

Simo Karjalainen

Helsingin kaupungin raitioliikenneverkon paikkatieto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

21.4.2015



Tekijä Otsikko	Simo Karjalainen Helsingin kaupungin raitioliikenneverkon paikkatieto
Sivumäärä Aika	39 sivua + 2 liitettä 21.4.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	ratasuunnittelija Jarno Portti lehtori Jussi Laari
<p>Tässä insinöörityössä käsitellään Helsingin kaupungin raitioliikenneverkon alueelta kerättävää paikkatietoa. Helsingin kaupungin liikennelaitoksen infrapalvelut-yksikön ratatiimi on kerännyt erilaista paikkatietoa rataverkon alueelta vuodesta 2010 alkaen tavoitteenaan yhtenäinen ja selkeästi luettava paikkatietojärjestelmä, jonka avulla rataverkon laatua ja korjaustarpeita voitaisiin selkeästi analysoida.</p> <p>Työssä käydään läpi pääasialliset paikkatiedon keruutavat, joita rataverkon alueella on käytetty. Lisäksi ohjeistetaan paikkatietodatan muokkaamista ratatiimin tarpeiden mukaisesti.</p> <p>Työn tavoitteena on luoda kaikelle kerätylle paikkatiedolle yhtenäisempi esitysmuoto, joka helpottaa tulevaisuudessa niin paikkatiedon keruuta kuin myös sen muokkaamista.</p> <p>Työssä esitellään myös ratatiimin käyttöön ottama uusi ohjelmisto Optram, jonka on tarkoituksena toimia tulevaisuudessa yhtenä pääasiallisista paikkatietodatan hallintaohjelmista.</p>	
Avainsanat	Helsinki, paikkatieto, HKL

Author Title	Simo Karjalainen GIS of tram tracks in Helsinki
Number of Pages Date	39 pages + 2 appendices 21 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land surveying
Instructors	Jarno Portti, Track Designer Jussi Laari, Senior Lecture
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to study the diverse GIS data of the tram tracks collected by the Helsinki City Transport since 2010 to allow the condition of the rails to be analyzed and thereby to allow the construction works needed in the future to be predicted. The goal was to create a clear structure for the collected GIS data so that it can be easily read and analyzed.</p> <p>Various methods for the GIS data collecting were introduced in the thesis. For each of them some simple instructions on how and why to use them were also given. Furthermore, instructions on how to modify the necessary data to fit the needs of the Helsinki City Transport's Track Team were given. In addition, the program that is to be one of the main GIS management programs used by the Helsinki City Transport was introduced.</p> <p>The instructions given in the thesis make the collection and modification of the GIS data easier. Thereby the collection of the GIS data will be more effective in the future.</p>	
Keywords	GIS, Helsinki, tram,

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Työn sisältö	1
1.2	Työn taustaa	1
2	HKL	2
2.1	Infrapalvelut	3
2.2	Rataverkko	3
3	Takymetrikartoittaminen	5
3.1	Takymetrikartoittamisen taustaa	5
3.2	Takymetrikartoittaminen käytännössä	5
3.2.1	Asemapiste	6
3.2.2	Orientoiminen	6
3.2.3	Kartoitustyö	7
3.3	Takymetrikartoituksella saadun datan muokkaaminen	8
4	Mittausresiina	11
4.1	Yleistä	11
4.2	Resiinamittausta vaativat kohteet	12
4.2.1	Uudiskohteiden mittaaminen	13
4.2.2	Kunnossapitohitsauksen seurantamittaus	13
4.2.3	Yleisen ratageometrian kerääminen	14
4.3	Resiinamittaus käytännössä	14
4.3.1	Resiinamittauksen valmistelu	14
4.3.2	Resiinan työntäminen	15
4.4	Resiinamittauksesta saatujen tiedostojen muokkaaminen	16
5	Laserprofiilimittaus	17
5.1	Kiskon profiili	18
5.2	Profiilimittaus käytännössä	20
5.3	Profiilimittausten käsittely	20
6	Laserkeilaus	22
6.1	Laserkeilauksen taustaa	22

