liikenneviraston julkaisemissa ratateknisissä ohjeistuksissa. Rakennettavalle raiteelle maksiminosto on 100 mm ja sivusiirto on 100 mm. Karkeiden nostojen ja sivusiirtojen jälkeen saadaan raide tuettua haluttuun asemaan 20–50 mm:n nostoilla, jolloin saavutetaan optimaalinen tuentatuloks. Yli 40 mm ylittävät nostot tuetaan kahdessa osassa niin, että syvimät kohdat tuetaan ensin ja lopuksi koko työalue. [19, s. 141; 24, s. 31; 25, s. 32.]

5.1.2 Nuotittaminen ja mittaustyöt

Raiteen tuentatyö suoritetaan mittaustöiden avulla määritettyjen sivusiirtojen ja nostojen mukaan. Sivusiirtojen ja nostojen määrittämistä kutsutaan nuotittamiseksi. Nuotituksessa merkitään sivusiirtojen ja nostojen määrä ratakilometrien ja metrien mukaisille paikoille. Lisäksi maastotöissä merkitään ratapölkkyjen väliin paaluluvut, jotta tuentakoneenkuljettaja pystyy varmistumaan sijainnistaan. Mittaustyöt tehdään takymetrillä kartoituksena, jossa käytetään lähtöpisteinä absoluuttisia koordinaateiltaan tunnettuja pisteistä, joihin on sidottu kartoitettavan radan teoreettinen geometria. Siihen verrataan kartoituksesta saatavaa koordinaattitietoa, jonka perusteella nuotitus lasketaan.

Raiteen kartoitus ja nuottien teko on tarpeellista, kun rakennetaan uutta rataa tai kunnossapidetään vanhaa jo olemassa olevaa rataa. Lisäksi kartoitus ja nuotittaminen ovat välttämättömiä, kun raide ei ole geometrian mukaisessa asemassa, tuenta kohdistuu kunnossapitotasoltaan 1A- tai 1AA-tason radalle, tuetaan vaihde tai tuenta päättyy kiinteään esteeseen. [22, liitteet; 26, s. 14.]

5.2 Vaihteentuenta

Vaihteentuennassa käytetään vaihteentuentakoneita, jotka poikkeavat linjaosuuksilla käytettävistä tuentakoneista siinä, että niillä pystytään tukemaan myös vaihteita. Vaihte sisältää kääntölaite-, kosketin- ja vaihteenlukitsinpölkkyjä, joiden siirtämistä pituus suunnassa tulee välttää, jotta laitteet eivät vaurioituisi. Vaihteiden tarpeetonta tukemista on vältettävä.

Jos samalla vaihtealueella on useampia vaihteita, jotka liittyvät toisiinsa, esimerkiksi raiteenvaihtopaikalla, tulee kaikki tuettavat vaihteet kartoittaa ja nuotittaa samalla kerralla. Näin voidaan taata vaihteiden asentojen sopivuus toisiinsa nähden niin pysty kuin vaakasuunnassa. Vaihteen tuennassa nuotittaminen aloitetaan paikantamalla vaihteen korkein kohta, joka määrittää suurimman noston. Vaihteiden liikuttaminen sivusuunnassa on hankalaa sellaisilla alueilla, joissa vaihteiden geometriat kytkeytyvät toisiinsa. Siksi vaihteiden nuotittamisessa sivusiirrot määritetään mahdollisimman pieniksi. [22, liitteet.]

6 Vaihdemittaukset nykyisin

6.1 Raiteen sijaintitoleranssit

Ratatekniset ohjeistukset määrittävät sijaintitoleranssien raja-arvot uusille ja liikenteen käytössä oleville raiteille korkeus- ja vaakasuunnassa. Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty uusien raiteiden kunnossapitotyön vastaanotolle asetetut raiteen aseman laatuvaatimukset, jotka ovat suurimpia sallittuja poikkeamia. Edellä mainittuihin sijaintitoleransseihin on päästävä, jotta työ voidaan hyväksyä ja vastaanottaa. [27, s. 46.]

Taulukoissa esiintyvällä Jk-raiteella tarkoitetaan jatkuvakiskoraidetta, jossa kiskonpituus on yli 300 metriä. Jatkuvakiskoraiteessa kiskonpituuden muutoksia aiheuttavat lämpötilamuutokset on estetty niin, että vain kiskon päät pystyvät muuttumaan pituuttaan. Nykyisin käytössä olevia suurnopeusraiteita ei pystyttäisi toteuttamaan taloudellisesti ilman Jk-raiteita. Lk- ja Pk-raiteella tarkoitetaan lyhytkiskoraidetta ja pitkäkiskoraidetta. Lyhytkiskoraiteen kiskon pituus on alle 25 metriä, ja pitkäkiskoraiteen pituus on 25–50 metriä. [28, s. 5.]

Taulukko 2. Suurimmat sallitut korkeuspoikkeamat uudelle raiteelle [27, s. 47].

Suurin sallittu nopeus V_{\max} [km/h]	Korkeuspoikkeama [mm]	
	Jk-raide	Lk-/Pk-raide
$120 < V_{\max} \leq 220$	+ 10, -20	
$V_{\max} \leq 120$	+ 10, -30	+20, -50

Taulukko 3. Suurimmat sallitut vaakapoikkeamat uudelle raiteelle [27, s. 47].

