



Raitiotien päällysrakenteen laadunvarmistus ja todentaminen

Sini Saarinen

OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2025

Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

SAARINEN, SINI:
Raitiotien päällysrakenteen laadunvarmistus ja todentaminen

Opinnäytetyö 36 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Helmikuu 2025

Vuoden 2015 jälkeen raitiotierakentaminen on lisääntynyt runsaasti. Samalla on kehittynyt myös raitiotien laadulle asetetut vaatimukset ja laaduntodentaminen. Tämä opinnäytetyö käsittelee raitiotien laadunvarmistusta rakentamisen eri vaiheissa ja raitiotien lopullista laadun todentamista. Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Destia Rail Oy:lle.

Opinnäytetyössä perehdytään raitiotien päällysrakenteen osiin, radan rakennukseen, laadunvarmistukseen rakentamisen yhteydessä ja laadun todentamiseen rakennusvaiheessa ja sen jälkeen. Päällysrakennetta käsitellään pääasiallisesti kiintoraiteen alueella, mutta myös sepelirata huomioidaan. Päällysrakenteen laadullisesta tarkastelusta opinnäytetyössä on rajattu pois raitiotien pintarakenne ja radan sähkötekniset järjestelmät.

Lähdemateriaalina opinnäytetyössä hyödynnetään eri raitiotiekaupunkien suunnitteluohjeita ja raitiotiekaupunkien eri julkaisuja. Helsingin raitioiteita koskevista asiakirjoista osa on julkaisemattomia. Lisäksi opinnäytetyössä hyödynnetään tämän opinnäytetyön kirjoittajan työkokemusta Kalasatamasta Pasilaan -hankkeen toteutusvaiheesta.

Laadunvarmistus raitiotiehankeella on monivaiheinen. Laatua varmistetaan rakentamisen aikana ja juuri ennen ratalaatan valua sekä ratalaatan valun jälkeen. Lopulliset tarkkeet dokumentoidaan hankkeen vaatimin tavoin. Opinnäytetyössä on tuotu esiin erilaisia hankkeelta vaadittuja dokumenttiasiakirjoja kuten tarkemittauslomake, toleranssipoikkeamataulukko ja hitsiraportit. Lisäksi opinnäytetyössä käsitellään muun muassa näiden asiakirjojen sisältöä. Kehitysehdotus laadun todentamisen kannalta on laadun dokumentoinnin aloittaminen heti tietyn rataosuuden valmistuttua. Se helpottaa dokumentointiaineiston koostamista projektin loppupuolella.

Asiasanat: raitiotie, laadunvarmistus, päällysrakenne

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Civil Engineering

SAARINEN, SINI:
Quality Assurance and Verification of the Tramway Superstructure

Bachelor's thesis 36 pages, appendices 4 pages
February 2025

Over the past ten years, tramway construction has increased significantly. At the same time, the requirements set for tramway quality and quality verification have also developed. This thesis deals with tramway quality assurance in different stages of construction and the final quality verification of the tramway. The thesis was commissioned by Destia Rail Oy.

The aim of the study was to examine the parts of the tramway superstructure, track construction, quality assurance during construction and quality verification during and after the construction phase. The superstructure was mainly treated with a slab track structure, but the traditional wreath track was also considered. The qualitative examination of the superstructure excluded the tramway surface structure and the track's electrical systems.

Design instructions and other publications from different cities with tram infrastructure were used as source material in the thesis. Some of the documents concerning Helsinki's trams were unpublished. In addition, the author's work experience from the implementation phase of the Kalasatama to Pasila projects was utilised.

Quality assurance in a tram project is multi-stage. Quality is ensured during construction, just before the track slab is cast and after the track slab is cast. Final details are documented in the required manner. This thesis highlights the various documents required for the project and their main contents. A development proposal for quality verification is to start documenting quality as soon as a certain section of track is completed. It facilitates the documentation phase towards the end of the project.

Key words: tramway, quality assurance, superstructure

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Opinnäytteen tausta	6
1.2	Opinnäytteen rajaus	7
2	RADAN PÄÄLLYSRAKENNE	8
3	LAADUNVARMISTUS TOTEUTUSVAIHEESSA	11
3.1	Radan päällysrakenteen laatuvaatimukset.....	11
3.2	Raiteet.....	13
3.3	Vaihteet ja raideristeykset	19
3.4	Ratalaatta.....	20
4	LAADUN TODENTAMINEN.....	22
4.1	Tarkemittaus	22
4.1.1	Mittauskalusto.....	23
4.1.2	Tulokset ja tarkekuva.....	24
4.2	Hitsien mittaus.....	25
4.3	Itselleluovutus	27
4.4	Koeajot.....	27
5	POHDINTA	29
	LÄHTEET.....	31
	LIITTEET	33
	Liite 1. Railstraight Dual-mittalaitteen tuottama hitsiraportti	33
	Liite 2. Tarkemittauslomake	34
	Liite 3. Toleranssipoikkeamataulukko	35
	Liite 4. Laadunhallinta- ja dokumentointikaavio	36

ERITYISSANASTO

Absoluuttinen sijainti	Koordinaatteihin perustuva sijainti
ATU	Aukean tilan ulottuma
Kiinnityslämpötila-alue	Neutraalilämpötila-alue +5...+15°C ja vaihteluväli ±5°C
Kiskonkiinnike	Osa, joka kiinnittää kiskon ratapölkkyyn
Kutistussauma	Betonilaattaan jätettävä sauma, josta laatan suunnitel- laan halkeavan kutistumisen myötä
Liikuntasäula	Betonilaattaan jätettävä sauma, jonka avulla hallitaan muun muassa lämpöliikkeitä
Mittausperusta	Määritellyt kiintopisteet
Muottikivi	Valettu betoninen paino, jota käytetään valumuotissa, sekä vanttiruuvien tukipisteenä
Neutraali lämpötila	Neutraalilämpötila-alue +5...+15°C
Raideruuvi	Yksi kiskonkiinnikkeen osa
Tangenttipiste	Kaarteen alku- tai loppupiste
Työlämpötila	Jatkoshitsauksessa kiskon lämpötila 300–350°C jat- koksen molemmilta puolilta noin 200 mm:n matkalta
Vanttiruuvi	Ruuvi, joka kiinnitetään toisesta päästä raideruuviin ja toisesta päästä muottikiveen. Vanttiruuvia kiertämällä saadaan säädettyä radan vaakageometriaa.
Vesivaaka	Vatupassi eli kallistuskulman mittaväline
Viherraide	Kasvillisuuspinntainen raitiotie

1 JOHDANTO

Suomessa raitioteiden rakentaminen ja suunnittelu on lisääntynyt kasvavissa määrin 2000-luvulla. Aiempien joukkoliikennevaihtoehtojen kapasiteettien ylittyminen ja ilmastonmuutoksen huomioiminen yhä enenevissä määrin ovat ohjanneet kaupungeja takaisin raitiotierakentamiseen. Uudet pikaraitiotiet eli pääosin omalla kaistalla kulkevat raitiovaunut mahdollistavat tehokkaamman joukkoliikenteen ja lisäävät matkustusmukavuutta. Lisäksi käyttöajan hiilidioksidipäästöt ovat vähäisiä. Uuden raitiotieverkoston lisäksi Helsingin kantakaupungin raitiotieverkosto on paikoin hyvinkin vanhaa ja myös sen saneeraukset ovat ajankohtaisia. Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Destia Rail Oy:lle ja työssä pyritään parantamaan raitiotierakentamisen laadunvarmistusmenetelmiä ja laadun dokumentointia.

1.1 Opinnäytteen tausta

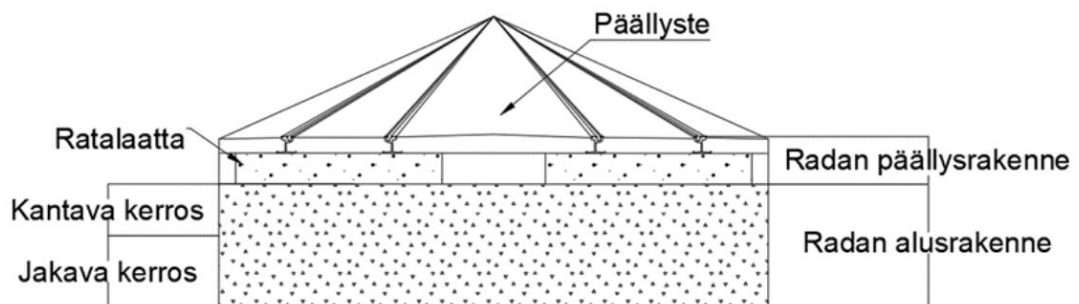
Tässä opinnäytetyössä keskeisimpinä lähteinä käytetään eri raitiotiekaupunkien raitiotien suunnittelu- ja rakennusohjeita. Opinnäytetyössä käytetyt Tampereen raitiotietä koskevat ohjeet ja muut aineistot löytyvät internetistä. Helsingin raitioteiden osalta aineistoa löytyy sekä internetistä että julkaisemattomana. Raitiotien päällysrakenne voidaan toteuttaa erilaisia rakennetyyppejä hyödyntäen. Tässä opinnäytetyössä syvennyttään puolipölkky menetelmällä rakennetun raitiotien laadunvarmistus ja -todentamismenetelmiin. Opinnäytetyössä kuvailtu raitiotien rakentamismenetelmä poikkeaa HKL:n ohjeesta kuvatusta rakennustavasta ja raitiotien laadullisia seikkoja tarkastellaan asennuskuutioiden sijaan puolipölkkyillä rakennetulla raitiotiellä. Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää Destia Rail Oy:lle laadunvarmistuspohja, joihin projektien päällysrakenteen laatua on helppo dokumentoida. Lisäksi opinnäytetyö ottaa kantaa ja kehittää laadunvarmistusta ja -todentamista rakentamisen eri vaiheissa.