6.2	Mobiililaserkeilaus	22
6.3	Laserkeilaus käytännössä	22
6.4	Laserkeilauksesta saatu data	23
6.4.1	Korkeat päällysteet	23
6.4.2	Raitioliikenneverkko	24
6.4.3	Pistepilvi	25
6.5	Laserkeilausdatan ongelmat	26
6.5.1	Mittauspiste	26
6.5.2	Kurvien epätarkkuus	27
6.6	Laserkeilaus yhteenveto	27
7	DTK-mittaus	27
7.1	DTK-mittauksen suorittaminen	28
7.2	DTK-mittauksien käsittely	28
7.3	DTK-mittauksen ongelmat	30
7.3.1	Olosuhteet	30
7.3.2	Videon epätahtisuus	30
7.3.3	Koordinaatiston epätarkkuus	30
8	Kohti yhtenäistä paikkatietodataa	30
8.1	Rataverkon paalutus	31
8.1.1	Rataverkon paalutuksen periaate	31
8.1.2	Rataverkon paalutuksen toteuttaminen	32
8.2	Rataverkon suorien ja kaarteiden erittely	33
9	Optram	34
9.1	Datan muokkaaminen	34
9.2	Data Optramissa	36
9.3	Optram tulevaisuudessa	37
10	Yhteenveto	37
	Lähteet	39

Liitteet

Liite 1. Raitiovaununlinjat paaluluvuittain

Liite 2. Vaihdeluettelon ote

Lyhenteet ja käsitteet

ajopinta	Kiskon kulkupinnan taso (kuva 3)
ajoura	Kiskossa oleva ura, johon raitiovaunun pyörä osuu
Bentley Descartes	Bentleyn pistepilvien käsittelyohjelma
Bentley Power Railtrack	Microstation-pohjainen ratasuunnitteluun käytettävä piirto-ohjelma
DGN	Design-tiedosto, Bentleyn käyttämä tiedostomuoto
kielenkärki	Vaihteen kääntyvän osan pää (kuva 12)
kiepekaivo	Vastavaihteen sähkökääntötunnistimen kaivo
kiskokaivo	Kerää urakiskon pohjalla kulkevan veden ja johtaa sen edelleen hulevesiviemäriin.
KMO	Helsingin kaupungin kaupunkimittausosasto
raidemetri, rdm	Metrin mittainen osuus yhdestä raiteesta. Yksi raidemetri käsittää kaksi kiskometriä.
rataohjelma	Ohjelma/aikataulu, jossa on esitettynä kaikki vuoden aikana tehtävät ratatyöt.
risteyskappale	Risteävien kiskojen elementti
tangenttipiste	Kaarteen alkua- ja loppupiste
Terra Survey	Terrasolid Oy:n Microstation-pohjainen apuohjelma
WGS84	GPS-järjestelmän käyttämä koordinaattijärjestelmä ja geoidimalli

1 Johdanto

1.1 Työn sisältö

Tämän insinöörityön aiheena on Helsingin kaupungin raitioliikenneverkon paikkatieto. Työn toimeksiantajana toimii Helsingin kaupungin liikennelaitoksen infrapalvelut-yksikön ratatiimi. Työssä keskitytään seuraaviin asioihin:

- Rataverkon paikkatiedon eri keruutapojen esittely
- Paikkatietodatan muokkaaminen ratatiimin tarpeita vastaavaksi
- Yhtenäisen paikkatietojärjestelmän luominen ja sen vaatimat toimenpiteet
- Uuden Optram-ohjelman esittely.

1.2 Työn taustaa

Työn taustalla on vuodesta 2011 lähtien Helsingin kaupungin raitioliikenneverkon alueella tehty mittaustoimenpiteet. Vuodesta 2011 eteenpäin on HKL:n infrapalveluiden ratatiimi palkannut kesätyöntekijöitä suorittamaan erilaisia mittaustoimenpiteitä paikkatiedon keräämiseksi rataverkon alueelta. Koska rataverkon alueella on hyvin monenlaista paikkatietoa, on sen keräämiseksi myös useita erilaisia keruutapoja. Ratatiimissä onkin ollut ajatus, että kaikki rataverkon alueelta kerättävä paikkatieto tulisi saada jollain tavalla helppolukuiseksi, ajantasaiseksi sekä helposti päivitettäväksi. Tämän ajatuksen myötä on tehty useita erilaisia mittaustoimenpiteitä ja niistä saatua dataa on muokattu paljon.

Jotta paikkatiedon keruu olisi mahdollisimman tehokasta sekä helppoa, on toiminnalle syytä olla perustelut sekä jonkinlaiset toimintamallit, joita noudattamalla päästään parhaaseen lopputulokseen. Tämän työn on tarkoituksena toimia alustavana ohjeena paikkatiedon keruun toimintamalleille sekä toimia auttavana esimerkkinä paikkatietodatan käsittelemiselle.