Suurin sallittu nopeus V_{\max} [km/h]	Vaakapoikkeama [mm]	
	Jk-raide	Lk-/Pk-raide
$120 < V_{\max} \leq 220$	± 20	
$V_{\max} \leq 120$	± 30	± 50

Sijaintitoleranssit liikenteen käytössä olevalle raiteelle esitetään taulukossa 4. Taulukossa annetut arvot ovat maksimiarvoja. Havaittaessa toleranssien ylittäviä arvoja tulee poikkeamat korjata, jotta junaliikenteen turvallisuus pystytään takaamaan. [27, s. 49.]

Taulukko 4. Suurimmat sallitut vaaka- ja korkeuspoikkeamat liikenteen käytössä olevalle raiteelle [27, s. 49].

Suurin sallittu nopeus V_{\max} [km/h]	Sivupoikkeama [mm]		Korkeuspoikkeama [mm]	
	Jk-raide	Lk- / Pk-raide	Jk-raide	Lk- / Pk-raide
$120 < V_{\max} \leq 220$	± 50		+50, -150	
$V_{\max} \leq 120$	± 80	± 120	+80, -200	+100, -250

6.2 Mittaustyön laatutavoitteet

Ratahallintokeskuksen määrittelemä geodeettinen mittaustyöohjeistus vaatii, että mitauspoikkeama saa olla 1/3- vaaditusta rakennepoikkeamasta. Mittauspoikkeamalla tarkoitetaan mittauksissa käytettyjen kojeiden, lähtöpisteiden ja olosuhteiden vaikutusta tarkkuuteen. Tarkkuutta kuvataan luottamusvälillä, jonka perusteella voidaan todeta mittauksen olevan mitatussa sijainnissaan tietyllä todennäköisyydellä. Geodeettisissa mittauksissa on käytössä normaalijakaumaa käyttävä todennäköisyyslaskenta.

Mittauspoikkeama saa olla esimerkiksi uudella radalla, jossa nopeus on alle 120 km/h vaakatasossa ± 10 mm ja korkeuspoikkeama +3,3 mm ...-10 mm. Uudella radalla, jossa suurin sallittu nopeus on 220 km/h, ovat vastaavat arvot vaakatasossa $\pm 3,3$ mm ja korkeudessa +3,3 mm ...-6,7mm. [29, s. 21–22.]

6.3 Mittausperusta

Luvuissa 6.1 ja 6.2 esiteltiin radoille sallitut rakennepoikkeamat ja mitauspoikkeamat. Tiukkojen toleranssien saavuttamiseksi vaaditaan toimiva ja homogeeninen taso- ja korkeuskiintopisteistö, joka mahdollistaa tarkat mittaukset rataympäristössä. Edellä mainitulla kiintopisteillä tarkoitetaan mittausperustaa. Mittausperustaan kuuluvat kiinto-

pisteet liitetään valtakunnalliseen koordinaattijärjestelmään, esimerkiksi kartastokoordinaattijärjestelmän. [29, s. 10.]

Radan suunniteltu geometria sidotaan aina radan varrella oleviin kiintopisteisiin. Näin ollen laadukkaasti toteutettu mittausperusta takaa suunnitellun raidegeometrian realisoitumisen maastoon. Mikäli mittausperustaa ei ole toteutettu asianmukaisesti ohjeistuksia ja määräyksiä noudattaen, ei siihen sidottu geometriatieto toteudu.

Mittausperusta toteutetaan noudattamalla hierarkia-ajattelua, jossa kiintopisteet mitataan aina korkeammasta kiintopisteluookasta alempaan kiintopisteluookkaan. Tasokiintopisteverkko on hierarkisesti jaettu eri luokkiin, jossa pääluokan I–III muodostavat valtakunnalliset kolmiopisteet ja paikallisten järjestelmien pääluokkien kolmiopisteet. Korkeuskiintopisteverkko koostuu Geodeettisen laitoksen 1. ja 2. luokan tarkkavaaitusverkosta sekä valtakunnallisen 3. luokan ja paikallisten korkeusjärjestelmien pääluokkien korkeuskiintopisteistä. [29, s. 12.]

Runkopistemittauksissa lähtöpisteinä voidaan käyttää I–III luokan peruspisteitä, joilla mitataan radan läheisyyteen 4. luokan pisteitä staattisella GNSS-mittauksella. 4. luokan kiintopisteille voidaan vaaita korkeudet kevennetyllä tarkkavaaitusmenetelmällä tai jonoaaituksella. 5. luokan eli alemman luokan käyttöpisteiden mittaaminen tapahtuu joko monikulmiojonomittauksena tai staattisena GNSS-mittauksena. Korkeuden määrittäminen 5. luokan pisteille tapahtuu jonoaaituksena. Korkeus voidaan määrittää myös trigonometrisesti, jos kartoitus tai maastomerkinäissä mittaus suljetaan korkeuskiintopisteeseen ja sulkuvirheet ovat tarkkuusvaatimusten mukaiset. [29, s. 12.]