1.2 Opinnäytetyön rajaus

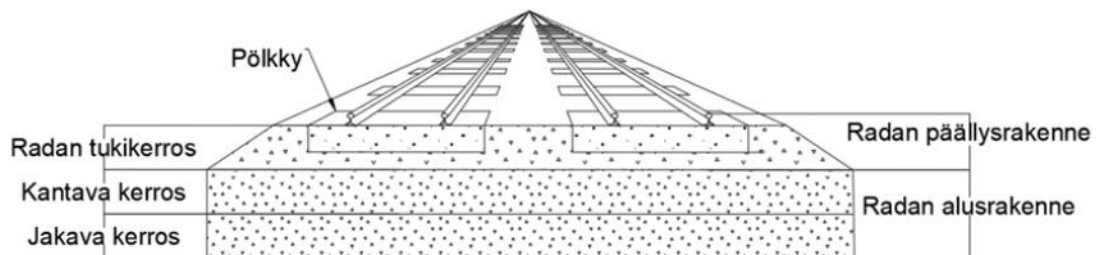
Tässä opinnäytetyössä käsitellään raitiotien päällysrakennetta pois lukien radan sähkötekniset järjestelmät. Myöskään raitiotien pintarakennetta ei opinnäytetyössä käsitellä sen laadun kannalta. Raitiotien päällysrakenne kuitenkin esitellään mukaan lukien edellä mainitut rakenneosat, sillä niillä on suuri vaikutus raitiotien toimivuuteen. Raitiotien pintarakenne valitaan sen mukaan, millaista muuta käyttöä rata-alueelle halutaan. Pintarakenne voi toimia kaupunkiympäristöä elävöittävänä pintana, kuten viherraide, joka myös viivyttää hulevesiä sekä lisää ympäristön viihtyisyyttä. Asfaltti tai nupukiveys pintarakenteena sen sijaan mahdollistaa myös kumipyöräliikenteen raitiotien päällä.

2 RADAN PÄÄLLYSRAKENNE

Radan päällysrakenne koostuu tukikerroksesta sekä raiteesta. Kun tukikerros on toteutettu betonista, rakennetta kutsutaan kiintoraiteeksi (kuva 1). Tukikerroksen ollessa sepeliä, kyseessä on sepelirata (kuva 2). Tukikerroksen tehtävä on pitää raiteet oikeassa geometriassa, muodostaa tasainen ja kantava alusta sekä jakaa liikennekuormia alusrakenteelle. (Raitiotieallianssi 2017.)



KUVA 1. Radan rakenne, kiintoraide (Helsingin kaupungin Raitioteiden suunniteluohje).



KUVA 2. Radan rakenne, sepelirata (Helsingin kaupungin Raitioteiden suunniteluohje).

Helsingin kaupungin liikenneliikelaitoksen julkaisemassa toimintaohjeessa ”Raitiotien yleinen työselostus RYT 2018” (s.23) määritellään raitiotien päällysrakenteen osat. HKL:n toimintaohjeen mukaan päällysrakenne muodostuu tukikerroksesta, pohjalaatasta, pintalaatasta ja kiskoista. Nämä osat koostuvat pienimmistä rakenneosista, joita ovat:

- raiteet, vaihteet, risteykset, kiskonkiinnitysosat, kiskon tukiosat ja väli-
raudat
- radan tukikerros (betonipohjalaatta, sepeli)
- raitiotien päällysrakenne ja kiskon vedenpoistojärjestelmä
- alusrakenteen yläpinta (routasuojaus ja/tai runkoäänieristys)

- päällysrakennetekniset lisälaitteet ja varusteet
- kääntölaitteet
- raitiotien suojarusteet ja laitteet
- muut sähkönsyöttöön ja opastimiin liittyvät laitteet. (Ratojen yleinen työselostus RYT 2018, 23.)

Helsingin kaupungin liikennelaitoksen julkaiseman RYT 2018 jälkeen raitiotierakentamiseen on tullut myös uusi, vaihtoehtoinen rakennustapa, jonka suosio on kasvanut uusissa hankkeissa. Tässä rakennustavassa päällysrakenne rakennetaan puolipölkkyjä hyödyntäen, mitkä puolestaan valetaan osaksi kiintoraidelaattaa (Kalasatamasta Pasilaan -hankkeen toteutussuunnitelma 2021). HKL:n toimintaohjeen rakenneosaluettelosta poiketen tällaisessa rakenteessa myös puolipölkkyt ovat päällysrakenteen yksi rakenneosana.

Suljetulla ratarakenteella kiskoa reunustaa usein kammiokumi, joka on tärkeä raitiotien suojaruste. Suljetulla ratarakenteella tarkoitetaan sellaista ratarakennetta, jossa kiskot on upotettu toiseen pintaan (Helsingin kaupungin Raitioteiden suunnitteluohje). Kammiokumi toimii hajavirtasuojana estäen hajavirran kulkeutumisen kiskosta maaperään. Lisäksi kammiokumi suojaa kiskonkiinnikkeitä ja luo tasaisen sauman raitiotiekiskon ja pintarakenteen välille.

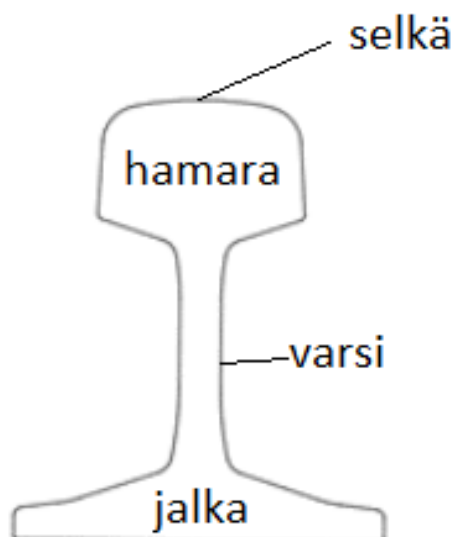
Pölkkyt

Raitiotierakentamisessa voidaan käyttää kahdenlaisia pölkkyjä. Puolipölkkyjä, joissa pölkyn rauditus on paljaana betonin tartuntaa varten, kuten kuvassa 7 on esitetty. Puolipölkkyjä käytetään kiintoraidelaattarakenteessa. Umpinaisia rata-pölkkyjä käytetään sepeliratarakenteessa. Kumpaakin pölkkytyyppiä voidaan käyttää raideleveydestä ja kiskotyypistä riippumatta.

Kiskot

Raitiotierakentamisessa käytettävät kiskotyypit jakautuvat poikkileikkauksen profiililta kahteen. Kiskot ovat joko Vignole-kiskoa tai urakiskoa. 49E1 kiskoprofiilin kisko on yleisimmin käytetyn Vignole-kiskon profiili uusissa hankkeissa. Kiskoprofiilitunnuksen kaksi ensimmäistä numeroa kertovat kyseisen kiskoprofiilin painon kilogrammoina metriä kohden. Vignole-kisko on tavanomaisessa rautatierakentamisessa käytetty kiskoprofiili, jonka osat ovat jalka, varsi, hamara ja selkä

(kuva 3). Urakiskon poikkileikkausprofiili poikkeaa Vignole-kiskosta siten, että kiskopyörän laipalle on valssattu ura kiskon kulkureunan puolelle (kuva 4) (Raitiotieallianssi 2017). Tavanomaisimmat urakiskoprofiilit uusissa hankkeissa ovat olleet 60R1 ja 60R2, jotka ovat metrikohtaiselta painoltaan Vignole-kiskoa painavampia, sillä urakiskon profiili aiheuttaa suuremman poikkileikkauspinta-alan.



KUVA 3. Vignole-kiskon poikkileikkaus (Helsingin kaupungin Raitioteiden suunnitteluohje, muokattu).



KUVA 4. Urakiskon poikkileikkaus (Helsingin kaupungin Raitioteiden suunnitteluohje).

