



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Tuukka Halttunen

Mittaustoimi ratatyömailla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinööriytyö

23.4.2019

Tekijä Otsikko	Tuukka Halttunen Mittaustoimi ratatyömailla
Sivumäärä Aika	27 sivua 23.4.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	lehtori Ilkka Partonen
<p>Tässä insinöörityössä selvitetään radanrakennusprojektien rakennusvaiheita edeltävien ja työnaikaisten rakennusmittausten sekä rakennusvaiheiden jälkeisten tarkemittausten merkitystä projektin sujuvuuteen sekä työn laatuun.</p> <p>Radanrakentaminen on viranomaismääräysten sekä -ohjeiden tarkasti sääntelemää ja työssä avataan eri säännösten käytännön merkityksiä mittaustoimen kannalta sekä näiden puitteissa suoritettujen mittaustoimitusten merkitystä radanrakennusprojekteissa.</p> <p>Työssä tarkastellaan mittausteknisiä edellytyksiä tarkalle takymetryöskentelylle rataympäristössä sekä sen käytännön merkitystä osana nykyaikaisen radanrakentamisen toleranssivaatimuksia.</p> <p>Lisäksi käsitellään mittaustoimen työturvallisuutta raideliikenteen ja sähköistetyn radan vaikutuspiirissä.</p> <p>Työn tuloksena esiteltiin menetelmäkuvauksia liittyen radanrakennusprojektien kriittisiin työvaiheisiin mittaustekniikan näkökulmasta. Vaikka radanrakentamisen mittaustoiminta on viranomaismääräysten sääntelemää, ei sen vakiintuneita menettelytapoja ja toleranssien merkitystä ole käytännön esimerkein Suomessa koottu viranomaisjulkaisuihin.</p> <p>Työtä voi hyödyntää mittaushenkilö tai mittaustyöryhmä työskennellessään osana radanrakennusprojektia. Työ auttaa hahmottamaan mittaustoimen roolia osana toimivaa ja hallittua toteutusorganisaatiota rataa ja siihen liittyvää infrastruktuuria rakennettaessa.</p>	
Avainsanat	valvontamittaukset, mittaustoimi, radanrakentaminen, takymetri

Author Title	Tuukka Halttunen Surveying on Railway Worksites
Number of Pages Date	27 pages 23 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Program	Land Surveying
Instructors	Ilkka Partonen, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis studied the importance of pre-construction, construction and after-construction surveying of track construction projects for the management of the project and the quality of the work.</p> <p>Track construction is strictly regulated by guidelines and regulations, and this thesis looked into the practical impact of the various regulations on surveying. Furthermore the overall value of surveys conducted according to the regulations was studied.</p> <p>The thesis studied the preconditions for accurate surveying in the track environment, and the significance of accuracy for the tolerance requirements in modern railway construction.</p> <p>Furthermore, the work safety in surveying close to a railway and electrified track was discussed.</p> <p>The project described methods used in critical work phases of railway construction projects from the perspective of surveying, which had not been done previously although railway construction surveying is regulated by government regulations.</p> <p>The thesis can be utilized by a surveyor or a surveying group working in a railway construction project. The thesis will help to understand the role of the surveying operations as part of a functioning and well-managed implementation organization when constructing railways and related infrastructure.</p>	
Keywords	control surveying, surveying operations, railway constructing, tacheometer

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Valvontamittaukset osana radanrakennusprojektia	2
3	Mittaustoiminta ratatyömailla	3
3.1	Sijaintitiedot ja tarkkeet	3
3.1.1	Kaapelireitit ja alitusputket	3
3.1.2	Rakennekerrokset	5
3.1.3	Raide	7
3.1.4	Ratajohtopylväät	12
4	Mittaustekniikat ratatyömailla	14
4.1	Takymetrimittaukset	14
4.1.1	Takymetrin orientointi	17
4.1.2	Takymetrimittaustulosten dokumentointi	19
4.2	Rakennuslasermittaukset	20
5	Valvontamittaukset loppudokumentoinnissa	22
6	Junaturvallisuus ratatyömailla	23
7	Yhteenveto	25
	Lähteet	26

Lyhenteet

Jatkuvakiskoraide (Jk)	Raide, jossa kiskon pituus $l > 300$ metriä.
Keskilinja	Linja, jonka etäisyys raiteen molempien kiskojen kulkureunasta on sama (yleensä 762 mm).
Korkeusviiva (Kv)	Määrittelee raiteen korkeusaseman aluslevyn tai välilevyn alapinnan tasossa kiskon kulkureunan kohdalla.
Lyhytkiskoraide (Lk)	Raide, jossa kiskon pituus $l > 25$ metriä.
Nuotitus	Raiteen siirtoarvot nostoina ja sivusiirtoina, joiden mukaan raiteentukemiskone korjaa tuettavan raiteen asemaa.
Piirturituloste	Raiteentukemiskoneen piirturin tuottama mitta-analyysi tuetun raiteen symmetriasta.
Päälysrakenne	Radan rakenneosa, johon kuuluu sepelitukikerros ja raide.
Raideleveys	Etäisyys raiteen kiskojen kulkupintojen välillä, Suomen rataverkolla määritelty nimellismitta on 1 524 mm.
Rakennuslaser	Lasersädetä tuottava mittalaite tasojen sekä niiden kallistusten määrittämiseen.
RATO	Ratatekniset ohjeet
RSU	Radan suojaulottuma
Takymetri	Mittalaite, jolla mitataan vaaka- ja pystykulmia sekä etäisyyksiä.
Tukikerros	Radan rakenneosa, joka pitää raiteen geometrisesti oikeassa asemassa ja asennossa, jakaa kuormia alusrakenteelle sekä muodostaa raiteelle tasaisen ja

kantavan alustan. Materiaalina joko raidesepeli tai raidesora.

TURO

Radanpidon turvallisuusohjeet

Välikerros

Radan rakenneosana, joka muodostaa tukikerrokselle tasaisen ja kantavan alustan sekä estää tukikerroksen sekoittumisen alla oleviin rakennekerroksiin.

1 Johdanto

Opinnäytetyö tarkastelee radanrakennusprojektien mittausstoimen sovellusalueita sekä niiden käytännön merkitystä projektirakentamisen laadun kannalta. Työn laatiminen perustuu rataviranomaisten säännöksiin, urakoitsijoiden sisäisiin projektikansioihin ja työkokemukseeni sekä projektirakentamisen että mittausstoimen puolelta.

Työssä käsitellään rakennusaikaisia käytäntöjä radanrakentamisen yhteydessä työmaamittausten osalta. Lisäksi työssä käsitellään erilaisia raitinfralle spesifisiä tarkemittauksia sekä niiden merkitystä osana laadunvarmistusta sekä luovutusaineistoa.

Osana työtä perehdytään sekä junaturvallisuuteen että työmaiden yleiseen turvallisuuteen mittausstoimen näkökulmasta.