Kiintopisteverkon suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa rataverkolla on huolehdittava, että 4. luokan kiintopisteitä esiintyy pistepareina 2–3 km:n välein ja 5. luokan pisteitä 300 metrin välein. 4. luokan pisteparia käytetään 5. luokan pisteiden mittaamisessa ja rakentamisessa. [16, s. 63.]

Ratamittauksissa käytettävät 4. luokan ja 5. luokan kiintopisteet on rakennettava niin, että niiden paikallaan pysyvyys, säilyvyys ja käytettävyys voidaan taata. Kiintopisteet on aina pyrittävä rakentamaan kallioon, maakiveen tai muuhun liikkumattomaan rakenteeseen. Kiintopisteet tulee rakentaa kiintopistepulteihin. 5. luokan kiintopisteet voidaan rakentaa maaputkiksi, mutta 4. luokan kiintopisteet vain poikkeustapauksessa.

Pääpainotuksena ratateknisissä ohjeistuksissa pidetään sitä, että 4. luokan pisteet rakennettaisiin paikkoihin, jossa voidaan taata kiintopisteiden liikkumattomuus ja säilyvyys. 5. luokan pisteiden rakentamisessa on huomioitava, että pisteitä pystytään käyttämään ratamittauksissa mahdollisimman hyvin. [16, s. 63.] Kuvassa 14 on nähtävissä kallioon rakennettu kiintopiste Oikoradalla.



Kuva 14. Kuvassa on kiintopiste, joka on rakennettu asianmukaisesti [Kuva: Janne Rantala ©].

6.4 Työpisteet

Usein ratamittauksia suoritettaessa tulee tilanne, jossa kiintopisteiden näkyvyys peittyy suurien työkoneiden liikkussa kojeen ja kiintopisteiden välissä. Siksi on syytä orientoida takymetri kiintopisteitä käyttäen ja kartoittaa esimerkiksi ratapylväisiin tai muuhun liikkumattomaan alustaan kiinnitettyjä työpisteitä, joita voidaan käyttää ratamittauksissa, kun kiintopisteiden näkyvyys on huono. Työpisteinä voidaan käyttää esimerkiksi tarrapisteitä. Lisäksi työpisteiden käytöllä säästetään mittaustyössä runsaasti aikaa, kun kiintopisteille ei tarvitse pystyttää erikseen tähyksiä.

6.5 Mittaukset suunnittelua varten

Geometriatietojen päivitystä ja vaihteiden uusimista varten tehdään kartoituksia, jossa vaihteen etu- ja takajatkokset sekä linja- että poikkeavat raiteet kartoitetaan kymmenen metrin välein. Vaihteiden kartoituksia hyödynnetään, kun esimerkiksi uusitaan vaihde ja halutaan tietää nykyisen vaihteen sijainti sekä elementtien mitat. [30.]

6.6 Asennusmittaukset

Vaihteen asennusmittaukset voidaan jakaa uusille rataosuuksille asennettavien vaihteiden mittaamiseen ja vanhojen vaihteiden uusimismittauksiin. Vaihteet pyritään aina asentamaan geometrian määrittämään sijaintiin. Hyväksi koettu tapa on käyttää takymetrin vertailulinjatoimintoa, jonka avulla voidaan projisoida suorakulmaisesti vaihteen etu- ja takajatkosten sijainnit radan viereen. Radan molemmin puolin lyödään puupaalut, joiden päihin laitetaan naulat etu- ja takajatkosten projektiopisteiden kohdalle. Toisaalta sidonnat ja projektiopisteet voidaan merkitä lähellä oleviin kiskoihin. Näin etu- ja takajatkosten karkeat vaakatasosijainnit voidaan määrittää käyttämällä linjalankaa sekä puupaaluihin tai kiskoihin merkittyjä sivumittoja. [31.]

Vaihteiden asennuksessa vaihde tuodaan usein kolmessa elementissä työmaalle, jotka ovat vaihteen kielisovitus-, välikisko- ja risteys-vastakisko-elementti. Pitemmissä vaihteissa voi välikiskoelementtejä olla useampiakin. Asennettaessa uusia vaihteita on aina hyvä mitata elementtien pituudet ja verrata niitä vaihteen linjapiirustuksissa oleviin suunniteltuihin mittoihin. Näin voidaan varmistua vaihteen sopivuudesta asennettavaan sijaintiinsa. Elementtien pituusmittaus voidaan tehdä esimerkiksi mittanauhalla. [19, s. 7.]

6.7 Vaihteen geometrian kunnossapitomittaukset

Vaihteen tuentaa varten tulee suorittaa vaihdealueen kartoittaminen. Vaihdealueeseen kuuluvat vaihteen alueen lisäksi etu- ja takajatkosten ulkopuolelle jäävät raiteet. Ulkopuolelle jäävät raiteet tulee kartoittaa etu- ja takajatkoksilta niin, että matka on metreissä vaihteessa vallitseva nopeusrajoitus jaettuna kahdella. Mikäli vaihteita on useampia,

jotka ovat etu- ja takajatkosten osalta niin lähekkäin, että niiden geometriat ovat yhteydessä toisiinsa, tulee kaikki vaihteet kartoittaa kerralla. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi ratapihat ja raiteenvaihtopaikat.