Erikoisrakenteissa joudutaan usein käyttämään eri kiskoprofiilia kuin hankkeen muilla rataosuuksilla. Erikoisratarakenteen käytön aiheuttaa usein olemassa olevat rakenteet kuten sillat ja niiden aiheuttamat rakentamisrajoitteet. Erikoisrakenteisiin saatetaan esimerkiksi tarvita matalampi päällysrakenteen rakennekorkeus, jolloin käytetään sellaista kiskoprofiilia, jossa kiskon jalka on lyhyempi.

3 LAADUNVARMISTUS TOTEUTUSVAIHEESSA

3.1 Radan päällysrakenteen laatuvaatimukset

Rautatien laatuvaatimuksia kuvataan Suomen standardisoimisliiton julkaisemissa standardeissa SFS-EN 13231-1:2023 ja SFS-EN 16432-3:2021, joita sovelletaan myös raitiotien laatuvaatimukseen. Standardit sisältävät vastaavan eurooppalaisen standardin (SFS-EN 13231-1:2023 2023). Kaupunkikohtaisissa suunnitteluohjeissa ja rakentamisessa sovelletaan näitä standardeja, koskemaan raitiotietä. SFS-EN 16432-3:2021 mukaan suhteellisen raidegeometrian tulee olla standardin EN 13231-1 mukainen. Esimerkki raitiotien laatukriteereistä on esitetty taulukossa 1, joka koostuu sekä ratojen yleisen työselostuksen että Kalasatamasta Pasilaan -hankkeen työselostuksessa esitettyjen raiteen mittojen ja sallittujen poikkeamien arvoista.

TAULUKKO 1. Raiteen mitat ja sallitut poikkeamat uudelle ja peruskorjatulle radalle (mukaillen Ratojen yleinen työselostus RYT 2018).

	Nimellismitta (mm)	Rakennustoleranssi (mm)
Raideleveys, suora raide	1000	-1...+2
Raideleveys kaareva raide $R > 50$	1000	0...+2
Raideleveys kaareva raide $R < 50$	1002	0...+2
Raideväli	2000	-0...+50
Raiteen pystygeometria		± 10
Raiteen vaakageometria		± 10
Kaarteen nuolikorkeus 10 m matkalla		± 3
Kallistuspoikkeama/kiertymä 3,5 m matkalla		± 4
Korkeuspoikkeama 10 m mittakanalla		± 4
Hitsattu jatko pystysuunnassa 1 m mittalla		0...+0,6
Hitsattu jatko sivusuunnassa 1 m mittalla		-0,3...0

Päälysrakenteenteen rakentamista varten laaditaan työvaihekohtaiset työ- ja laatusuunnitelmat. Suunnitelmat tulee olla vähintään ratarakenteen rakentamisesta kattavaa pölkkytyksen ja kiskotuksen, hitsauksesta, betonoinnista, vaihteiden asennuksesta ja päälysrakennetöistä. Lisäksi mahdollisista erikoisrakenteista tehdään omat suunnitelmat. Destia Rail Oy käyttää näiden suunnitelmien laadintaan omaa digitaalista laadunhallintajärjestelmää Projektiportaalia. Destia Railin työvaiheen työ- ja laatusuunnitelmassa eli TTL-pohjassa esitetään suunnitelmat samassa dokumentissa. Suunnitelmadokumentista selviää seuraavat työvaihetta koskevat tiedot:

- työn vaatimat henkilö- ja koneresurssit
- materiaalit
- aloitusedellytykset
- liittyvät suunnitelmat
- vaaditut suojarusteet

- työturvallisuuteen, ympäristöön ja vastuullisuuteen liittyvät seikat
- riskien arviointi
- kuvaus työnsuorituksesta
- laadunvarmistus ja laatukriteerit.

Lisäksi TTL:n osana voi olla töiden aikataulu ja muita huomioitavia seikkoja. Työ- ja laatusuunnitelma on tärkeä osa työvaiheen perehdytystä ja se tulee käydä läpi ja allekirjoituttaa kaikkien työtä suorittavien osapuolten kanssa ja tällä tavoin laatukriteerit esitetään työn toteuttajille. Kaikista päällysrakenteessa käytetyistä materiaaleista tulee olla materiaalitodistukset. Materiaalitodistukset koostetaan osaksi hankkeen dokumentointia.

3.2 Raiteet

Pölkkytys

Kiintoraidelaatta alueella radan rakennus alkaa pölkkyjen jakamisella oikealle etäisyydelle toisistaan. Pölkkyjaon apuna käytetään vanerista sapluunaa, joka on rakennettu 750 mm pölkkyjaolle. Tällöin muotilla voidaan tarvittaessa jakaa myös 1500 mm pölkkyjakoa. Käytettyjä puolipölkkyjä on kahdenlaisia. Puolipölkky on joko ilman radan korkeusaseman säätömahdollisuutta tai pölkkyssä on valmiiksi reikä korkopulttia varten. Korkopulttillisten pölkkyjen välinen etäisyys riippuu radan kaarresäteestä. Kun rata on lähes suora riittää koronsäätö 1500 mm välein, mutta pienemmissä kaarteissa säätöpultit tarvitaan jokaisessa pölkkyssä. Kun oikeat pölkkyt ovat asennettu oikealle paikalle voidaan avata pölkkyjen kiinnikkeet ja nostaa kiskot paikalleen. Tämän jälkeen tarkastetaan pölkkyväli ja kiinnitetään kiskot pölkkyihin.

Kiskotus

Kun kiskot on kiinnitetty pölkkyihin kiinnityslämpötila-alueella, aloitetaan raidelevyden tarkastus. HKL:n työselostuksen mukaan raitiotien raidelevyden nimellismitta suoralla on 1000 mm, rakennustoleranssi raidelevyden säädölle suoralla -1 mm...+2 mm. Nimellismitta kaarevalla raiteella, kun kaarresäde ≥ 50 m on 1000 mm ja rakennustoleranssi +2 mm. Nimellismitta kaarevalla raiteella, kun kaarresäde < 50 m on 1002 mm ja rakennustoleranssi +2 mm. Tampereen raitiotieverkostolla raidelevytenä puolestaan käytetään Euroopan raitiotie- ja junaradoilta-

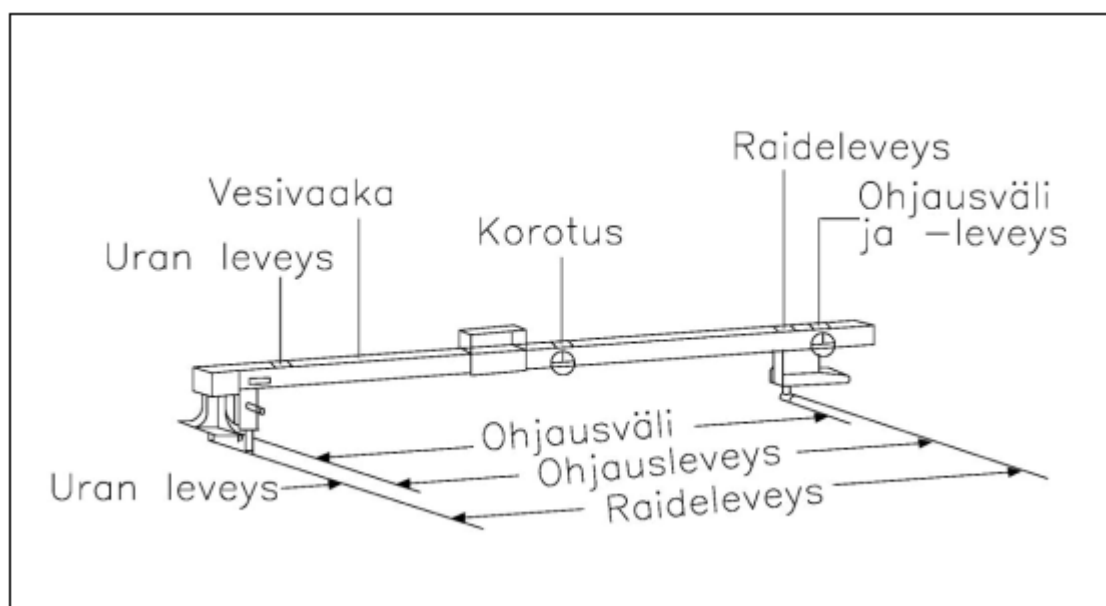
kin tuttua nimellismittaa 1435 mm. Raideleveyden mittaus tapahtuu siihen suunnitellulla mittatyökalulla, joka mittaa raideleveyden kiskon mittapisteestä. Mittapisteen etäisyys kiskon selästä riippuu käytetystä kiskoprofiilista ja on joko 10 tai 14 mm. Kiskoprofiilien mukaiset mittapisteiden korkeudet kiskon selästä on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2 Mittapisteen korkeus eri kiskoprofiileilla (Raitioteiden suunniteluohje).