2 Valvontamittaukset osana radanrakennusprojektia

Valvontamittauksilla (tarkkeilla) varmistetaan työn korkealaatuisuus ja rakennettujen kohteiden sijaintien oikeellisuus. Mittaamalla voidaan todeta, ovatko mitattavat kohteet suunnitelmien mukaisesti rakennetut. Nämä tulokset on sisällytettävä valmistuneen työn luovutuksen yhteydessä työn tilaajalle luovutettavaan laatukansioon. Mittaustyö suoritetaan asianmukaisesti kalibroidulla mittauskalustolla ja kalibrointitodistukset niin ikään sisällytetään laatukansioon.

Ratainfraa rakennettaessa asennustoleranssit ovat hyvin tarkat, tyypillisesti millimetritasoa, suurissakin rakennuskohteissa, kuten suurnopeusradan, rautatievaihteiden ja ratajohtopylväiden asennuksissa.

Rakennusprojektien valmistuessa on niiden eri elementeistä, kuten raiteesta, ratateknisistä kohteista ja maan alle sijoitetuista kohteista, oltava saatavilla tarkat tiedot.

Lopullinen "Näin tehty" -kartta tai numeerinen tiedosto, sisältäen kaikki mahdolliset muutokset alkuperäisiin suunnitelmapiirroksiin nähden, valmistetaan rakennustöiden aikana ja niiden jälkeen. Tämä arkistoidaan. Tämänkaltaiset kartat ovat hyvin tärkeitä, erityisesti sisältäessään tietoja maanalaisista rakenteista. Tämä varmistaa sen että rakenteet ovat helposti paikallistettavissa mikäli tarve jatkossa niin vaatii. (1)

3 Mittaustoiminta ratatyömailla

3.1 Sijaintitiedot ja tarkkeet

Mittaustoimi mittaa asennettavien ja rakennettavien kohteiden teoreettiset sijainnit sekä merkitsee ne maaliviivoin tai korkolapuvin kohteeseen, minkä mukaan rakennustyöryhmät voivat toteuttaa laadukasta rakennustyötä, tilaajan edellyttämällä toleransseilla, joista kerrotaan tarkemmin tämän opinnäytetyön myöhemmissä vaiheissa. Työn suorituksen jälkeen mittaaja kartoittaa ja dokumentoi työnaikaiset toteutumat myöhemmin laatukansioon lisättäviksi.

3.1.1 Kaapelireitit ja alitusputket

Viranomaissäännökset määräävät kaapelikaivojen sekä -kanavien (kuva 1) sijainnin suhteessa RSU:aan (radan suojaulottuma). Tämän sisäpuolelle ei suunnittelija voi suunnitella rakennettavaksi mitään. Mittausryhmä merkitsee rakennettavat kaapelireititykset asianmukaisin linja- ja korkolapuvin maastoon, joiden mukaan on mahdollista rakentaa kaapelireitit kokonaisuudessaan suunnitelmien mukaisesti.

Runkokanavointi toteutetaan teräsbetonisilla kanavaelementeillä, joiden pituus on joko 2 tai 6 metriä. Elementtien pohjassa on soikeat reiät alitusputkia ja vedenpoistoa sekä jälkikäteen tehtäviä asennustöitä varten. Lisäksi elementin päissä on pontit, jotka lisäävät elementtien sivuttaisjäykkyyttä asennettuna. (2)



Kuva 1. Kaapelikanava ja -kaivo (3).

Asennusvaihetta edeltäen mittausryhmä merkitsee kaapelikanavan asennustason maastoon korkolapuun ja asennustyöryhmä huolehtii kanavan suunnitelmien mukaisesta linjauksen etäisyydestä suhteessa raiteeseen. Mittausryhmä suorittaa valmiista kanavareiteistä kartoitusmittaukset liitettäväksi luovutusaineiston laadunvarmennusdokumentteihin.

Kanavoinnissa kannelliset teräsbetoniset kanavaelementit sijoitetaan sähköratapylväsperustusten sisäpuolelle yhdensuuntaisesti lähimmän raiteen kanssa. Kanavaelementin sisäreunan ja lähimmän raiteen keskilinjan välisen etäisyyden on oltava vähintään 2,7 m. Kanavaelementti upotetaan radan välikerrokseen siten, että kanavaelementin kansi on suoralla vähintään 300 mm ja sisäkaarteiden puolella vähintään 400 mm lähimmän raiteen korkeusviivan alapuolella pölkynvaihdon ja sepelipatjan muotoilutöiden mahdollistamiseksi. Mitoista saa poiketa vain erikoistapauksissa RHK:n luvalla. (2)

Kaapelikanavat päättyvät kaapelikaivoihin (kuva 2), jotka on mitoitettu käyttökapasiteettinsa mukaisesti rakennettaviksi sisähalkaisijaltaan joko 1 500 mm:n, 2 000 mm:n tai 2 500 mm:n betonirenkaista. Kaivon sisäkorkeus suunnitellaan sellaiseksi, että henkilötyöskentely sen sisällä on mahdollista. Kunkin kaivon pohjan taso asennetaan mittatoimen merkitsemien korkolappujen mukaisesti, perustuen kaapelireittisuunnitelmiin. Kaivot on identifioitu ja varustettu kaivonumeroinnin osoittavalla kilvellä, joka asennetaan kunkin kaapelikaivon betonikanteen. Näiden numerointien mukaan laaditaan työalueen kaapelikaivoluetelo.



Kuva 2. Kaapelikaivo ja 110 mm:n kaapeliputkia (3).

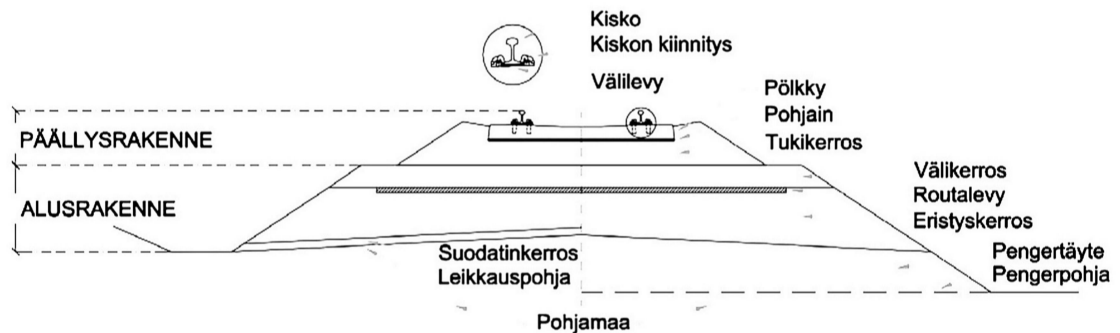
Kaapelikaivoista ja -kanavista kaapeloinnit viedään radan turvalaitteille sekä vaihteiden moottorinohjauksille. Näiden 110 mm halkaisijaltaan olevien kaapeliputkien asennussyvyyden on oltava vähintään Kv - 1 400 mm. Kv on raiteen korkeusviiva, raiteen suunniteltu korkeusasema mitattuna ratapölin ja aluslevyn välisestä tasosta. Mikäli asennuspaikalla kallio tai jokin muu kiinteä este estää kyseisen tavoitesyvyyden, on asennus silti suoritettava vähintään Kv - 1 000 mm -tasoon. Ellei tällainen asennus ole mahdollinen, on konsultoitava suunnittelijatahoa ja sovittava kaapeliputkituksen uudelleenlinjauksesta.