2 HKL

HKL eli Helsingin kaupungin liikennelaitos-liikelaitos on kunnallinen liikelaitos ja osa Helsingin kaupunkia. HKL omistaa Helsingin raitiotiet, metroradat ja metroasemat sekä raitiovaunut (kuva 1) ja metrojunat [1].

Helsingissä tehdään vuosittain noin 252 miljoonaa joukkoliikennematkaa, joista noin 122 miljoonaa tapahtuu HKL:n toteuttamilla joukkoliikennemuodoilla eli raitiovaunuliikenteellä, metroluikenteellä sekä Suomenlinnan lautalla [1].

HKL koostuu neljästä eri yksiköstä:

- Hallinto- ja talousyksikkö
- Infrapalvelut
- Raitioliikenne
- Metroluikenne.



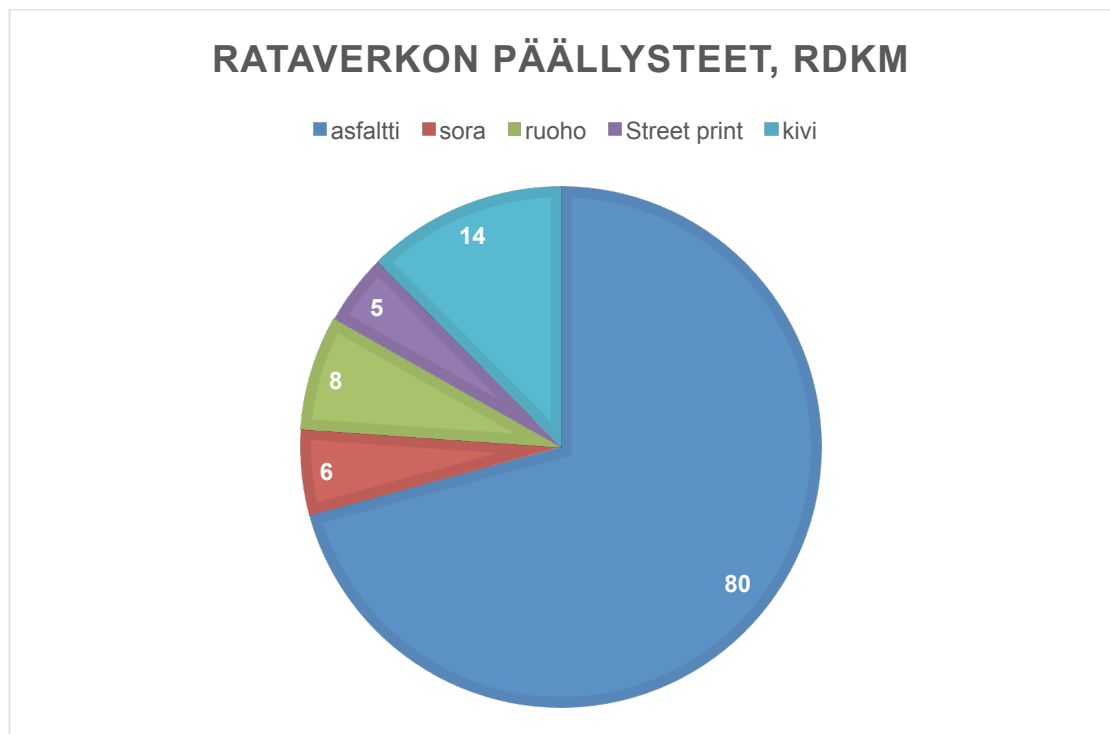
Kuva 1. Uusi Artic-raitiovaunu kolmikulmassa [2].