Kiskoprofiili	Mittapisteen korkeus kiskon selästä A (mm)
59R1	-10
59R2	-14
60R1	-10
60R2	-14
49E1	-14
53R1	-14
54E1	-14
54G1	-14

Samalla mittalaitteella onnistuu lisäksi ohjausleveyden, -välin sekä uraleveyden ja kallistuksen mittaaminen, mittalaite esitetty kuvassa 5. Kallistuksen voi mitata myös esimerkiksi digitaalisella vesivaa'alla. HKL:n RYT 2018 mukaan raiteen kallistus määritellään sisä- ja ulkokiskon välisenä korkeuserona. Tällöin radan kaarteissa kallistusero luodaan ulkokiskoa nostamalla. Kallistusta kutsutaan myös ulkokiskon ylikorotukseksi. Radan kallistusta tarkastellaan myös rakennusvaiheessa. Kallistuksen tulisi suoralla olla lähtökohtaisesti 0 mm, kaarteissa, vaih-

teissa ja raideristeyksissä kallistukselle voi olla suunniteltu arvo. Helsingin kaupungin Raitioteiden suunnitteluohjeen mukaan ”kaarteissa raidetta voidaan kallistaa matkustajiin kohdistuvan sivuttaiskiiktyvyyden sekä kalustoon ja rataan kohdistuvien vaakavoimien kompensoimiseksi”. Liikennöinti nopeus määrittää kallistuksen mitoitusta ja siihen nähden riittämättömät kallistukset tuntuvat sivu-kiiktyvyytenä ulkokaarteeseen ja liian suuret sisäkaarteeseen. Väärin mitoitettu taikka toteutettu kallistus aiheuttaa myös kiskon ja raitiovaunun pyörän tarpeetonta kulumista.



KUVA 5. Raidелеvyyden mittalaite (HKL ”Ratojen yleinen työselostus RYT 2018” s.12).

Kiskojen oikeaoppinen säilyttäminen työmaalla ennen niiden asennusvaihetta on myös laadun kannalta tärkeää. Kun kiskot säilytetään oikealla tavalla välipuinen tuetuissa pinoissa tasaisella alustalla (kuva 6) ei kiskoihin synny kiertymiä, vääntymiä tai pinnan vaurioitumisia säilytyksen aikana.

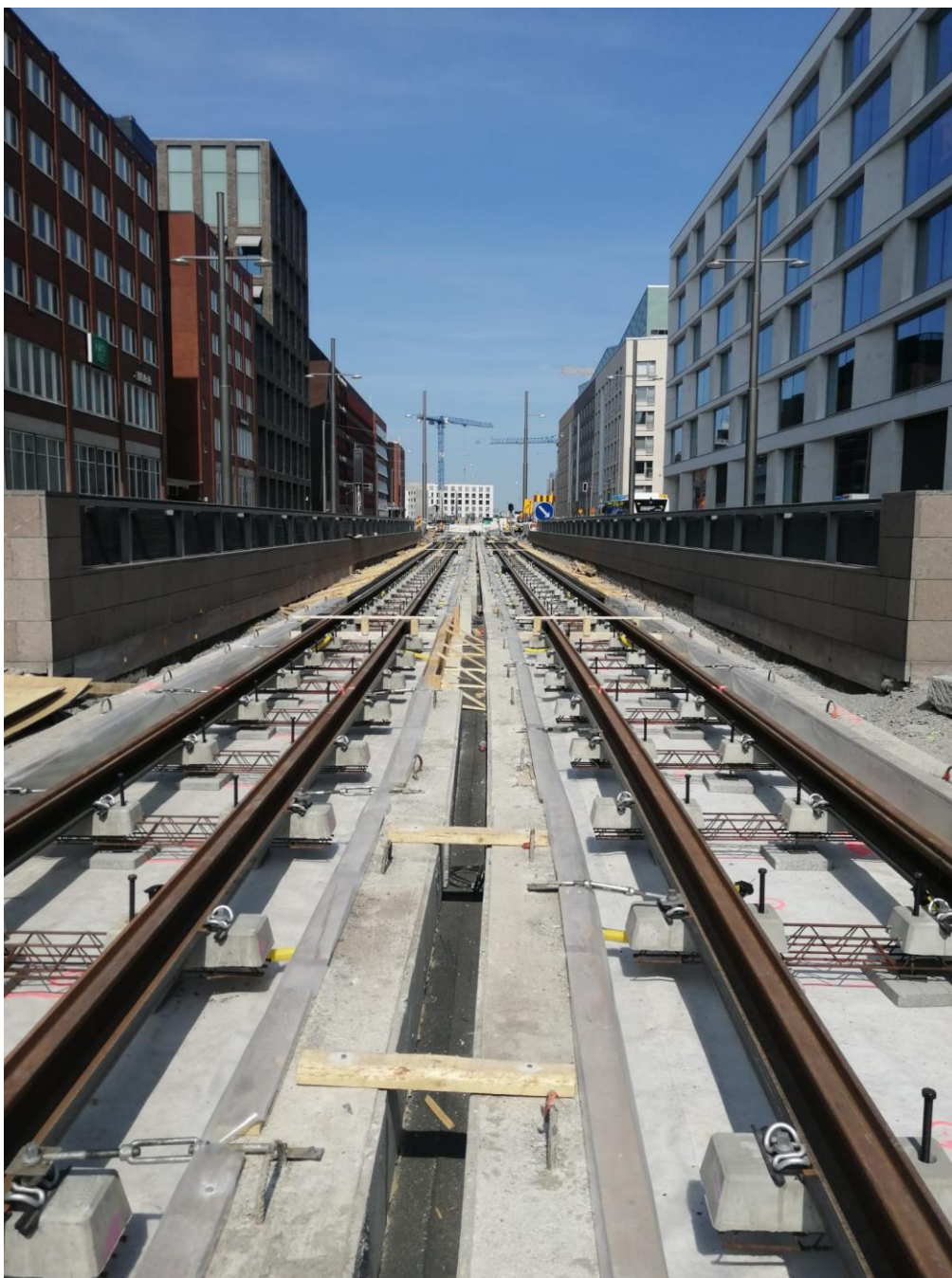


KUVA 6. Kiskojen säilytys työmaalla (Mortaza Hashimi 2022).

Asemointi

Kiskot asennetaan suunniteltuun korkoon ja geometriaan mittahenkilön kanssa. Viimeistään tässä kohtaa aloitetaan muottityöt ja valetut muottikivet asennetaan suunniteltuun laatan reunaan. Rata nostetaan haluttuun asemaan pölkyissä olevien kierteiden ja niihin sopivien korkopulttien avulla. Korkopultin alla käytetään betonista laattaa ja neliönmallista alusrautaa, jotta korkopultin aiheuttama piste-mäinen kuorma jakautuu tasaisemmin ja asemoitu rata painuu korkoon asettamisen jälkeen mahdollisimman vähän. Betonisista painoista saadaan tukea radan asemointiin. Vanttiruuvit kiinnitetään puolipölkkyyn kiskonkiinnikkeen ruuvin avulla ja vanttiruuvin toinen pää kiinnitetään betonipainoon. Tämän jälkeen kiskon vaaka-asemaa voidaan säätää kääntämällä vanttiruuvia haluttuun suuntaan. Raide on alkuperinkin pyritty rakentamaan mahdollisimman oikeaan kohtaan, jotta sen asemointi olisi mahdollisimman helppoa. Jos näyttää siltä, että pelkät vanttiruuvit eivät riitä raiteen vaakageometrian asemointiin, voidaan apuna käyttää kaivinkonetta ja avittaa tällä raiteen siirtymistä haluttuun suuntaan. Vanttiruuvien etäisyys toisistaan riippuu raiteen geometriasta, kaarteessa vanteja tarvitaan enemmän kuin suoralla. Vanttiruuvien ja korkopulttien käyttöä havainnollistaa kuva 7. Kun rata on asemoitu, voidaan kiskot hitsata yhteen. Hitsausta varten

saumakohtaa lähimmät kiskonkiinnikkeet avataan, jotta hitsausryhmä saa asemoitua kiskojen päät suorassa, kohdakkain ja ilman kiertymiä tai päiden taipumia hitsiraon päähän toisistaan (Raitiotiekiskojen hitsausohjeet Osa 5 Laadunvarmistus ja valvonta). Hitsausryhmän asemoinnin, kiskonhitsauksen ja hionnan jälkeen kiskonkiinnikkeet kiinnitetään takaisin ja tarkastetaan geometria, kaltevuus ja rai-deleveys. Kiskojen hitsaus jatkuvakiskoraiteeksi on tärkeä osa päällysrakenteen toimivuutta, kestävyyttä ja yhtenäisyyttä. HKL:n ”Raitiotiekiskojen hitsausohjeet, Osa 2 Jatkohitsausohjeet” (Työversio 2015) kertoo, miten kiskojen hitsaustyö suoritetaan. Hitsausohjeessa kerrotaan myös keskenään eri profiilisten kiskojen hitsaukseen omat ohjeet, tällaista hitsiä kutsutaan eripariliitoshitsiksi. HKL:n hitsausohjeita käsitellään tarkemmin opinnäytetyön kappaleessa 4.2.