Kaapelireittien asennussyvyyksistä ja linjauksista laaditaan asianmukaiset ”näin tehty” -kuvat tai -kartat.

3.1.2 Rakennekerrokset

Radan rakennekerrokset rakennetaan Ratateknisten ohjeiden (RATO 3, radan rakenne) mukaisesti.

Rakennekerroksista muodostuu radan alusrakenne ja päällysrakenne (kuva 3). Alusrakenne pitää sisällään eristyskerroksen sekä välikerroksen routalevyineen. Päällysrakenne pitää sisällään radan tukikerroksen sekä itse raiteen. Tukikerros muodostuu pohja- ja pintasepelistä.



Kuva 3. Radan rakennekerrokset (4).

Radan rakennekerroksista ja niiden mitoituksista säännellään Ratateknisissä Ohjeissa. Näiden asennuksista mittausryhmä suorittaa työnaikaiset, täyttöjä ohjaavat mittaukset korkeus- ja linjamerkintöineen sekä kallistuksineen. Lopullisista rakennekerroksista suoritetaan tarkemittaukset laatudokumentteihin.

Radan lopullisen aseman ja radanrakennusprojektin aikataulun sekä talouden kannalta kriittinen osa rakennekerroksista on pohjasepelin ja raidepölliin välinen rajapinta.

Mittaus- ja rakennustyöryhmä varmistavat pohjasepeli-kerroksen yläpinnan sijoittumisen siten, että ratapölliin ja kiskoprofiiliin huomioiden pinnan taso jää 50–20 mm teoreettisen kiskonpinnan alapuolelle.

Uusi, rakennettava raide nostetaan ja sivusiirretään oikeaan asemaansa raiteentukemiskoneella ja tukemiskertoja edellytetään vähintään kaksi. Tällä varmistetaan tukikerrossepin tiivyydestä. Yhdellä tuentakerralla varmuutta ei saavuteta.

Mikäli pohjasepelin taso jättää nostovaraa yli 50 mm, tukemiskertoja joudutaan suorittamaan kolme. Raiteentukemiskoneen tuntihinta miehistöineen on konetyypistä riippuen 1 000–1 500 €/tunti, minkä vuoksi pohjasepelöinnin pinnan tasoa on tehtävä huolellisesti.

Mikäli pohjasepeli puolestaan jäisi jostain syystä ns. ”kovaksi”, eli lopputulos olisi korkeussuunnassa liian ylhäällä, on tilanne työläs ja kallis korjata. Raiteentukemiskone ei pysty painamaan raidetta alaspäin, vaan tuolloin tilanne täytyy korjata leikkaamalla pohjasepeliä jo asennettujen pölliä ja kiskoja alta.

Nykyisin suuret rakennekerrostöissä käytettävät pyöräkuormaajat on pääsääntöisesti varustettu satelliittipaikannukseen perustuvalla 3D-koneohjauksella tai laser-suunnatulla kauhan tason seurannalla, jolloin konetta saadaan ohjattua suunnitelmatietoihin nojaten kuljettajan ollessa reaaliaikaisesti tietoinen siitä, mihin tasoon kauha sepeliä tasaa. Silti mittaus-toimen on suoritettava työnaikaisia tarkemittauksia. Mahdolliset korjaavat toimenpiteet on helpompi ja edullisempi suorittaa ennen pölliä jakamista pohjasepeli-kerroksen päälle.

3.1.3 Raide

Pohjasepeli-kerrokseen mittausryhmä merkitsee maaliviivan kuvaamaan jaettavien ratapölliä sijoittumista. Ratapölliä jaetaan pölliäjakopäällä varustetulla kaivinkoneella siten että pölliä pää seuraa merkkiviivaa. Pölliäjakopää jakaa yhdellä laskulla 4–6 ratapölliä ja tasaa ne automaattisesti vastaamaan vaadittua 61 cm:n pölliäväliä.

Pölliäjaon jälkeen ratatyöryhmä nostaa kiskot pölliäpedille ja suoritetaan pintasepeliointi TKA-huoltoveturin liikuttamalla sepeliävaunuilla. Tämän jälkeen mittausryhmä suorittaa raiteen nuotituksen, jonka mukaan raskas raiteentukemiskone saa suoritettua raiteen tukemisen (kuva 4).



Kuva 4. Plasser&Theurer 4-S -linjatukemiskone (5).

Tukemisella tarkoitetaan raiteen saattaminen suunniteltuun vaaka- ja pystygeometriaan. Tukemiskone nostaa ja siirtää sivusuunnassa raidetta sille osoitettujen parametrien, eli mittaryhmän määrittämien nuottien mukaisesti, ja samalla sen tukemishakut puristavat raidesepelin tiiviiksi niin sanottuun tyhjätilaan, jonka raiteen nostotoimenpide on pöllien alle luonut. Hakujen puristettua tyhjätilan tiiviiksi sepelillä raide jää niille sijoilleen koneen irroittaessa otteensa raiteesta ja siirtyessä seuraavien pöllien kohdalle.

Tukeminen voidaan toteuttaa joko suhteellisella menetelmällä, jossa raiteen nostoja ja sivuttaissiirtoja ohjataan tukemiskoneen oman mittausjärjestelmän perusteella tai tarkkuusmenetelmällä, jossa tukemisen yhteydessä toteutettavat raiteen siirrot perustuvat ennalta tehtyihin mittauksiin, ns. nuotitukseen. Suhteellisella menetelmällä työskenneltäessä raiteen vaaka- ja pystygeometriaan jää jäännösvirheitä. Tukemiskoneen mittausjärjestelmän mittakantaperusteisuudesta johtuen suhteellinen menetelmä myös korjaa aallonpituudeltaan erilaisia virheitä eri tehokkuudella. Tarkkuusmenetelmällä työskenneltäessä myös pidemmän aallonpituuden virheet tulevat korjatuiksi, ja on mahdollista saavuttaa nuotituksen mukainen virheetön raidegeometria. (6)

Tukemiskoneella ei ole mahdollista suorittaa raiteen painamista alaspäin, vaan kuten edellä pohjasepelikerroksen määritelmässä todettiin, on liian korkealle asennetun pohjasepelöinnin tapauksessa sepelöintiä kaivettava alemmaksi pölliä alta.

Oikeellisesti asennettu pohjasepeli jättää tuettavalle raiteelle nostovaraa välillä 20–50 mm (kuva 5). Mikäli 20 mm:n miniminosto ei toteudu, ei tukikerrossepelillä ole riittävästi tyhjätilaa nostettavan pölliä alla, ja lopputulos saattaa jäädä huonosti tiivistyneeksi tai vaihtoehtoisesti raide saattaa nousta liiaksi.



Kuva 5. Pohjasepelikerroksen tasattua pintaa ja betonipöllinippuja Kerava–Lahti oikoratatyömaalla (7).