2.1 Infrapalvelut

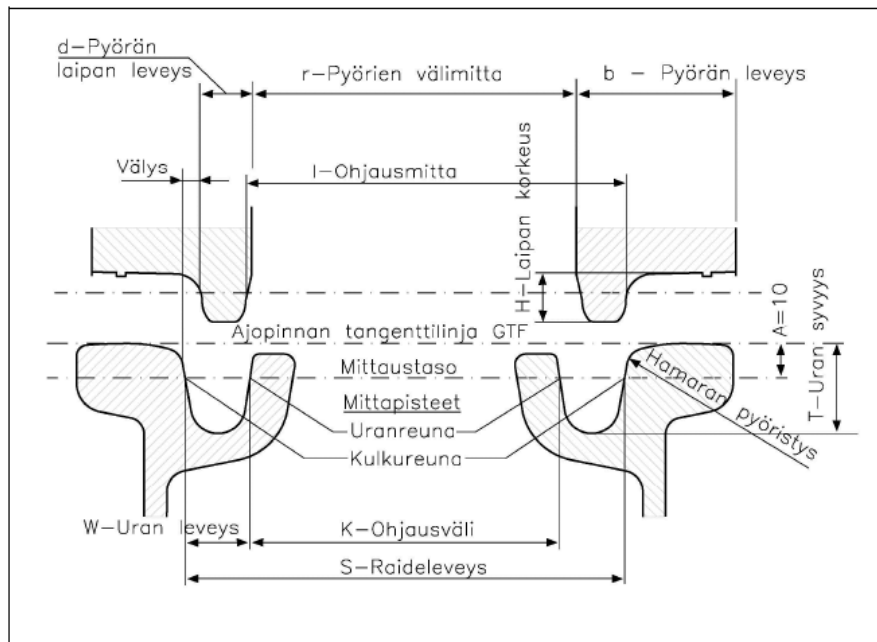
Infrapalvelut-yksikkö suunnittelee, rakentaa, ylläpitää ja huoltaa ratoja ja asemia. Infrapalvelut on myös mukana monissa liikennettä koskevissa rakennus- ja kehittämishankkeissa yhdessä kaupungin muiden virastojen kanssa. [3] Yksikön muodostavat neljä eri tiimiä: kiinteistötiimi, rakennuttamistiimi, ratatiimi ja sähköjärjestelmätiimi. Ratatiimi vastaa raitiotie- ja metroratojen suunnittelusta ja rakennuttamisesta sekä pysäkkien ja rata-laitteiden kunnossapidon tilaamisesta.

2.2 Rataverkko

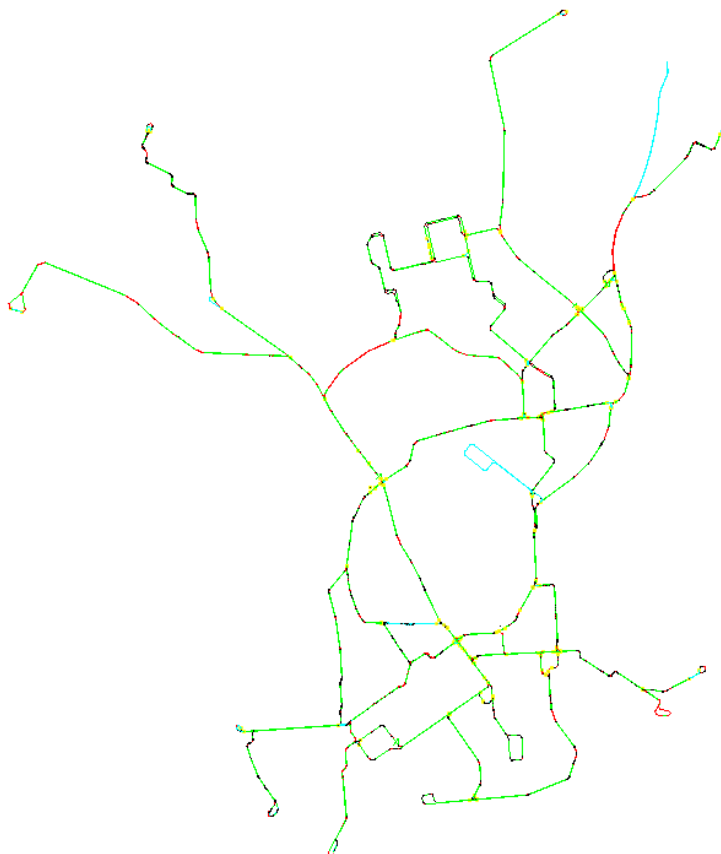
Helsingin rataverkolla (kuva 4) käytetään joka puolella raideleveytenä 1 000 mm (kuva 3). Rataverkon pituus on yhteensä noin 112 raidekilometriä, josta linjakäytössä on noin 90 rdkm. Siitä kokonaan omaa kaistaa on noin 55 rdkm. Rataverkolla käytetään päällysteinä asfalttia, soraa, ruohokivetystä, street print-päällystettä sekä kivipäällysteitä (kuva 2). [4] Raitiovaunukiskoissa on käytössä kaksi eri profiilimallia, RI60 sekä RI59 (kuvat 15 ja 16).