KUVA 7. Asemoitu raitiotierata Kalasatamassa (Sini Saarinen 2023).

Raitiotiellä käytetyn sepeliratarakenteen rakentaminen etenee eri tavoin. Rata rakennetaan pohjasepelin päälle, lähelle oikeaa vaakasijaintia. Pölkkyt ovat tavanomaisen ratapölkyn mallisia ja kiskot kiinnitetään niihin ilman säätömahdollisuutta. Raideleveys ja kaltevuus eivät ole tällä rakennustavalla rakennusvaiheessa tarkasteltavia seikkoja. Kiskojen päät laitetaan yhteen sidekiskoin ja levitetään tukikerrossepeleä radan päälle. Kuten tavanomaisessa ratarakentamisessa raiteen asemointi tapahtuu tukemiskoneen toimesta. Mittahenkilö tekee nuotin

tukemiskoneelle, jolloin tiedetään mitä radalle täytyy tehdä, jotta rata on geometriassa. Väyläviraston Ratateknisten ohjeiden (RATO 23 2024, 9) mukaan raiteen asema ja asento muodostaa raidegeometrian. Asemalla tarkoitetaan raiteen vaaka- ja pystysuuntaista sijaintia mittauserustaan verrattuna. Asennolla puolestaan tarkoitetaan raiteen muotoa, joka määräytyy kallistuksesta sekä vaaka- ja pystygeometrian elementeistä. Tukemiskoneelle tehdyssä nuotissa määritellään nosto- ja sivuttaissiirtoarvot, joilla raide on suunnitellussa asemassa (RATO 23 2024, 25). Suoritetaan tukemistyö nuotin mukaan, jonka jälkeen voidaan sidekiskot poistaa ja hitsata kiskojen päät yhteen.

3.3 Vaihteet ja raideristeykset

Raitioteiden suunnitteluohjeen mukaan ”Vaihde on mekaaninen laite, jolla vaunu ohjataan poikkeavalle tai suoraan menevälle raideosalle, ja joka yhdistää eri suunnista tulevat raiteet”. Vaihteet mahdollistavat sujuvan raitiotieliikennöinnin, mutta ovat päällysrakenteen näkökulmasta haastavampia rakennuskohteita. Vaihteet tuovat mukanaan paljon lisää tekniikkaa ratarakenteeseen. Vaihteet saapuvat asennuspaikalle usein valmiina elementteinä.

Vaihteiden raideleveys mitataan niiden rakennusvaiheesta lopulliseen päällysrakenteeseen moneen kertaan. Vaihteiden tarkastusmittaus aloitetaan jo tehtaalla, tämän jälkeen ne mitataan kuljetuksen jälkeen kuljetusvälineen päällä ja paikalle asennettuna ja rataalaatan valun jälkeen. Raideleveyttä mitataan usein siksi että sen avulla voidaan seurata vaihderakenteiden muodossa pysymistä, lisäksi vaihdealueella raideleveys voi poiketa normaaleista toleransseista ja sen on siksi äärimmäisen tärkeää olla vaihteiden suunnitelmien mukainen. Vaihteiden mittaukseen käytetään vaihteen mittauspöytäkirjoja, joista näkee myös kaikki aiemmin suoritettut vaihteen mittaukset ja siten mittauskertojen vertailu keskenään on helppoa.

Raitiotievaihteiden nostossa hyvänä ohjeena toimii Väyläviraston junaradoilla vaatima Ratahallintokeskuksen Vaihde-elementtien nosto ja siirto (2007) -ohje. Ratahallintokeskuksen ohjeessa kerrotaan ”Vaihde-elementin nostamisessa on

elementin käytettävyyden aiheuttamien laatuvaatimusten vuoksi käytettävä nostolaitetta, jolla vaihde-elementti voidaan nostaa maasta suoraan ylöspäin”. Käytännössä tämä tarkoittaa, että vaihteille on omat nostoapuvälineet, kuten nostopalkit. Lisäksi vaihdetta tulee nostaa tasaisella voimalla kaikista nostopisteistä yhtä aikaa, tällöin vaihteeseen ei synny kiertymiä noston aikana.

Raideristeys on sellainen radan osa, jossa on neljä kiskojen risteämiskohtaa. Raideristeys edellyttää käytännössä kaksiraiteisen raitiotien, jolloin kaksi raidetta voi ristettä keskenään tällä tavoin. (Tampereen Ratikan suunnitteluohje 2020.) Raideristeykset saapuvat asennuspaikalle myös elementteinä ja niiden raidelevyydet mitataan pöytäkirjoihin samoin kuin vaihteiden. Raideristeykset ovat usein vaihteiden läheisyydessä ja ne asemoidaan vaihteiden asemoinnin yhteydessä.

3.4 Ratalaatta

Sellaista raitiotierakennetta, jonka tukikerroksena toimii ratalaatta, kutsutaan kiintoraiderakenteeksi. Puolipölkkyjen päälle rakennettu rata valetaan osaksi ratalaattaa, jolloin puolipölkkyjen teräkset tarttuvat betonilaattaan ja muodostavat yhtenäisen rakenteen. Ratalaattaa rakentaessa ja etenkin muottitöitä tehdessä huomioidaan myös ratalaatan sisälle jäävät varaukset, kuten kiskokaivojen poistoputket ja liikennevaloilmaisimien kaivot. Nämä asennetaan paikalleen ennen valetta, jolloin ne ovat valmiiksi osana laattaa. Helsingin Raitioteiden suunnitteluohjeen mukaan kiintoraideraatan mitoitusikä on 50 vuotta. Puolipölkkyillä toteutettu ratarakenne mahdollistaa kiskojen vaihdon purkamatta valettua betonilaattaa.

Helsingin kaupungin liikenneliikelaitoksen toimintaohjeessa esitetään ratalaatan betonin vähimmäisvaatimukset. Ohjeen mukaan kuitubetonin tulee olla vähintään lujuusluokan C35/45 XF3 ja sisältää vähintään 30 kg/m³ teräskuitua. Lisäksi ohjeessa on määritetty maksimiraekooksi #32. Nämä vaatimukset voivat poiketa toimintaohjeesta, mikäli suunnittelija katsoo vaatimusten olevan riittämättömät. Joissain tilanteissa teräskuitua voidaan haluta kuutiota kohden enemmän ja joissain tilanteissa teräskuitu ei sovi käytettäväksi teräksen johtavuuden takia. Tällöin teräskuidun tilalla voidaan käyttää muovikuitua. Ratalaatta voidaan toteuttaa myös raudoittamalla, jolloin voidaan käyttää normaalia betonia.

Ratalaatan muotti rakennetaan siten, että betonilaatan paksuudeksi tulee 30 cm, betonilaatan paksuuden toleranssi on ± 20 mm. Ratalaatan maksimipituus määräytyy radan kaarresäteen mukaan, mutta on enimmillään 36 metriä (Kalasatamasta Pasilaan -hankkeen työselostus). Laatassa on sekä kutistumissaumoja että liikuntasauvoja, jotka mahdollistavat betonilaatan kutistumisen ja liikkumisen pituussuunnassa. Jos valmiita kutistumissaumanpaikkoja ei tehtäisi, laatta halkeaisi hallitsemattomasta kohdasta. Liikuntasaumassa kaksi laattaa yhdistyy toisiinsa mahdollistaen laatan pituussuuntaisen liikkeen lämpölaajenemisen myötä.

4 LAADUN TODENTAMINEN

4.1 Tarkemittaus

Rakennusvaiheessa raidegeometrian mittaus tapahtuu takymetrimittauksin ja takymetrimittausta voidaan käyttää myös lopullisen tarkemittauksen suorittamiseen. Koko hankkeen läpi mittaaminen takymetrillä on kuitenkin hyvin työläs, sillä vaadittu mittaustiheys voi olla esimerkiksi 25 cm. Tarkemittauksen suorittamisessa käytetään apuna kartoitussauvaan kiinnitettävää, käytettyyn kiskoprofiiliin sopivaa sapluunaa (Tarkemittaamisen suorittaminen HKL:lle). Sapluunan avulla raiteet kartoitetaan kiskon mittapisteestä.

Lopullinen tarkemittaus on helpointa suorittaa jatkuvana mittauksena käyttäen apuna mittavaunua. Mittavaunulla saadaan yhtäaikaaisesti mitattua kaikki raiteista tarvittavat mittatiedot. Mitattavat geometriatiedot ovat raiteen vaaka ja pysty sijainti, korkeuspoikkeama, raideleveys, nuolikorkeus sekä kallistus ja kierous (Ratojen yleinen työselostus RYT 2018). Mitattujen sijaintitietojen pohjalta pystytään myös helposti laskemaan raideväli. Hankkeen kartoituspistevälin lisäksi kiskot kartoitetaan aina erikoispisteiden, kuten tangenttipisteiden ja hitsausaumojen kohdalta (Tarkemittaamisen suorittaminen HKL:lle).