3.1.3.1 Nuotitus käytännössä

Ennen raiteen saattamista lopulliseen, suunnitellun raidegeometrian määrittelemään asemaansa, on koneellista tuentaa varten suoritettava raiteen nuotitus. Tällöin mitataan raiteen pysty- ja vaakageometrinen poikkeavuus suunnitellusta. Suomessa käytetään takymetrillä mitaten suoritettavaa nuotitusta.

Nuotitettaessa mitataan niin sanotun johtokiskon sijaintia. Kyseinen kisko mainitaan johtokiskona takymetrin mittaustiedoston ohessa, jolloin tukemiskonemiehistö on asiasta tietoinen koneelleen nuotteja syöttäessään.

Suorilla rataosuuksilla johtokiskoksi valitaan tyypillisesti tuentasuunnassa seuraavan kaarteen sisäkaarten kisko. Tämä sen vuoksi, että kaarreosuuksilla noston määrittävä johtokisko on sisäkisko ja sivuttaissiirron määrittää ulkokisko, jota vasten koneen sivuttaissuunnan mittapyörät painautuvat.

Tuettaessa tuotetaan silti aina symmetristä, raidegeometrian mukaista tuentajälkeä. Tällöin koneen sisäinen mittalaitteisto pitää huolen siitä, että johtokiskoa nostetaan nuotituksessa annettu millimetrimäärä ja toista kiskoa vastaavasti siten, että suorilla osuuksilla saavutetaan nollakallistus, jolloin molempien kiskojen yläpinnat ovat samalla korkeudella.

Nuotitettaessa raide mitataan 20 metrin välein, käyttämällä takymetrin prisma-auvan päässä kyseiseen kiskoprofiiliin sopivaa vastakappaletta. Nuotitus alkaa joltain tasan 20 metrin jaksolta ja nämä on etukäteen mittausryhmän merkattava, yleensä kiskon ulkoreunaan tai ratapölleihin. Merkintä on kyseisen ratakilometrin mukainen, esim. 96+060, 90+080, 90+100, jne. Näiden merkintöjen avulla sekä nuotittava mittaryhmä että nuotit tukemiskoneeseen syöttävä konetyöryhmä varmistuvat työn oikeellisuudesta geometriakorjauksen sijainnin ja noston sekä sivuttaissiirron suuruuden suhteen.

3.1.3.2 Lopputarkkeet

Raiteen tukemisen jälkeen mittausryhmä suorittaa lopullisen kartoitusmittauksen, eli mittaa raiteen niin sanotut lopputarkkeet.

Raiteen geometrinen symmetria varmistuu raiteentukemiskoneen tukemistyön aikaisella sisäisellä kontrollilla. Tästä tukemiskonemiehistö luovuttaa koneen tuottaman *piirturitulosteen*, joka toimitetaan työn tilaajalle loppudokumentoinnin yhteydessä.

Vaikka raiteen liikennöitävyys ja geometrinen symmetria saadaan dokumentoitua tukemiskoneen tarkedokumenteihin, ei niistä varmistu raiteen suunnitelmien mukainen sijainti.

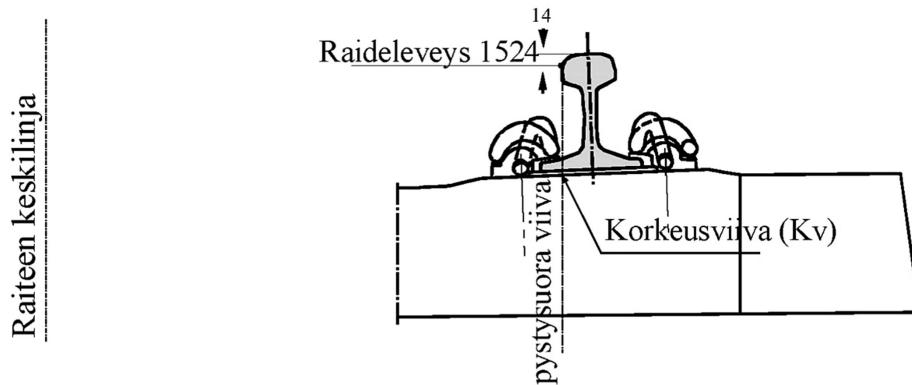
Raiteen sijaintia määrittää sen *keskilinja* sekä *korkeusviiva*. Teoreettinen, suunnitelmien mukainen asema ja lopputarkkeilla mitattu todellinen sijainti saavat poiketa toisistaan säädelyjen toleranssien verran. Nämä määräytyvät kyseisen rataosan luokituksen ja raiteen sallitun nopeuden mukaan (taulukko 1).

Taulukko 1. Raiteen suurin sallittu poikkeama uudelle tai kunnostetulle raiteelle. Lk-raide on lyhytkiskoraide ja Jk-raide on jatkuvakiskoraide. (8)

Raiteen nopeus	Sivupoikkeama (mm)		Korkeuspoikkeama (mm)	
	Lk-raide	Jk-raide	Lk-raide	Jk-raide
≤ 250km/h		± 20		+10...- 20
≤ 120km/h	± 50	± 30	+ 20...- 50	+10...- 20

Suomen rataverkon raideleveys on 1 524 mm. Raiteen keskilinja sijaitsee kiskojen kulkupintojen puolivälissä, eli 762 mm siitä reunasta, jossa raiteella liikkuvan kaluston pyörät kulkevat. Tämä huomioiden saadaan takymetrimittauksella kartoitettua raiteen toteutunut keskilinja mittaamalla prisma-auvan ja kiskoprofiiliin sopivan sapluunan avulla johtokiskon kulkupinnasta.

Korkeusviiva sijaitsee ratapöllin ja kiskon välissä sijaitsevan aluslevyn alapinnan tasossa sillä kohtaa, mihin kyseisen kiskon kulkureuna sijoittuu. Kiskoprofiilin korkeus huomioiden saadaan myös korkeusviiva kartoitettua samalla menetelmällä ja samasta kohtaa kuin keskilinjamittaus (kuva 6).



Kuva 6. Raiteen korkeusviiva (Kv) (9).

Raiteen kartoitus suoritetaan johtokiskon kulkupinnasta, joka on kaarrepaikoissa sisäkaarteen kisko, eli alempi kisko.

Takymetrillä mitattavien pisteiden välimatkat kartoitusmittauksissa ovat vakiintuneet siten, että suorilla osuuksilla mittaukset otetaan 20–60 metrin välein ja kaarteissa 10–30 metrin välein. Kerava–Lahti oikoradan lopputarkemittauksissa tilaaja velvoitti lopputarkkeet otettavaksi jaolla 20 metriä suorilla osuuksilla, 10 metriä kaarteissa. Kyseinen rataosuus on maassamme ainoa, jonka geometria on suunniteltu ja mitoitettu liikennöintinopeuksille 300 km/h, vaikka Suomessa käytettävän junakaluston vuoksi rataosuuden sallittu nopeus on 240 km/h.