Vaihteen mittauksissa kartoitetaan vaihteen geometrian absoluuttinen sijainti niin, että korkeus- ja keskiviiva mitataan. Mitattua absoluuttista geometriaa verrataan geometrian teoreettiseen sijaintiin. Kartoitustyö tehdään sekä suorilta että poikkeavilta osuuksilta kymmenen metrin välein. Vaihteen etu- ja takajatkosten paikat tulee kartoittaa. Kartoitustyön aloituspisteen ratakilometrilukema sekä muut mitatut pisteet on syytä merkitä ratasepeliin pölkkyjen väliin niin, että tuentakoneenkuljettaja voi varmistua sijainnistaan. [32, s. 32.]

6.8 Vaihteen nuotittaminen

Kartoitusten pohjalta tehdään niin sanottu nuotitus, jossa määritetään vaihteen nostot ja sivusiirrot. Nuotitusta ohjaavat tuentatyön asettamat rajoitukset, joiden mukaan raidetta voidaan siirtää. Tuentatyössä perusnosto on vähintään 20 mm, jotta tuentatyöstä olisi raiteen pysyvyyden kannalta hyötyä. Läpituennassa maksiminosto on 50 mm ja kunnossapitotuennassa 70 mm. On myös huomioitava, että raidetta ei voida siirtää sivusuunnassa ilman nostoa. Raidetta voidaan siirtää sivusuunnassa maksimissaan 40 mm ilman kiskojen neutralointia. Kiskojen neutraloinnilla tarkoitetaan kiskoissa olevien jännitteiden purkamista ja kiskojen vapauttamista lämpötila-aluetta +12...+22 °C vastaavaan neutraalipituuteensa. [32, s. 31; 33, s. 27.]

Läpituennalla tarkoitetaan tarkkuusmenetelmällä tehtävää tukemistyötä, jossa tuettava raide on vähintään 200 metriä pitkä. Läpituennan pyritään saavuttamaan mahdollisimman yhtenäinen raidegeometria. Tarkkuusmenetelmällä viitataan takymetrillä tehtäviin kartoitusmittauksiin, joiden perusteella määritetään tuentatyössä tehtävät nostot ja sivusiirrot. Kunnossapitotuenta perustuu pääosin suhteelliseen menetelmään, jossa tuentakone suorittaa tuentatyön käyttämällä sen omaan mittauskantaan. Tukemisarvo on kunnossapitotuennassa yleensä alle 200 metriä. Sen tehtävänä on korjata radan tarkastuksessa havaitut virheet ja varmistaa siten junien turvallinen liikennöinti. [32, s. 8.]

Nuotituksessa tulee huomioida pystygeometrian taitteet, mikäli niitä on vaihdealueella. Tukemiskoneen ulottuvuuksista johtuen joudutaan sille laskemaan niin sanottu teoreettinen jatke, jotta tuenta saadaan suoritettua nostoarvojen mukaisesti. Teoreettisen jatkeen pituus on 20 metriä, jolloin se pystytään tekemään kaikilla tukemiskoneilla. Teoreettista jatkoa ei voida toteuttaa, jos ei tiedetä tuentasuuntaa. [32, s. 32.]

7 Raiteenmittausjärjestelmän käyttö vaihdemittauksessa

7.1 Amberg Technologies

Raiteenmittausjärjestelmän, Amberg GRP System FX:n, on kehittänyt Amberg Technologies. Sveitsiläiseen Amberg Group -yhtymään kuuluvalla Amberg Technologiesilla on 30 vuoden kokemus maanmittaus- ja infrarakentamisjärjestelmien kehittämisestä. Amberg Technologies on erikoistunut junaratojen, tunneleiden ja infrarakentamisen vaatimien maanmittausratkaisujen kehittämiseen. [34.]

7.2 Raiteenmittausjärjestelmä Amberg GRP System FX

Raiteenmittausvaunu Amberg GRP System FX sopii monipuolisesti erilaisiin ratamittauksiin. Raiteenmittausjärjestelmä koostuu raiteenmittausvaunusta TGS FX, joka sisältää antureita, joilla voidaan mitata raiteenleveys, kallistus ja matka. Käytöstä riippuen voidaan raiteenmittausjärjestelmä varustaa erilaisin moduulein, joilla voidaan suorittaa ratateknisiä mittauksia takymetrillä, laserkeilaimella, GNSS-satelliimittauslaitteilla tai suhteellisesti raiteeseen verrattuna.

Moduulivaihtoehtoja ovat GRP 1000, GRP 3000 ja GRP 5000. Moduuleista GRP 1000:lla pystytään suorittamaan ratamittauksia takymetrillä. GRP 3000 -moduulilla on samat ominaisuudet kuin GRP 1000:lla, mutta siinä on lisäksi Profiler 100 FX -lisälaitte, jonka avulla voidaan mitata rataympäristöä. GRP 5000 -moduulia käytetään laserskanauksessa. [35, s. 8–10; 36, s. 10–11.]