Helsingin kaupungin liikenneliikelaitoksen toimintaohjeessa ”Tarkemittauksen suorittaminen HKL:lle” määritellään vaihde ja raideristeysalueen tarkemittauspisteet. Risteyskiskon osalta tarkemittauksen mittauspiste sijaitsee uran pohjalla, sen matalan profiilin takia. Risteyskiskon alku- ja loppupiste mitataan hitsausaumojen kohdalta. Vaihteen kielen kärki määritellään toimintaohjeessa yhdeksi vaihteen mittapisteeksi. (HKL n.d., Tarkemittauksen suorittaminen HKL:lle.) Myös vaihtealueen mittaukset on mahdollista suorittaa jatkuvina mittauksina, tällöin tulee kuitenkin huomioida vaihteen mittauspisteet. Kappaleessa 3.3 Vaihteet ja raideristeykset käsitellään vaihteen mittauspöytäkirjaa rakennusvaiheen laaduntarkastuksen näkökulmasta. Vaihteiden mittauspöytäkirjat ovat myös lopullisen dokumentoinnin aineistoa ja siksi mittauspöytäkirjan osoittamat tarkastusmittaukset tehdään vielä täysin valmiillekin rakenteelle.

4.1.1 Mittauskalusto

Raiteiden mittaukseen käytetään jo aiemmin mainittua vesivaakaa ja raideleveyden mittalaitetta. Näitä käytetään pääasiallisesti rakentamisvaiheessa, mutta myös yksittäisiä rakenteen tarkastuksia voidaan suorittaa näillä jälkikäteen. Kuten kappaleessa 4.1 Tarkemittaus mainitaan, rakentamisvaiheessa raiteiden absoluuttisen sijainnin mittaamiseen käytetään takymetria. Vesivaakan ja raideleveysmitan tavoin takymetrillä voidaan myös suorittaa rakenteen tarkastuksia jälkikäteen. Takymetrimittaus vaatii kiintopisteet ja kiskojen mittaamisen tarkkuusvaatimus määrittää myös mittausperustan tarkkuusvaatimuksen (Tarkemittauksen suorittaminen HKL:lle).

Destia Rail Oy on käyttänyt raitioteillä jatkuvassa mittauksessa Trimblen Gedo CE 2.0 mittavaunua (kuva 8). Gedo CE 2.0 mittalaitteella saadaan kaikki raiteen tarvittavat geometriatiedot kerralla. Gedo CE 2.0 radanmittausvaunu toimii kuitenkin yhteydessä takymetriin ja sijainnin luotettavuus varmistuu takymetrin kautta (Geotrim n.d.). Vaikka Gedo CE 2.0 mittausvaunu nopeuttaa lopullista tarkemittausta huomattavasti vaatii myös sen käyttäminen takymetrin siirtämistä aina näkymän säilyttämiseksi.



KUVA 8 Trimble GEDO CE 2.0 radanmittavaunu (Trimble n.d.).

Trimble on julkaissut mittausyksikön GEDO IMU eli Inertial measurement unit. Trimble GEDO IMU yhdessä GEDO CE 2.0 mittavaunun kanssa muodostavat

Gedo IMS:n. (Trimble 2018, 17.) Gedo IMS toimii täysin omana yksikkönä. Takymetriin yhdistettyyn Gedo CE 2.0 mittavaunuun verrattuna Gedo IMS on huomattavasti tehokkaampi mittaustapa. Koska paikannukseen perustuva anturi liikkuu vaunun mukana, aikaa ei kulu takymetrin uudelleen pystytykseen ja koko mittaus voidaan suorittaa keskeytyksettä.

4.1.2 Tulokset ja tarkekuva

Ratamittausvaunun mittauksien pohjalta saadaan muodostettua raiteiden tarkemittauslomake. Tarkemittauslomakkeesta ilmenee kaikki mittausvaunulla saadut tiedot. Tarkemittauslomake perustuu hankkeen sovittuun mittalinjaan. Excel muotoisesta tarkemittauslomakkeesta on helposti nähtävillä raiteen geometriatiedot ja poikkeamat. Poikkeamat voidaan esimerkiksi maalata tarkemittauslaudasta punaisella, jolloin toleranssipoikkeamien koostaminen taulukkomuotoon helpottuu. Esimerkki tarkemittauslomakkeesta on liitteenä 2.

Tarkemittauslomakkeesta saadaan poimittua toleranssipoikkeamat omaan taulukkoonsa. Eri poikkeaman syyille on poikkeamataulukossa oma sarakkeensa ja monen poikkeaman esiintyminen yhtäaikaisesti samassa kohdassa saadaan siten kirjattua samalle riville. Toleranssipoikkeama taulukkoon kirjataan muun muassa poikkeaman sijainti, syy, toleranssi ylitys ja sovitut toimenpiteet. Esimerkki tyhjästä toleranssipoikkeama taulukosta on liitteenä 3.

Tarkemittausten pohjalta luodaan tarkekuva, jota voidaan verrata suunnitelma-kuviin. Tarkekuvan avulla on helppo hahmottaa miten raiteet poikkeavat suunnitellusta ja millä kohdin, sillä tarke- ja suunnitelmakuvia saadaan tarkasteltua päällekkäin. Tarkekuva on graafisempi keino raiteiden geometrian tarkasteluun, mutta tiedostomuodon ansiosta myös hyvin informatiivinen. Tarkemittausaineisto, toleranssipoikkeamataulukko ja tarkekuva ovat osa hankkeen luovutusaineistoa.

4.2 Hitsien mittaus

Kuten junaradalla, myös raitiotieradalla vaaditaan hitsaajilta ja hitsien hiojilta tietyt pätevyudet ja koulutukset. HKL:n raitiotieverkolla käytetään jatkohitsausmenetelminä yleensä kaarijatkos- tai termiittihitsausta. Jatkohitsaukseen on kokeiltu myös leimuhitsausta. Jotta leimuhitsaus olisi kannattavaa vaatii se pidemmän rataosuuden kerralla hitsattavaksi, mikä on kaupunkiolosuhteissa haasteellista. Kaarihitsausmenetelmiä ja hyväksytyjä prosesseja ovat puikkohitsaus, jauhekaarihitsaus umpilangalla, jauhekaarihitsaus täytelangalla ja täytelankahitsaus. Puikkohitsausta käytetään jatkohitsaukseen, muita kaarihitsausmenetelmiä käytetään täyttö- ja pintapalkojen hitsaukseen kulutusalttiilla kohteilla. (Raitiotiekiskojen hitsausohjeet, Osa 1 Yleisohjeet 2015, 3.) Hitsausmenetelmästä riippumatta kaikkia hitsejä koskee samat laatuvaatimukset. Kaikkien raitiotieradalla tehtyjen hitsien ja hitsattujen alueiden tulee olla jäljitettävissä. Urakoitsijalta tulee löytyä jokaisesta hitsistä seuraavat tiedot:

- hitsauspäivä
- paikkatieto
- kiskotiedot (kiskon profiili, teräslaatu, vaihteenosat)
- hitsauslisäaineen tunnistetiedot
- urakoitsijan ja hitsaajan tunnistetiedot
- käytetty hitsausohje
- hitsaustyönaikaiset poikkeamat
- hitsaajan päivittäiset kirjaukset. (Raitiotienkiskojen hitsausohjeet, Osa 1 Yleisohjeet 2015, 9.)

Urakoitsija luo hitsien jäljitettävyyttä varten hitsauspöytäkirjan, johon kirjataan hitsausohjeen vaatimat asiat. Vaadittujen seikkojen lisäksi kiskon lämpötila on hyvä kirjata pöytäkirjaan, sillä kiskon hitsaus täytyy tapahtua työlämpötilassa. Kiskon hitsauksen jälkeen hitsaajat aloittavat hitsin hionnan. Hitsien suoruudelle on asetettu kolme eri laatukriteeriä. Kulkupinta +0,0...+0,6 mm, kulkureuna +0,0...-0,3 mm ja loivennus 1:500 (Raitiotienkiskojen hitsausohjeet, Osa 2 Jatkohitsausohjeet 2015, 11). Hitsausohjeen mukaan ajopinnan pituussuuntainen suoruusvaatimus mitataan yhden metrin mittaisella viivaimella.

Hitsaussaumojen entistä tarkemman, laadukkaamman ja kattavamman dokumentoinnin saavuttamiseksi käyttöön on otettu metrin viivainta tarkempi hitsin suoruudenmittausmenetelmä. Kalasatamasta Pasilaan -hankkeella hitsien suoruutta mitattiin Railstraight Dual -mittauslaitteella. Railstraight -mittauslaitteesta on saatavilla eriversioita ja Dual -malli on suunniteltu kulkupinnan ja -reunan yhtäaikaiseen mittaamiseen (Railstraight operation manual 2017, 28). Mittauslaite yhdistetään Bluetooth-yhteydellä mobiililaitteeseen, jossa on mittauslaitteen valmistajan oma sovellus nimeltä RAILSTRAIGHT. Mittauslaite koostaa hitsistä raportin, jossa näkyy hitsin muoto sekä kulkupinnalta että -reunalta. Sovellukseen tulostuvassa raportissa on myös eroteltuna kulkupinnan ja -reunan osalta pienin ja suurin poikkeama sekä kokonaispoikkeama pienimmän ja suurimman arvon välillä. Eräs Kalasatamasta Pasilaan -hankkeen hitsi Railstraight Dual -mittauslaitteen tuottamana raporttina on esitetty liitteessä 1.