3.1.4 Ratajohtopylväät

Ratajohtopylväiden ja -portaalien betoniperustusten asennusmittaukset ovat tarkkuutta ja huolellisuutta vaativia mittaustöitä. Vaativuudestaan huolimatta niitä suoritetaan sähköistetyin radan linjaosuustyömailla asennusvaiheessa rutiininomaisesti, sillä ratajohtopylväiden jänneväli on noin 60 metriä, maksimissaan 65–71 metriä, joten suurilla työmailla asennuksia saattaa olla useita vuorokaudessa.

Asennustyön kaivuuvaihetta varten mittausryhmä merkitsee tavoitellun asennustason ja kulmien sijainnit korkolapuilla sekä kulmaviivoilla siten, että lappujen puiset lyömäpaalut eivät ole kaivuutöiden esteenä vaan kyllin etäällä kohteesta. Kun oikea pohjan taso on saavutettu, mittaaja toimii yhdessä kaivinkonekuljettajan ja asennustyöryhmän kanssa, jotta pylvään asennuspeti saadaan tasattua täsmällisesti oikeaan tasoon. Lopullinen pohjan pinta valmistetaan 0–16 mm:n murskeesta

lapioimalla sekä tärylätkällä tiivistämällä. Ennen pylväsperustuksen (kuva 7) asentamista pohjan oikea taso varmistetaan mittaamalla korkolapusta vesivaa'an sekä mittanauhan avulla. Lisäksi pedin pinnan vaakataso varmistetaan pitkällä vesivaa'alla. Mittausryhmä merkitsee perustuksen kulmien sijainnit merkkusmaalilla murskepedille.



Kuva 7. Anturallinen pylväsperustus (3).

Turvallisuussyistä pylväsperustuksen laskuvaiheessa asennusmonttuun ei saa mennä, joten konekuljettaja laskee perustuksen maalimerkkien mukaiselle paikalle. Tämän jälkeen mittausryhmä tarkistaa pylvään tarkan sijainnin betoniperustukseen kiinnitettävän pylvään kierretapeista.

4 Mittaustekniikat ratatyömailla

4.1 Takymetrimittaukset

Suoritettaessa tarkemittaus takymetrillä tallentuvat kunkin kartoitetun pisteen sijaintitiedot (X-, Y- ja Z-koordinaatit) laitteen muistiin, josta ne puretaan toimisto-olosuhteissa tietokoneelle. Takymetrin tarkkuus sekä korkeus- että tasomitta-arvojen määrittämyskyky millimetritarkkuudella ovat ominaisuuksia, joiden vuoksi raiteen sijainnin valvontamittaukset suoritetaan nimenomaan sillä. X-, Y- ja Z-koordinaattien ollessa mukana, saadaan selville sekä kohteen korkeus- että tasosijainti.

- X- ja Y-koordinaatit ovat kohteen tasokoordinaatit ilmoitettavia komponentteja
- Z-koordinaatti on kohteen korkeuskoordinaatin ilmoitettava komponentti.

Vertauslinja-, tai monin paikoin käytetty termi tielinjaohjelma, viittaa takymetriin ohjelmoituun ohjelmistoon, jolla saadaan tarkasti määritettyä mitattavan kohteen, esimerkiksi raiteen nykyinen sijainti suunnittelijoiden suunnitelmiin nähden.

Raiteenmittauksen lähtötietoina käytetään raiteen geometriatietoja, joihin rakennettavan raiteen sijaintia verrataan. Nämä teoreettiseen laskentaan perustuvat suunnittelutiedot saadaan työn tilaajalta. Ratageometriatietojen suunnittelijana on pitkään toiminut VR Suunnittelu, mutta nykyisin ratatöiden tilaajat käyttävät myös muita suunnittelutahoja, kuten Pöyry Ratatekniikka sekä Ramboll Oy.

Takymetrillä raiteen nykyistä sijaintia mitattaessa tallentuu laitteen muistiin sekä nykyiset sijaintitiedot, että eroavaisuus tilaajan toimittamaan suunniteltuun raidegeometriaan. Tällä tavoin saadaan selville, mihin suuntaan ja kuinka paljon on raidetta siirrettävä, jotta se saadaan suunnitelmien mukaiselle paikalleen.

Vaikka takymetrimittauksella saadaan määritettyä, kuinka paljon raidetta olisi siirrettävä teoreettiseen, suunniteltuun asemaansa nähden, ei raidetta kuitenkaan käytännössä saada asettumaan millimetrin tarkasti suunniteltuun asemaansa. Uuden raiteen on oltava kuitenkin viranomaismääräysten toleranssien mukainen, jolloin varmistuu

turvallinen, matkustusmukava ja ratakalustoa sekä kiskoja säästävä liikennöinti raiteella.

Taulukko 2. Raiteen aseman korkeuspoikkeaman suurimmat sallitut poikkeamat uudelle tai kunnostetulle raiteelle. (8)

Suurin sallittu nopeus (sn) [km/h]	Korkeuspoikkeama [mm]	
	Jk-raide	Lk-raide
$120 < sn \leq 220$	+ 10, - 20	
$sn \leq 120$	+ 10, - 30	+ 20, - 50

Uusilla raiteilla vaakasuuntaisen aseman toleranssi suunnitellusta asemastaan on ± 10 mm (8).

Radan aseman tarkemittauksilla varmistetaan siitä, ettei projektin aikana ole käynyt mitoitus-, rakennus-, huolimattomuus- tai suunnitteluvirheitä.

Vaihealueiden tuentatyöt ovat eniten erityisosaamista ja -huomioita vaativa raidegeometrian osa-alue sekä mittausstoimen että itse tukemistyön kannalta. Rautatievaihteiden geometria pistemäisine kohtineen ja poikkeavine raiteineen vaatii erityistä ammattitaitoa verrattuna linjaosuuksilla työskentelyyn.

Vaihealueen (kuva 8) nuotittamisen on oltava tiheämpi kuin linjaosuuksilla. Ensimmäistä tuentakertaa varten nuotitetaan 10 metrin välein. Tuennan aloituskohta on merkittävä tarkasti, sillä sen avulla tukemiskoneen työnjohtaja saa aloitettua tuennan täsmälleen nuotituksen edellyttämältä kohdalta raidetta. Tukemiskoneen sisäinen mittausanalyysi ohjaa konetta tuottamaan mahdollisimman symmetristä tuentajälkeä säädettyjen maksiminostojen rajoissa.



Kuva 8. Rautatievaihde (10).

Vaihteentukemiskoneen noston tulee olla 20...50 mm. Mikäli nostoa on enemmän, vähennetään sitä tasaisesti koko tuettavalla vaihdealueella. Mikäli nostojen suuruus vaihtelee yli 40 mm, on nosto tehtävä kahdessa osassa siten, että ensin tuetaan eniten painuneet alueet ja sen jälkeen koko vaihdealue. (6)

Vaihdealueet tuetaan 2–3 kertaa ja nuotitetaan aina tuentojen välillä. Viimeinen nuotitus vaatii mittausryhmältä erityistä tarkkuutta. Vaikka vaihde on valmistettu tehtaalla toleranssien mukaisesti ja asennettu oikein menetelmin, saattaa tuentakone automatiikastaan huolimatta jättää vaihteen pistemäisiin kohteisiin siirtoa tai nostoa. Tällaiset kohteet mittausryhmän on havaittava silmämääräisesti viimeisiä nuotteja laatiessaan.