Kuva 2. Rataverkon päällysteet raidekilometreittäin [11].



Kuva 3. Raitiovaunun pyörän sekä kiskon mittaustasot [5, s. 10].



Kuva 4. Rataverkko vuonna 2014. Suorat osuudet on kuvattu vihreällä värillä sekä kaarteet punaisella. Linjaliikenteen ulkopuolella olevat varakurvit on kuvattu vaalean sinisellä värillä [11].

3 Takymetrikartoittaminen

3.1 Takymetrikartoittamisen taustaa

Raitioliikenneverkosta on kerätty HKL:n infrapalveluiden ratatiimin toimesta paikkatietoa takymetrikartoituksella vuodesta 2010 eteenpäin. Takymetrikartoittamisen perusideana on ollut radasta tarvittava sähköinen tieto. Kiskojen muutos- ja rakentamistöihin liittyvät suunnitelmakuvat piirretään Power Railtrack -ohjelmalla, jonka pohjatiedostoksi tarvitaan maastossa vallitseva tarkka nykytilanne. Jotta maastossa vallitseva nykytilanne saataisiin tarkasti kuvattua, tarvitaan kiskoista tarkkaa paikkatietoa.

Koska rataverkko muuttuu vuosittain paljon, on todettu, että takymetrikartoittaminen on hyvä ja nopea tapa kerätä mittausdataa pienistä alueista, kun taas laajempiin alueisiin on suositeltavaa käyttää laserkeilausta.

HKL:n infrapalveluiden toimintatapana onkin ollut, että se kohta rataverkosta, johon muutossuunnitelmia on vireillä, käydään kartoittamassa ennen suunnitelmakuvien piirtämistä. Näin ratasuunnittelija saa pohjatiedostoksi tarkan ja ajan tasalla olevan kuvan. Esimerkiksi vuoden 2015 rataohjelmassa olevat muutoskohteet on kartoitettu kesällä ja syksyllä 2014. Tämä takaa, että talven aikana tehtävät suunnitelmakuvat kesän 2015 muutoskohteisiin pystytään piirtämään tarkasti tällä hetkellä vallitsevien olosuhteiden mukaisesti.

3.2 Takymetrikartoittaminen käytännössä

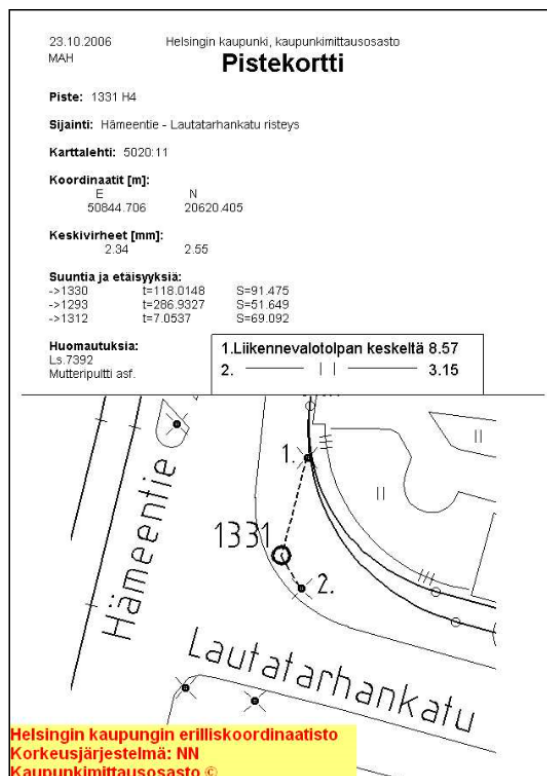
Kun mittausryhmä saa tietoonsa tulevan kartoituskohteen, se käy suorittamassa paikan päällä maastokatselmuksen. Koska kohteet ovat usein hyvin haasteellisia kohteita runsaan liikenteen sekä useiden katvealueita aiheuttavien tekijöiden takia, on maastokatselmuksen rooli hyvin tärkeä. Maastokatselmuksessa mittausryhmä tutkii paikan luonteen ja suunnittelee tehtävän mittaustyön siten, että se olisi mahdollisimman jouhevaa ja ennen kaikkea turvallista.