Hitsit saadaan nimettyä mittauslaitteen raportteihin paikkatiedon mukaan, jolloin hitsien jäljitettävyyks on myös yhteydessä hitsin mittaustulokseen. Mitattujen tietojen pohjalta voidaan tarvittaessa suorittaa hitsikohdille lisähiontoja, jolloin hitsin muotoa saadaan paranneltua tai liian suurta poikkeamaa tasoitettua. Hitsien lisähionnassa tulee kuitenkin huomioida riski liikahionnalle, eikä aivan pieniä poikkeamia siksi ole kannattavaa lähteä tasoittamaan. Hitsien Pdf-muotoisen dokumentoinnin ansiosta niiden liittäminen esimerkiksi hitsauspöytäkirjaan olisi mahdollista, jolloin kaikki yhtä hitsiä koskevat asiakirjat olisivat samassa tiedostossa. Tällöin tiedostosta tulisi hyvin suuri ja selvästi nimetyt erilliset tiedostot ovat myös selkeä ja hyvä dokumentointi tapa. Erillisten hitsien raporteista on mahdollista myös muodostaa yhtenäinen pdf, mutta tällöin hitsit olisi tärkeää nimetä sijaintiperusteisesti jo mittausvaiheessa, jolloin jälkikäteen nimeämistä ei jouduta suorittamaan kahteen paikkaan.

Valtion rataverkolla kaikille uusille jatkohitseille tehdään vastaanottotarkastus ultraäänellä. Vastaanottotarkastuksen suorittaa Väyläviraston hyväksymä urakoitsija aikaisintaan 48 tunnin päästä hitsauksesta. (RATO osa 12 2017,17.) Jatkohitsien ultraäänitarkastusta ei vaadita raitiotierakentamisessa. Ilman ultraäänitutkimusta hitsien sisäisistä vioista ei saada mitään tietoa. Ultraäänitarkastamonta hitsiä voidaan tarkastella ainoastaan pintavikojen ja hitsaustoleranssien

suhteen. Ultraäänitarkastus voidaan ja kannattaa suorittaa raitiotierakentamisessa esimerkiksi toistuvien hitsiongelmien syyn selvittämiseksi ja välttämiseksi. Ultraäänitarkastusta voidaan lisäksi käyttää paikoissa, jossa rataakiskon epäillään vaurioituneen. Tällä menetelmällä voidaan poissulkea vaurioepäily tai tehdä toimenpidesuunnitelma rakennetta rikkomatta.

4.3 Itselleluovutus

Raitiotiehankeella rakenteiden itselleluovutus voidaan toteuttaa osissa esimerkiksi erottaen pelkkä raitiotierakenne yhdeksi luovutettavaksi kokonaisuudeksi. Raitiotierakenteen itselle luovutuksessa tarkastellaan esimerkiksi raitiotien pintarakennetta, raitiotiealueen siisteyttä, kiskoja, hajavirtaeristystä ja muita raitiotiejärjestelmän näkyviä osia kuten kiskokaivoja. Itselleluovutusprotokollaan kirjataan luovutettavan rakenneosan puutteet, suunnitellut korjausajankohdat ja korjauksen dokumentointi esimerkiksi valokuvana. Protokollaan voidaan kirjata myös keskeneräisiä töitä. Kävelytarkastukset ovat osa itselleluovutusta, sillä niiden aikana tarkastellaan koko ratarakenne silmämääräisesti läpi ja huomioidaan puutteita. Kävelytarkastuksessa huomioitavat seikat ovat usein rakentamisen jälkeen syntyneitä vaurioita, kuten painumia pintarakenteessa tai kolhuja kiskoissa, joiden päällä kumipyöräliikenne on jo kulkenut. Kävelykierroksen jälkeen havaitut puutteet kirjataan itselleluovutuslomakkeeseen ja korjaustoimenpiteet voidaan aloittaa. Osana itselleluovutusta käydään läpi ja tarkastetaan kaikki hankkeen laatudokumentit. Laatudokumentit tallennetaan keskitetysti rakenneosakohtaisesti.

4.4 Koeajot

Kun raitiotiejärjestelmä on valmis ja liikennöitävässä kunnossa voidaan aloittaa hankkeen koeajot. Koeajoissa testataan radan ja sen teknisten järjestelmien toimivuutta. Tavallisesti koeajovaihe alkaa valmiin rataosan ATU-tarkastelulla ja maastokatselmuksin, joissa toteuttajat, suunnittelijat ja tilaajaosapuoli kävelevät valmiin radan läpi huomioiden samalla koeajoihin liittyviä seikkoja. Hankkeen ATU-tarkastelu voidaan toteuttaa laserkeilaustulosten avulla. Ennen varsinaista

koeajoraitiovaunua, raitiotierataa ajetaan läpi hiomavaunulla. Hiomavaunulla kiskoja käsitellään tarvittava määrä, jotta kiskojen pinnat ovat puhtaat ja tasaiseksi hiotut. Kiskojen hionta pidentää kiskojen elinkaarta sekä vähentää meluhaittaa (Päivi Stenroos 2020).

Koeajot aloitetaan hitaalla nopeudella. Koeajojen aikana testaillaan raitiotiejärjestelmien toimivuutta eri liikennöintinopeuksilla ja erilaisissa olosuhteissa. Osana koeajoja arvioidaan myös tiettyjen rakenteiden näkyvyyttä raitiotievaununkuljettajalle. Näitä ovat liikennemerkkit ja -valot sekä opastimet. Myös liittymien ja suojaiteiden näkyvyyttä tarkastellaan koeajoissa.

Koeajojen aikana voidaan havainnoida sellaisia asioita, joita ei ole aiemmin voitu huomata. Tällaisia ovat esimerkiksi epämääräiset koriliikkeet kuten huojunta. Koeajoissa huomattuja liikkeitä ja niiden syitä voidaan yrittää tarkastella toteumamittauksista. Kun tiedetään huojunnan tarkka sijainti, voidaan tarkastaa radan geometria havaitun huojunnan kohdalta sekä juuri ennen huojuntaa ja huojunta- paikan jälkeen. Tarkastetaan raitiotiegeometrian suunnitelmien mukaisuus ja rakennustoleranssit. Tarkastuksesta selviää voisiko huojunta johtua esimerkiksi toleranssipoikkeamasta. Lisäksi koeajoissa kuullaan radan liikennöinnin aiheuttamaa melua. Kiskojen kirsunta on täysin normaalia etenkin kaarteissa ja sitä pyritään vähentämään esimerkiksi kiskojen rasvauksella. Selittämättömät tömähdykset eivät kuitenkaan kuulu raitiotien normaaleihin ääniin ja niiden ilmetessä syy tulee selvittää koeajojen aikana. Kun tiedetään tömähdyksen aiheuttaja, voidaan tehdä sopivia korjaustoimenpiteitä.

5 POHDINTA

Uusien raitiotielinjojen rakentamisen lisääntyessä ja vanhojen raitiotierakenteiden tullessa käyttöikänsä päähän on lähitulevaisuudessa tiedossa raitiotiehankeita useammassa kaupungissa. Kaupunkikohtaiset ohjeet ja hankekohtaiset työselostukset tulee aina huomioida ja tarkastaa erikseen, sillä ohjeissa ja työselostuksissa otetaan kantaa laatuvaatimuksiin. Hankkeen rakennustoleranssit voivat poiketa aiemmin käytetyistä toleransseista. Myös vaaditut dokumentit ja tarkemittausväli ovat osittain hankekohtaisesti päätettäviä asioita.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella laadunvarmistusta ja -todentamista rakentamisen eri vaiheissa. Raitiotierakentamisen laadun kannalta tärkeimpänä seikkana on hankkeen aikainen jatkuva laadunvarmistus ja dokumentointi. Jo rakennusvaiheessa alkavalla laadunvarmistuksella pystytään välttämään suuria korjauskustannuksia, kun laadulliset virheet huomataan ajoissa. Raiteiden geometrian ja raidelevyden tarkastus etenkin juuri ennen rataalaatan valua on merkittävässä osassa, sillä valun jälkeen ne eivät ole enää helposti muokattavissa. Tulevilla hankkeilla tulisi pyrkiä radan lopullisen dokumentoinnin kokoamiseen, sitä mukaan, kun uutta rataosaa valmistuu. Jatkuvan dokumentoinnin ansiosta, voidaan välttää kasaantunut dokumentointityö hankkeen lopussa.