GRP 1000 -moduuli koostuu mittausvaunuun asennettavasta prismapylvästä GPC 1000:sta ja Leican pyöröprismasta tai 360° prismasta. Järjestelmään kuuluu lisäksi Panasonicin maastotietokone Toughbook CF-19, johon on asennettu Amberg Rail -mittausohjelmisto. Raiteen leveys- ja kallistusantureiden mitaamat arvot sekä takymetrillä mitatut koordinaattitiedot tallentuvat maastotietokoneen kiintolevyille. Mittausvaunu sisältää radiomodeemin, jolla muodostetaan yhteys takymetrin ja mittausvaunun välille. Raiteenmittausjärjestelmän kanssa voidaan käyttää Leican TPS-sarjan takymetrejä, joissa on automaattinen prisman seuranta sekä radiomodeemi. VR Track

Oy:n mittauspalveluilla on käytössään TS30-takymetri, jonka kulmamittaustarkkuus on 0,5". [35, s. 16–17; 36, s. 9, 24.]

Amberg Rail -ohjelmistolle lisensoidaan erilaisia sovelluksia aina tarpeiden mukaan. Sovellutuksia on yhteensä neljä, jotka ovat Survey, Slab Track, Tamping ja Clearance. Survey on tarkoitettu raiteiden kartoitustyöhön, raidegeometrian kartoittamiseen ja laadunvarmistukseen. Tamping-sovellus on optimoitu sepeliradan asennus- ja geometrian tarkastusmittauksiin. Mittaustiedoista voidaan edelleen laskea nuotitus raiteen tuentaa varten. [36, s. 13.]

7.3 Raiteenmittausjärjestelmän tarkkuus

Laitteenvalmistaja lupaa mittausvaunun sisäiselle geometrialle tarkkuudeksi 0.5 mm. Raideleveysanturille tarkkuudeksi on määritetty +/-0.3 mm ja kallistusanturille +/-0.5 mm. Jotta mittauksissa päästään edellä mainittuihin arvoihin, tulee mittausvaunun pyörien kulumista seurata. Jos pyörien halkaisijat kuuluvat alle suositusten tai pyöriin ilmaantuu kolhuja, tulee pyörät uusia. [35, s. 83.]

7.4 Raiteenmittausjärjestelmällä tehtävän mittauksen prosessi

Raiteenmittausjärjestelmällä suoritettava mittaus on kolmivaiheinen prosessi, joka koostuu mittauksien valmistelusta, maastomittauksista sekä mittauksien käsittelystä. Edellä kuvattu prosessi toteutetaan Amberg Rail -ohjelmistolla, jonka tämän hetkinen versio on 2.11.

Uuden mittauksen valmistelu koostuu projektitietojen syöttämisestä, raidegeometriatietojen ja lähtöpisteiden siirtämisestä sekä mittauksen määrittämisestä Amberg Rail -ohjelmistossa perustettuun uuteen projektiin. Maastomittaukset sisältävät ratamittaukset ja mahdolliset rataympäristömittaukset. Lopuksi mittaus tieto esilasketaan, tietoja analysoidaan, mittauksien tiedot käsitellään ja saadut tulokset tallennetaan haluttuun tiedostomuotoon. Tarvittaessa mittauksista voidaan tuottaa tulosteet, esimerkiksi nuotitusdokumentti. [36, s. 14.]