3.2.1 Asemapiste

Koska kohteet sijaitsevat usein tiheän liikenteen alueilla, on asemapisteen paikka valittava tarkasti. Asemapiste tulisi saada asetettua sellaiselle paikalle, jossa takymetri ei ole vaarassa jäädä liikenteen alle eikä takymetrin ja prisman väliin jäisi näkyvyyttä estäviä tekijöitä. Lisäksi tulee miettiä mittausryhmän turvallisuutta siten, että takymetrillä tähtäävä mittaja pystyy näkemään ympärilleen esteettömästi, jotta vaaratekijät voitaisiin minimoida.

3.2.2 Orientoiminen

Orientointipisteinä käytetään joko itse rakennettuja apupisteitä taikka KMO:n rakentamia kaupungin runkopisteitä. Usein asemapisteelle on vain yksi mahdollinen paikka, joka tekee kaupungin runkopisteille tähtäämisen hyvin haasteelliseksi ja usein myös mahdottomaksi. Maastokatselmukseen mentäessä mittausryhmällä on mukanaan lähistöllä sijaitsevien kaupungin runkopisteiden pistekortit (kuva 5), joiden avulla mittausryhmä pystyy etsimään mahdollisesti käytettävät runkopisteet.



Kuva 5. KMO:n pistekortti [6].

Koska asemapistet on monesti paikassa, jota ei ole asetettu runkopisteiden näkyvyyttä ajatellen, tulee monesti tilanne, että orientointipisteet tulee rakentaa itse. Tähän käytetään Trimble R8 GNSS-vastaanotinta, jolla mitataan maastoon mahdollisimman tarkkoja pisteitä ottamalla useita havaintoja yhdestä pisteestä. Nämä apupisteet merkataan maastoon merkkauksnaulalla sekä vahvennetaan merkkauksmaalilla, jotta pisteiden löytäminen olisi helpompaa.

3.2.3 Kartoitustyö

Kohteita kartoitettaessa maastosta kartoitetaan työnannosta riippuen eri asioita. Tärkein kartoitettava kohde on kiskon ajopinta, joka kartoitetaan prisma-auvaan kiinnitettävää apuvälinettä käyttäen (kuva 6). Apuväline asetetaan kiskon ajouraan, jolloin se ohjaa prisma-auvan täsmälleen kiskon ajopinnan kohdalle. Apuvälinettä käyttäessä on tärkeätä huomata muuttaa prisma-auvan korkeus, koska se on 5 cm matalampi kuin prisma-auvassa normaalisti kiinni oleva piikki. Sauvan korkeuden muuttamisella eliminoidaan korkeuserosta aiheutuvat korkovirheet. Ajopinnasta mitataan pisteitä kiskon suoralla osuudella noin metrin välein ja kaarteissa noin puolen metrin välein. Ajopinta mitataan sille erikseen määritellyllä koodilla "kisko". Kiskosta tulee erillisillä koodilla mitata myös tangenttipisteet, vaihteen kielenkärjet sekä ristikkokiskot.

Kun kiskon ajopinnasta on mitattu riittävä määrä havaintoja, aloitetaan erilaisten alueella sijaitsevien kaivojen kartoittaminen. Kaivot kartoitetaan mittaamalla yksi havainto kaivon kannen keskeltä. Erilaisille kaivoille on määritetty omat koodinsa. Yleisesti alueella sijaitsee kiskokaivoja, sadevesikaivoja, kokoojakaivoja sekä kiepekaivoja.

Lisäksi kohteesta kartoitetaan mahdolliset reunakivet, jotka rajaavat aluetta. Reunakivistä kartoitetaan niin ala- kuin yläreunat. Havaintoja reunakivistä tulee ottaa jokaisen kiven alku- ja loppupäästä, jolloin saadaan reunakivien muoto esitettyä riittävän tarkasti. On tärkeätä mitata reunakiven ala- ja yläreuna eri koodilla, jotta myöhemmin kuvaa muokatessa niiden erottaminen toisistaan helpottuu.

Kartoitettavilla alueilla sijaitsee monesti myös raitiovaunupysäkkejä, joista tulee kartoittaa pysäkkejä ympäröivät reunakivet. Nämä tulee mitata erillisellä koodilla "pysäkki", jotta pysäkit pystyttäisiin erottamaan normaaleista reunakivistä. Koska pysäkit on usein ympäröity reunakivillä, riittää kun pysäkistä mitataan pisteitä reunakivien alku- ja lop-

pupisteistä; samalla tavalla kuin reunakiviä kartoittaessa. Pysäkin reunakiven alareuna tulee mitata *reunakiven alareuna* -koodilla.