Näitä pisteitä ovat risteysalue ja vaihteen toiminnan kannalta välttämättömien kääntölaitteiden ja kääntöavustinten kohdat. Risteysalueella tukemisen hankaluus johtuu risteuksen leveydestä, jolloin tukemishakut eivät edes vaihteentukemiskonetta käytettäessä pääse kunnolla tiivistämään sepeliä suoraan risteuksen alle. Kääntölaitteiden kohdalla ongelma liittyy laitteiden käyttö- ja tarkistustankojen sijaintiin kahden vaihdepölkyn välissä, jolloin tukemishakkuja ei voida tuettaessa työntää kyseisten pölkkyjen väliin ja pölkkyt

joudutaan tukemaan toispuoleisesti vain toiselta puolelta. Muutenkin jäykkyydeltään ympäröivästä raideosuudesta poikkeavassa vaihteessa edellä mainitut risteyksen ja kääntölaitteiden kohdat kielen kärjen lisäksi aiheuttavat vaihdealueen sisäisen jäykkyyden epäjatkuvuuskohdan, joissa dynaaminen kuormituslisä on merkittävä. Näiden epäjatkuvuuskohtien ollessa vielä mahdollisesti heikosti tuettuja tukemisen hankaluudesta johtuen on radan komponenttien ja tukikerrosmateriaalin kuluminen näissä pisteissä huomattavaa. Tämä johtanee nopeasti virheiden ilmaantumiseen radantarkastusajoissa, jolloin vaihde tai jopa useampia vaihteita on tuettava koko alueeltaan yksittäisen virheen takia. Tämä taas johtaa tukikerrosmateriaalin hieman turhaan kulumiseen ja hienonemiseen kauttaaltaan koko vaihdealueella ”ylimääräisen” tukemisen takia. (6)

Mikäli edellämainituissa kohdissa esiintyy silmämääräisesti havaittavaa siirtoa, on viimeisen nuotituksen mittauskohtien käsitettävä myös nämä kohdat. Pelkästään 10 metrin mittausvälein edeten ei saada luotettavaa otantaa ja nämä pistemäiset geometriapoikkeamat saattavat jäädä mittauskohtien väliin.

4.1.1 Takymetrin orientointi

Rataympäristössä mittausperustan muodostavat monikulmiopisteet, jotka ovat värikkäällä muoviputkella maastoon merkattuja pultteja, jotka on pyritty sijoittamaan mahdollisimman liikkumattomaan alustaan. Tällaisena toimii tyypillisesti kallio, suurehko kivi, siltarumpu, jne.

Mittausperustan pisteet on valmistettu yleensä ratatyön tilaajan toimesta. Niiden lähtöpisteinä käytetään Liikenneviraston mittausohjeiden mukaisesti joko valtakunnallisia E1–E3 -luokan kolmiopisteitä tai lähimpiä jatkuvasti mittausdataa keräviä pysyviä, valtakunnallisen E1–E2 -luokituksen tukiasemia. (11)

Lähtöpisteitä on oltava vähintään kolme kappaletta, ja työkohteen mittausperustan on jäätävä kokonaisuudessaan niiden muodostaman kolmion sisään. (11)

Monikulmiopisteet ovat 100–400 metrin välein sijaitsevia, EUREF-FIN -järjestelmässä tunnettuja, E4–E6 pisteluokan mukaisia käyttöpisteitä (kuva 9). Niiden on sijoitettava siten, että vierekkäisillä pisteillä on keskinäinen näkyvyys. Pisteiden X-, Y- ja Z -koordinaatit jäävät pisteen tekijän ja mittausperustan tilaajan haltuun. (11)



Kuva 9. Monikulmiopiste rataympäristössä (12).

Näitä maastossa olevia tunnettuja pisteitä käytetään takymetrin orientointiin. Ennen kuin takymetrillä voidaan määrittää jonkin mitattavan kohteen sijaintia, on laite orientoitava. Orientointi tarkoittaa takymetrin oman sijainnin määrittämistä halutussa koordinaatistossa sekä karttapohjoisen määrittämistä todellisuutta vastaavaksi.

Orientoinnin jälkeen takymetrillä voidaan mitata ns. suuntakulmia. Karttapohjoista kohti tähdättäessä on vaakakulma tällöin nolla ja kasvaa kojeen vaakakehää myötäpäivään kierrettäessä. Koje laskee kartoitettavan pisteen X- ja Y-koordinaatit trigonometrian avulla, kun kojeasemapisteen X- ja Y-koordinaatit sekä havainnon vaakakulma ja -etäisyys tunnetaan. Koje määrittää kartoitettavan pisteen Z-koordinaatin tunnettujen arvojen (asemapisteen Z-koordinaatti, kojekorkeus, kartoituspisteen prismakorkeus sekä tähtäyksen pystyakselin kulma ja vinoetäisyys) avulla. Takymetri voidaan orientoida kahdella tavalla, määrittämällä kojeelle joko tunnettu tai vapaa kojeasemapiste.

Tunnelulle pisteelle orientoitaessa asennetaan takymetri kolmijalan varaan tunnetun maastopisteen (esimerkiksi em. kaltainen monikulmiopiste) päälle, kohdistetaan se täsmälleen pisteen kohdalle, tasataan ja mitataan vielä Z-koordinaatin ero pisteeseen, eli kojekorkeus, mittaamalla mittanauhalla etäisyys pistettä merkkäavan pultin pinnasta takymetrin vaaka-akselin korkeudelle sekä mitataan yksi tai useampi suunta monikulmiopisteelle tai -pisteille.

Vapaalle kojeasemalle orientointi tapahtuu kahden tai mittatarkkuuden parantamiseksi mieluummin useamman tunnetun maastopisteen avulla. Tällöin takymetri kohdistetaan vähintään kahdelle monikulmiopisteelle (liitospiste), joille on edellä kuvatun tunnetulle pisteelle orientoinnin tapaan asennettu prismat kolmijalkojen varaan. Näiden prismojen Z-koordinaatin ero pultin Z-koordinaatista, eli tähyskorkeus, on ilmoitettava takymetrille. Takymetri kohdistetaan vuorotellen kullekin prismalle ja koje lähettää kohteeseen infrapunasäteen, joka prismasta takaisin heijastuessaan antaa koneelle tiedon prisman sijannista ja takymetri laskee oman sijaintinsa ympäristön tunnetuille pisteille viedyiltä prismoilta keräämistään pysty- ja vaakakulmista sekä vinoetäisyyksistä.

Mittaustarkkuutta rajoittavia tekijöitä ovat ilman ja maanpinnan lämpötilaeroista johtuva ilman väreily sekä voimakas, puuskittainen tuuli. Rataympäristössä myös mahdollisten ohiajaviin junien ilmavirta on huomioitava mittaustuloksia sijoitettaessa. Kaikki edellä mainitut saattavat aiheuttavat vääristymiä mittaustuloksiin, jotka yhä korostuvat pitkillä mittaustuloksilla. Myös sumu ja tiheä vesisade voivat rajoittaa näkyvyyttä.