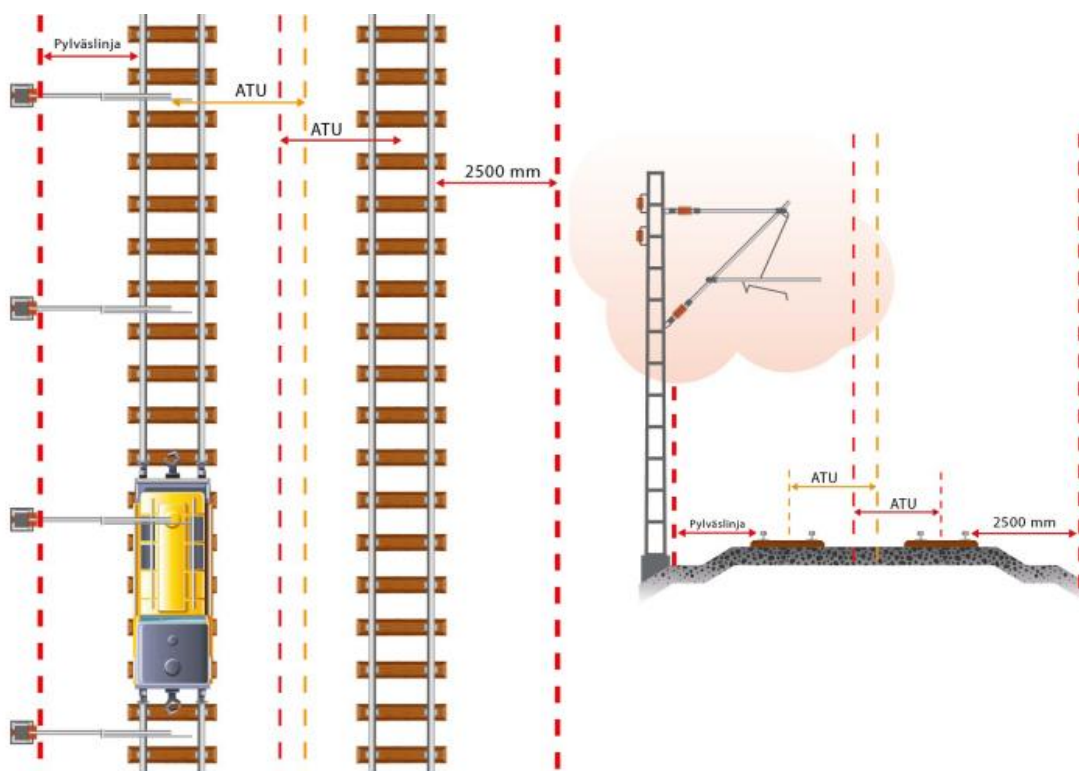
8 Vaihteiden testimittaukset

Vaihteiden testimittausten tarkoituksena oli selvittää raiteenmittausjärjestelmän soveltuvuus vaihteiden mittaamiseen. Testimittauksia suoritettiin kolmessa eri kohteessa, joista osa oli sekä uusia vasta rakennettuja että vanhoja liikenteen käytössä olevia rataosuuksia vaihteineen.

9 Turvallisuus

9.1 Rautatiealueella työskentely

Rautatiealueella työskentelevillä tulee aina olla työhön vaadittavat voimassaolevat pätevyudet. Pätevyyksillä taataan työntekijöiden turvallisuus rautatiealueella työskennellessä. Junaradalla tehtävissä mittaustöissä oikein järjestetyt turvatoimet ovat mittaustyön onnistumisen kannalta ensisijaisia, kun mittaustyön tekijän täytyy pystyä keskittymään turvallisuuden lisäksi myös mittaustyöhön. Rataympäristössä työskentely tulee aina mahdollisuuksien mukaan tehdä ratatyön suojaulottuman ulkopuolella. Lisäksi radan turhaa ylittämistä on aina vältettävä. Ratatyön suojaulottumalla tarkoitetaan raitetta pitkin ulottuvaa tilaa, jonka sisällä ei saa työskennellä ilman ratatyölupaa tai turvamiesmenettelyä. [40, s. 11,14.] Ratatyön suojaulottuma esitellään kuvassa 28.



Kuva 15. Ratatyön suojaulottuma [40, liite 1].

Radanpidon turvallisuusohjeet määrittelevät ratatyön suojaulottuman (RSU) seuraavasti:

Ratatyön suojaulottuman (RSU) reunan etäisyys on yksiraiteisella radalla 2,5 metriä lähimmästä kiskosta tai sähköradan pylväslinja. Useampiraiteisella radalla tai ratapihalla 2,5 metriä uloimpien raiteiden uloimmasta kiskosta tai sähköradan pylväslinja. Raiteiden välissä RSU on sama kuin aukean tilan ulottuma (ATU). [40, liite 1.]

Mittaustyö ratatyön suojaulottumassa voidaan tehdä, kun liikenteenohjaus on antanut luvan ratatyöhön tai käytetään turvamiesmenettelyä. Mikäli raiteen suurin sallittu nopeus on yli 140 km/h, ei turvamiesmenettelyä saa käyttää. Turvamiesmenettelyssä ratatyön turvallisuudesta vastaa turvamiespätevyyden omaava henkilö, joka on määrätty tehtävään. [40, s. 11.]

9.2 Raiteenmittausjärjestelmän turvallinen käyttö

Raiteenmittausjärjestelmän turvallinen käyttö ratatyössä tapahtuu ratatyöluvamenettelyllä. Tällöin liikenneohjaus järjestää liikennekatkon raiteelle, jossa työskentely tapahtuu. Mittausvaunulla voidaan työskennellä radalla myös turvamiesmenettelyllä, koska mittausvaunua ei katsota työkoneeksi. Mikäli mittausvaunun lisäksi käytetään takymetrivaunua, tulee työskentely ehdottomasti tehdä ratatyöluvalla. [36, s. 35.]

10 Yhteenveto

Amberg Rail -raiteenmittausjärjestelmä sopii hyvin erilaisiin vaihteiden mittaustöihin. Sen tuomat hyödyt vaihdemittauksiin ovat suurempi sisäinen tarkkuus verrattuna perinteisiin mittaamenetelmiin sekä raiteen asennosta saatava tieto. Raiteen leveyden ja kallistuksen mittaaminen perinteisin menetelmin on huomattavasti tehottomampaa kuin raiteenmittausjärjestelmällä. Vaihteiden mittaustyöt raiteenmittausjärjestelmällä eivät juuri poikkea linjaosuuksien mittaamisesta, vaan myös niissä tulee huomioida, että mittaustyö on tehty kalibroiduilla mittausrakenteilla hyvää mittaustapaa noudattaen.