Helppokäyttöiset ja selkeät dokumentointipohjat helpottavat hankkeen laadun todentamista. Opinnäytetyössä kehitettiin Destia Rail Oy:n toleranssipoikkeama taulukkoa (Liite 3). Lisäksi selkeytettiin raitiotiehankeiden laadunhallintaa ja dokumentointia (Liite 4). Toimivan dokumentointipohjan perustana toimii esimerkiksi Excel, jonka käyttäminen ei vaadi erikoisosaamista. Koska esimerkiksi hitsausten paikannus ja laadunseuraaminen on pakollinen osa hitsaustyön suorittamista, pidetään hitsauspöytäkirjaa aina ajan tasalla tehdyistä hitseistä. Muut laadunvarmistuksen dokumentit laaditaan rakenteen valmistuttua. Vaikka mittauksia suoritetaan myös asennustyön aikana, dokumentointi suoritetaan vasta kiintoraidelaatan valun jälkeen, kun kiskot ovat lopullisessa asemassa. On tärkeää, että kaikki radan dokumentit perustuvat samaan mittalinjaan, jolloin epäselvyyksiltä vältytään.

Raitiotien päällysrakenteen laadunvarmistuksesta voisi tutkia lisää eri hankkeiden käyttämiä asennustoleransseja ja mittausmenetelmiä. Nämä kuitenkin määritellään aina hankekohtaisesti, joten muiden hankkeiden vaatimuksilla ei ole uusia hankkeita ajatellen juurikaan merkitystä. Mielenkiintoista olisi myös verrata Suomen laadunvarmistusmenetelmiä muiden maiden laadunvarmistusmenetelmiin, mutta näistä tiedon löytäminen on haastavaa, sillä ohjeet eivät yleensä ole julkisia.

LÄHTEET

- Geotrim. n.d. Ratamittaus. Verkkosivu. Viitattu 17.12.2024. <https://geotrim.fi/toimialat/ratamittaus/>
- Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos. 2015. Raitiotiekiskojen hitsausohjeet osa 1–5. Julkaisematon. Helsingin kaupunki.
- Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos. 2018. Raitioteiden rakentaminen. Ratojen yleinen työselostus RYT 2018. Julkaisematon. Infra- ja kalustoyksikkö/Infra-palvelut. Helsingin kaupunki.
- Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos. n.d. Tarkemittaamisen suorittaminen HKL:lle. Julkaisematon. Helsingin kaupunki.
- Helsingin kaupunki. n.d. Raitioteiden suunnitteluohje. Verkkosivu. Viitattu 27.10.2024. <https://raitiotieohje.fi/radan-rakenteet-2/>
- Kalasadamasta Pasilaan. 2021. Kalasadamasta Pasilaan -hanke toteutussuunnitelma. Pdf-dokumentti. Viitattu 11.12.2024. <https://ahjoju-kaisu.hel.fi/7C8AC1DC-6F03-C8BA-9B5A-7D0D3CB00000.pdf>
- Railstraight. 2017. Railstraight Operation manual. Pdf-dokumentti. Viitattu 17.11.2024. https://www.elektro-thermit.de/fileadmin/et/user_upload/PDF/Bedienungsanleitungen/Railstraight_Handbuch_EN.pdf
- Raitiotieallianssi 2017. Ratikkasanakirja. Verkkosivu. Viitattu 1.11.2024. <https://raitiotieallianssi.fi/ratikkasanakirja/>
- Ratahallintokeskus. 2007. Vaihte-elementtien nosto ja siirto. Pdf-dokumentti. Viitattu 11.9.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/RHK/rhk_vaihte-elementtien_nosto_siirto.pdf
- Ratatekniset ohjeet (RATO) 23: Raiteen ja vaihteen koneellisen tukemistyön suunnittelu ja toteuttaminen. 2024. Väyläviraston ohjeita 19/2024. Väylävirasto. Pdf-dokumentti. Viitattu 14.11.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2024-19_rato_23_web.pdf
- Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 12: Päälysrakennehitsaus. 2019. Väyläviraston ohjeita 31/2019. Väylävirasto. Pdf-dokumentti. Viitattu 20.11.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2019-31_rato12_web.pdf
- Stenroos, P. 2020. Raitiotien kunnossapitoa tamperelaiseen tapaan: oma malli syntyy tarkasti suunnitelle ja testaten. Tampereen Raitiotie Oy. Verkkosivu. Viitattu 8.1.2025. <https://ratikka-aika.fi/artikkelit/raitiotien-kunnossapitoa-tampere-laiseen-tapaan-oma-malli-syntyy-tarkasti-suunnitellen-ja-testaten>
- Suomen Standardisoimisliitto. 2021. SFS-EN 16432-3:2021. Pdf-dokumentti. Viitattu 2.12.2024. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/1043332.html.stx>

Suomen Standardisoimisliitto. 2023. SFS-EN 13231-1:2023 Pdf-dokumentti. Viitattu 2.12.2024. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/1297132.html.stx>

Tampereen Ratikka. n.d. Tampereen Ratikan suunnitteluohje. Verkkosivu. Viitattu 27.10.2024. <https://www.tampereenratikka.fi/ratikan-suunnitteluohje/4-raiotieradan-suunnittelu/4-6-vaihteet/4-6-5-raideristeykset/>

Trimble. 2018. Trimble GEDO Systems. Pdf-dokumentti. Viitattu 14.1.2025. https://zinynas.geonovus.lt/sites/default/files/2020-01/ENG_RailSolns_GEDO_BRO_A4_0918_LR.pdf

Trimble. n.d. Trimble GEDO CE 2.0. Verkkosivu. Viitattu 8.1.2025. <https://gedo.trimble.com/en/products-and-solutions/trimble-gedo-ce-20>

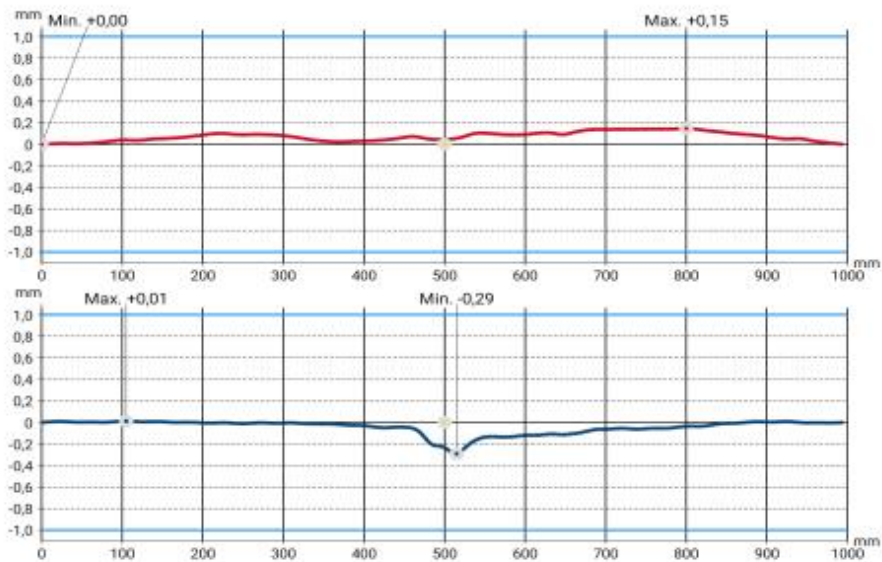
LIITTEET

Liite 1. Railstraight Dual-mittalaitteen tuottama hitsiraportti

Customer Logo		Joint measurement report		Evaluation according to:		GOLDSCHMIDT	
		23/28		Min., Max. & Absolute		Smart Rail Solutions	
Project data				Measurement data			
Project name:		Tukkutorinkuja-Verkkosaarencatu					
Target of measurement:							
Name of track:							
Direction of traffic:							
Customer:							
Engineer:							
Notes:							
Date and time:		19.9.2023 13.41					
Location:		Lat.: 60,1899, Long.: 24,9784					
Rail temperature:		- °C					
Environment temperature:		- °C					
Track: (Face to high mileage):		Left					
Rail: (Face to high mileage):		Right					
Rail curvature:		Straight					
Curve radius:							
Name of section:		PL11796,8 L oik					
Station/tag:							
Mileage:							
Welder:							
Type of weld:							
Welding id:							
Length of insulated joint:		0,00 mm					
Job number:							
Remarks:							

Surface	Min.	Max.	Abs.	Accepted?
Running surface	+0,00	+0,15	+0,15	✓
Running edge	-0,29	+0,01	+0,30	✓

(all values in mm)



Signature

Measurement was done with a **RAILSTRAIGHT DUAL** (Device ID: GT 23-18-384) / Product of the Goldschmidt Group

Liite 3. Toleranssipoikkeamataulukko

Liite on salainen.

Liite 4. Laadunhallinta- ja dokumentointikaavio

Liite on salainen.