Näistä häiritseviksi tekijöistä tyypillisin on ilman väreily. Rataympäristössä raideseppeli on usein tummaa kivilajia, mikä korostaa lämpöväreily voimakkuutta. Sekä väreilyn että tuulen aiheuttama vääristymä mittaustuloksissa saadaan minimoitua suosimalla maltillisia piste-etäisyyksiä ja -olosuhteita. Asianmukaisen mittaustulosten monikulmiopisteiltä saadaan mitattua luotettavasti ajoittamalla mittaukset kovimpina hellepäivien aamu- tai iltahetkiin. Lisäksi prismakorkeutta kasvattamalla saadaan edelleen vähennettyä ilmanvärinän vaikutusta tähtäyksiin.

4.1.2 Takymetrimittaustulosten dokumentointi

Takymetrillä kerättyjen tarketietojen dokumentointia varten kojeen mittaustiedostot puretaan sen tallentimelta tietokoneelle GT-formaatissa. Tiedostot ovat numeerisia, eri mittaustulosten X-, Y- ja Z-koordinaattien sijaintitiedot sisältäviä kokonaisuuksia. Nämä paketit voidaan tallentaa sellaisenaan, työn kelpoisuuden todistaviksi dokumenteiksi. Tilaajalle toimitetaan edellyttämänsä mukaiset, laatukansiossa löytyvät valmiit Excel-taulukkopohjat täytettynä kerätyillä tarketiedoilla.

Tietoja voidaan käyttää myös erilaisten graafisten mallien luomiseen. Tämä tapahtuu erityistä ohjelmistoa (esim. 3D-Win) hyödyntäen, jolloin ohjelmalla työstetään numeerisia sijaintitietokokonaisuuksia kuvaava graafinen kuva.

4.2 Rakennuslasermittaukset

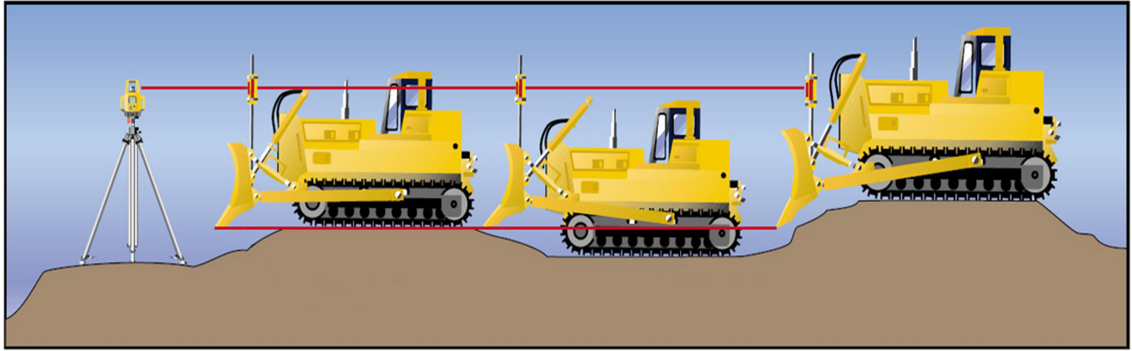
Pyöriväsäteinen laser on yksisäteinen laserlaite, joka pyörivällä optiikallaan ohjaa lasersädettä suunnan horisontaaliseen komponenttiin, luoden näin referenssipintoja halutussa tasossa (1, 24-2.1).

Pyöriväsäteinen laser, eli taso- tai kallistuslaser on siis laite, joka syöttää ympäristöönsä paljaalle silmälle näkymätöntä lasersädettä vaakatasossa tai määritellyllä kallistuksella. Rakennuslaserilla työskenneltäessä käytetään erityistä vastakappaletta, joka on liitetty kädessä kannateltavaan, millimetriasteikolla varustettuun sauvaan.

Rakennustyömailla laseria käytetään rakennekerrosten oikeaan korkeusasemaan ja oikeaan kallistukseen saattamiseen. Työskenneltäessä laser pystytetään sopivalle paikalle kartoitettavan alueen läheisyyteen siten, että lasersäteen tielle ei osu kiinteitä esteitä, vaan työalue on mitattavissa yhdellä laserin pystytyksellä. Laser tasataan huolellisesti ja kytketään päälle, jolloin se suorittaa itetasauksen ja saa näin syötettyä lasersädettä täysin horisontaalisesti. Mikäli rakennettavalle pinnalle on tarkoitus aikaansaada suunnitelmien mukainen kallistus, määritellään se tässä vaiheessa laserin käyttöliittymän kautta.

Modernit ja kalliimmat koneohjausjärjestelmät toimivat nykyisin GPS-ohjauksella ja virtuaalisilla 3D-mallinnuksilla, mutta radan rakennekerrosten suhteellisen yksinkertaisen rakenteen vuoksi on usein kustannustehokkaampaa käyttää laserohjattua järjestelmää (kuva 10). Tällöin mittausryhmä tai menetelmän tunteva koneenkuljettaja pystyttävät laserin tarkoituksenmukaiseen paikkaan, suorittavat tasauksen ja määrittävät mahdolliset kallistusparametrit. Laserin vastaanotin asetetaan koneen kauhaan tai terään. Koneen hytissä on vastaanottimen näyttöpaneeli, joka osoittaa kuljettajalle, missä tasossa rakennekerrosta tasaava koneen kauha liikkuu.

Näin meneteltäessä on mittaustoimen pystytettävä radan suuntaisesti kulkeva rivi korkokeppejä, joiden mukaan laserin parametrit saadaan syötettyä työn edetessä ja laserin sijoituspaikkaa siirrettäessä.



Kuva 10. Laserohjatun koneohjausjärjestelmän toimintaperiaate (13)

5 Valvontamittaukset loppudokumentoinnissa

Luovutettaessa rakennusprojekti työn tilaajalle on projektista valmistettava laatukansio. Kansioon kerätään kaikki projektin laadunvalvontadokumentit, joiden kautta tilaaja voi varmistua siitä että työ on tehty tietty laatutaso saavuttaen.

Valvontamittaukset ovat osa laadunvalvontaa, ja valvontamittausten tuloksena tuotetut tarkkeet edellytetään sisällytettäväksi laatukansioon.

Mittaustoimen osalta luovutusaineistoon liitetään seuraavat aineistot täytettyinä laatukansion lomakepohjiin, jotka toimivat sekä laadunvarmistuksena että osaltaan ns. ”näin tehty” -dokumentteina:

- kaapelikanavien sijainti
- kaapelikaivojen listaus, taulukossa kaivojen identifiointitieto, kaivon sijaintitiedot
- kaapeliputkireittien linjaukset, mahdollisine suunnitelmamuutoksineen, mahdolliset poikkeamat määrätystä asennussyvyydestä
- ratajohtopylväiden listaus, sijaintitietoineen
- rakennekerrosten tarkemittaukset taulukoituna
- raiteen ja vaihteiden tukemisten lopputarkkeet.