Kaikissa radalla tehtävissä mittaustöissä työturvallisuus on taattava. Mittausvaunun kanssa liikkuminen radalla on hieman hankalampaa kuin perinteisen kartoitussauvan kanssa. Tästä johtuen mittaukset tehdään liikennöidyllä rataosuudella vain ratatyöluvan kanssa. Toisaalta edellä mainittu menettely takaa turvallisuuden parhaiten ja tekee mittaustyöstä miellyttävää, kun mittaustyöntekijä voi keskittyä paremmin työskentelyynsä. Vilkailla rataosuuksilla on parasta työskennellä öisin, jolloin liikenne on määrältään vähäistä. Yöllä työskentely parantaa mittaustyön laatua, kun erityisesti kesäisin lämpöväreily häiritsee mittauksia päiväsaikaan. Vaihteissa liikkumiseen tulee kiinnittää erityisesti huomiota, koska sen rakenteet ja laitteet vaikeuttavat siirtymistä enemmän kuin linjaosuuksilla.

Lähteet

- 1 VR-Yhtymä Oy. 2014. Verkkodokumentti. VR Group.
<http://www.vrgroup.fi/fi/index/vr_konserni_2.html>. Luettu 16.1.2014.
- 2 VR on 150-vuotias. 2014. Verkkodokumentti. VR Group.
<http://www.vrgroup.fi/fi/index/vr_konserni_2/historia.html>. Luettu 29.1.2014
- 3 Vuosiraportti 2012. 2013. Verkkodokumentti. VR Group.
<http://www.vrgroupraportti.fi/files/vr_ar2012/pdf/VRGROUP_Vuosiraportti_2012.pdf>. Luettu 29.1.2014.
- 4 VR Groupin osavuosisikatsaus 1.1.–30.9.2013. 2013. Verkkodokumentti. VR Group.
<<http://www.vrgroup.fi/attachments/5poaRIR4C/6KsEFpff1/OsavuosisikatsausQ3.pdf>>. Luettu 29.1.2014.
- 5 Arvot ohjaavat VR-konsernin toimintaa. 2013. Verkkodokumentti. VR Group.
<http://www.vr-konserni.fi/fi/index/vr_konserni_2/konserniesittely.html>. Luettu 29.1.2014.
- 6 Konserni. 2013. Verkkodokumentti. VR Track Oy.
<http://www.vrtrack.fi/fi/index/vr_track_oy/konserni.html>. Luettu 30.1.2014.
- 7 VR Track Oy – radanrakentamisen osaaja. 2013. Verkkodokumentti. VR Track Oy. <http://www.vrtrack.fi/fi/index/vr_track_oy.html>. Luettu 29.1.2014.
- 8 Yritystä ja vastuuta. 2013. Verkkodokumentti. VR Track Oy.
<http://www.vrtrack.fi/attachments/5mwwdMKvM/5ylnEpEJX/Yritysta_ja_vastuuta_2011.pdf>. Luettu 30.1.2014.
- 9 Radoilla ja ratojen ulkopuolella. 2013. Verkkodokumentti. VR Track Oy.
<<http://www.vrtrack.fi/fi/index/palvelut/maajasillanrakentaminen.html>>. Luettu 30.1.2014.
- 10 Radantarkastus. 2013. Verkkodokumentti. VR Track Oy.
<<http://www.vrtrack.fi/fi/index/kalusto/radantarkastus.html>>. Luettu 30.1.2014.
- 11 Cronvall, Timo. 2013. Markkinointiesite. Teknologiakehitys ja mittauspalvelut. 24.1.2013. VR Track Oy.
- 12 Rautatiet. 2013. Verkkodokumentti. Liikennevirasto.
<<http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/liikenneverkko/rautatiet>>. Luettu 5.2.2014.

- 13 Suomen rataverkko. 2011. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/aineistopalvelut/tilastot/rautatietilastot/rataverkko_keskeiset_ominaisuudet/Suomen%20rataverkko.pdf>. Luettu 10.3.2014.
- 14 Usein kysyttyä täsmällisyydestä. 2013. Verkkodokumentti. VR Group. <<http://www.vr-konserni.fi/fi/index/Tasmallisyys/useinkysyttya.html>>. Luettu 5.2.2014.
- 15 Ratatekniset määräykset ja ohjeet. Osa 13 Radan tarkastus. 2006. Verkkodokumentti. Ratahallintokeskus. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_13_radan_tarkastus.pdf>. Luettu 5.2.2014.
- 16 Ratatekniset ohjeet. Osa 2 Radan geometria. 2010. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2010-03_rato_2_radan_geometria_web.pdf>. Luettu 5.2.2014.
- 17 Laurila, Pasi. 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
- 18 Ratatekniset ohjeet. Osa 3 Radan rakenne. 2008. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_3_radan_rakenne.pdf>. Luettu 2.3.2014.
- 19 Nummelin, Markku. 1994. Rautatievaihteet: Kehitys, rakenne ja kunnossapito. VR-Pääkonttori, ratayksikkö. Mikkeli: Länsi-Savo Oy.
- 20 Ratatekniset ohjeet. Osa 4 Vaihteet. 2012. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-22_rato_4_web.pdf>. Luettu 25.2.2014.
- 21 Tutkimuksia ja selvityksiä: Raidegeometrian suunnittelu. 2011. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-22_raidegeometrian_suunnittelu_web.pdf>. Luettu 9.3.2014.
- 22 Plasser & Theurer. Tukemisteknologia: Raiteentukemisen periaatteita.
- 23 Ratatekniset määräykset ja ohjeet. Osa 15 Radan kunnossapito. 2002. Verkkodokumentti. Ratahallintokeskus. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_15_radan_kunnossapito.pdf>. Luettu 3.3.2014.
- 24 Päälysrakennetöiden yleinen työselitys. 2004. Ratahallintokeskuksen julkaisuja D16. Verkkodokumentti. Ratahallintokeskus.