6 Junaturvallisuus ratatyömailla

Työskentelyn turvallisuutta rataympäristössä sääntelevät Liikenneviraston ohjeet, Radanpidon turvallisuusohjeet 7/2018.

Kaikkien rata-alueella työskentelevillä on oltava voimassaoleva pätevyys, jonka saa suorittamalla ratatyöpätevyyskurssin:

Rautatiealueella saavat liikkua vain ratatyöturvallisuuspätevyden (Turva) omaavat henkilöt työtehtävien niin edellyttäessä. Työturvallisuuskorttikoulutus edellytetään niiltä henkilöiltä, jotka tekevät ratatöitä tai rautatiealueella tehtäviä muita töitä. Perehdytys työhön, työmaahan ja sen olosuhteisiin on annettava kaikille rautatiealueella työskenteleville henkilöille. (14, s. 17.)

Radan suojaulottuman (RSU) sisällä työskenneltäessä on mittaustyö turvattava *turvamiesmenettelyllä* mikäli rataosan suurin sallittu nopeus ei ylitä 140 km/h. Lisäksi tällöin on työssä käytettävän kaluston oltava helposti radalta poistettavissa tehtävään määrätyn turvamiehen antaessa äänimerkin lähestyvistä junasta.

Turvamiestoiminnalla turvataan työtä, joka ei ole ratatyötä. Turvamiestoiminnan edellytyksenä on, että raiteen suurin sallittu työnaikainen nopeus on enintään 140 km/h. Turvamiestoiminta jaetaan eri menettelyihin sen mukaan, tehdäänkö töitä RSU:n sisä- vai ulkopuolella. RSU:n sisäpuolella turvamiestoiminnalla turvataan liikennöidyllä raiteella jalkaisin tehtäviä töitä. (14, s.38.)

Mikäli työskennellään radan suojaulottuman sisäpuolella ja käytetään vaikeammin siirrettävää kalustoa tai muulloinkin rataosan suurimman sallitun nopeuden ollessa yli 140 km/h on työskentely turvattava *ratatyölupamenettelyllä*. Tällöin kyseinen rataosa turvataan raideliikenne keskeyttämällä asianmukaisen pätevyiden omaavan ratatyölupapätevän henkilön toimesta.

Sähköistetyillä rataosuuksilla on huomioitava sähköradan jännitteiset osat. Ajolangoissa kulkeva 25 kV:n jännite saattaa tehdä valokaaren prisma-auvaan, joten radan jännitteisiin osiin on pidettävä 2 metrin minimiturvaetäisyys.

Tehtävään opastetun henkilön työskentelyn vähimmäisetäisyys ratajohdon jännitteisistä osista on kaksi metriä. Työskentelyn vähimmäisetäisyys on pienin ilmavälinä toteutettu työskentelyetäisyys, jonka pitää säilyä työntekijän kehon minkä tahansa osan tai suoraan käsiteltävän työkalun, työkoneen tai työssä tarvittavien aineiden ja muussa potentiaalissa olevan jännitteisen osan välillä. Työskentelyn vähimmäisetäisyys on säilytettävä työn aikana sekä työpaikalle tultaessa ja sieltä poistuttaessa. Tarvittaessa työskentelyalue on myös rajattava tai merkittävä selvästi. Työskentely jännitteisten rakenteiden yläpuolella on kielletty ilman sähkölaitteiston käytön johtajan lupaa. (14, s.18.)

7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä käytiin läpi radanrakennusprojektien käytännön mittaustoimenpiteitä. Mittaustoimen ja projektinhallinnan työkokemus ratatyömailta on osoittanut, että mittaustyöskentelyn pienikin huolimattomuus saattaa vaikuttaa merkittävästi koko projektiin.

Ratatöissä viranomaissäännökset määrittävät tavoitetoleranssit. Vaikka rakennettavat kokonaisuudet ovat usein suuria, hyväksytyt toleranssit ovat hyvin pieniä. Näin ollen ratatyömailta vaaditaan huolellisuutta, tietämystä sekä kokonaisuusien hahmotuskykyä. Näin luodaan edellytykset rakentaa laadukkaasti ja pysytään projektin aikataulussa sekä taloudellisissa tavoitteissa.

Usein mittaustoimi on osa isoilla resursseilla ja suurilla koneilla tehtäviä työvaiheita, jolloin mittausryhmältä edellytetään selkeitä toimintatapoja, ammatillista näkemystä ja sekä paineensieto- että yhteistyökykyä.

Mittaustoimella on keskeinen rooli radanrakennusprojektien mahdollisten suunnitelmamuutosten toteutumien sekä laadunvarmistuksen dokumentoinnissa. Radanpidon viranomaisten arkistoihin kootaan sekä laatudokumentit että ns. ”näin tehty” -aineistot.

Liikennöidyn sähköradan läheisyydessä työskenneltäessä on ehdottomasti noudatettava viranomaisten juna- ja sähköturvallisuusohjeita ja määräyksiä. Näihin perehdytään yksityiskohtaisesti järjestettävillä kursseilla, joiden suorittaminen antaa myös vaadittavat pätevyudet rataympäristössä työskentelyyn.

Lähteet

1. Wolf, Paul R. & Brinker, Russell C. 1989, Elementary Surveying. New York: Harper & Row.
2. Johtoteiden suunnitteluohjeet. 2001. Verkkoaineisto. Ratahallintokeskus. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rhk_b6_jihtoteiden_suunnitteluohjeet_web.pdf> Luettu 15.4.2019.
3. Rudus Oy:n verkkosivut. Verkkoaineisto. <www.rudus.fi> Luettu 18.4.2019.
4. Ratatekniset ohjeet. Osa 3 Radan rakenne. 2014. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2014-17_rato3_web.pdf> Luettu 11.3.2019.
5. Winco Oy:n verkkosivut. Verkkoaineisto. <www.winco.fi> Luettu 1.4.2019.
6. Raidegeometrian kunnossapito tukemalla ja tukemiskalusto Suomen rataverkolla. 2015. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2015-23_raidegeometrian_kunnossapito_web.pdf> Luettu 2.4.2019.
7. Karaste Janne. 2005. Verkkoaineisto. <www.commonswikimedia.org> Luettu 12.4.2019.
8. Ratatekniset määräykset ja ohjeet. Osa 13 Radan tarkastus. 2006. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf4/rato_13_radan_tarkastus.pdf> Luettu 8.3.2019.
9. Ratatekniset ohjeet. Osa 2 Radan geometria. 2010. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <<http://www.doria.fi/handle/10024/121406>> Luettu 18.3.2019.
10. Gudella. 2013. Verkkoaineisto. <<https://depositphotos.com/31813275/stock-photo-railroad.html>> Luettu 3.4.2019.
11. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot. 2017. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf> Luettu 18.3.2019.
12. Rantala Janne. 2017. Verkkoaineisto. <www.commonswikimedia.org> Luettu 9.4.2019.
13. Topcon Corp. Verkkoaineisto. <www.topcon.co.jp> Luettu 15.4.2019.

14. Radanpidon turvallisuusohjeet. Osa 7, 2018. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2018-07_turo_web.pdf> Luettu 15.3.2019.