- <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_d16_paallysrakennetoiden_yleinen_tyoselitys.pdf>. Luettu 4.3.2014
- 25 Päälysrakennetöiden yleiset laatuvaatimukset (PYL). Osa 2 Raidetyöt. 2000. Verkkodokumentti. Ratahallintokeskus. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_d8_pyl2_raidetyot.pdf>. Luettu 4.3.2014.
- 26 Ratatekniset ohjeet. Osa 14 Vaihteiden tarkastus ja kunnossapito. 2013. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-07_rato14_web.pdf>. Luettu 5.3.2014.
- 27 Ratatekniset määräykset ja ohjeet. Osa 13 Radan tarkastus. 2006. Verkkodokumentti. Ratahallintokeskus. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_13_radan_tarkastus.pdf>. Luettu 5.3.2014.
- 28 Ratatekniset määräykset ja ohjeet. Osa 11 Radan päälysrakenne. 2002. Verkkodokumentti. Ratahallintokeskus. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_11_radan_paallysrakenne.pdf>. Luettu 5.3.2014
- 29 D15 Geodeettiset mittaustyöt. 2003. Verkkodokumentti. Ratahallintokeskus. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_d15_geodeettiset_mittaustyot.pdf>. Luettu 5.3.2014.
- 30 Tuentapalaveri. 2014. Keskustelu 6.3.2014.
- 31 Rauhamaa, Timo. 2014. Mittaustyöntekijä. Puhelinkeskustelu 5.3.2014.
- 32 Luonnos ”Raiteen ja vaihteen tukeminen”. 2011. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. Luettu 3.3.2014.
- 33 Ratatekniset määräykset ja ohjeet. Osa 19 Jatkuvakiskoraiteet ja vaihteet. 1998. Verkkodokumentti. Ratahallintokeskus. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_19_jatkuvakiskoraiteet_vaihteet.pdf>. Luettu 9.3.2014.
- 34 Amberg Technologies. 2014. Company Overview. Verkkodokumentti. Amberg Group. <<http://www.ambergtechnologies.ch/en/about-us/>>. Luettu 10.3.2014.
- 35 User manual GRP System FX. 2008. Amberg Technologies.
- 36 Rantala, Janne. 2013. Käyttöönoton selvitys raiteenmittausjärjestelmälle. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

- 37 User guide. Amberg Rail 2.0 – Tamping. 2012. Amberg Technologies.
- 38 User guide. Amberg Rail 2.0 – Survey. 2012. Amberg Technologies.
- 39 Ratatekniset määräykset ja ohjeet. Osa 11 Radan päällysrakenne. 2002. Verkko-dokumentti. Ratahallintokeskus.
<http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_11_radan_paallysrakenne.pdf>. Luettu 23.3.2014.
- 40 Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO). 2012. Verkkodokumentti. Liikennevirasto.
<http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-01_turo_web.pdf>. Luettu 15.3.2014.

Esimerkki pääpistelaskennasta

ELEM.		RAIDE KUJA6								SIVU 13
		ALKUPAALU	Y-ALKU	Y-KULMA	T-ALKU	PITUUS	R-ALKU	VIISTEL.	V-VIISTE	VIISTE
		LOPPUPAALU	X-ALKU	X-KULMA	T-LOPPU	TG	R-LOPPU	VMAKS	V-VIISTE	VIISTE
		KM + M	Y-LOPPU	Y-KESKI	KULMA	PARAM	H-ALKU	VMIN	VTEOR	
		KM + M	X-LOPPU	X-KESKI	T-KLOT		H-LOPPU	VNYK	VNOR	
VAIHDE	V617	2812.476	57973.559	57988.997	124.1053	33.197	-300.000	0.	0.	
KAARI		2845.605	90458.876	90452.734	117.0608	16.615	-300.000	50.	0.	
		31 519.321	58005.019	58084.458	-7.0445	0.000	0.000	0.	0.	
		31 552.450	90448.334	90737.626	0.0000		0.000	0.	0.	
VAIHDE	V617	2845.605	58005.019	0.000	117.0608	1.199	0.000	0.	0.	
TAKAJ.		2846.797	90448.334	0.000	117.0608	0.000	0.000	0.	0.	
		31 552.450	58006.176	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.	0.	
		31 553.642	90448.016	0.000	0.0000		0.000	52.	0.	
SUORA	S	2846.797	58006.176	0.000	117.0608	5.120	0.000	0.	0.	
		2851.885	90448.016	0.000	117.0608	0.000	0.000	0.	0.	
		31 553.642	58011.113	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.	0.	
		31 558.730	90446.661	0.000	0.0000		0.000	0.	0.	

2 (2)