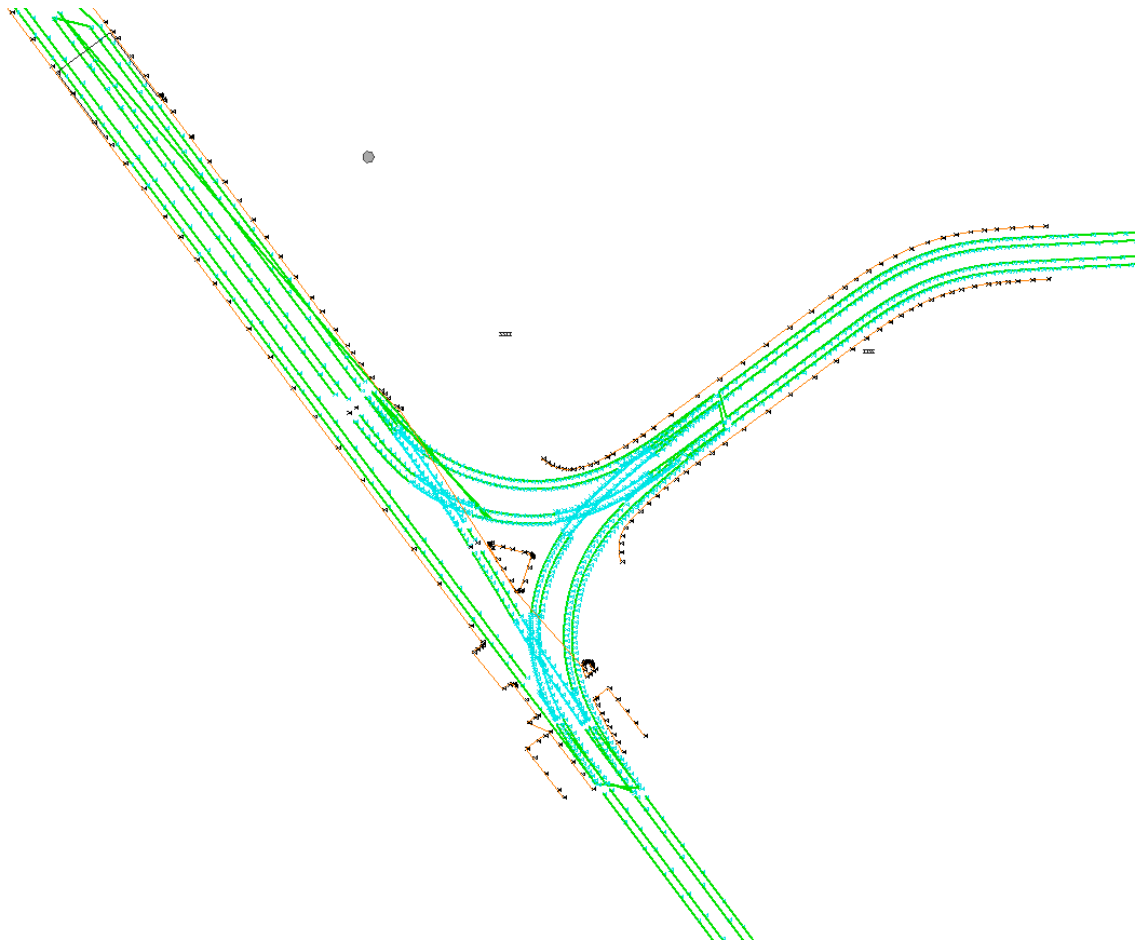
Lopuksi kohteesta kartoitetaan alueella sijaitsevat muut asiat, kuten suojatiealueet, puut sekä kaistamerkinnot. Myös muita kohteita täytyy joissakin tapauksissa mitata; ne kuitenkin tulee varmistaa ennen työn aloittamista työn toimeksiantajalta.

3.3 Takymetrikartoituksella saadun datan muokkaaminen

Kun mittausryhmä on suorittanut kartoitustyön loppuun, tallentavat he työnsä maastotallentimelle sekä lopettavat mittauksen. Tämän jälkeen tulee kerätystä datasta muokata työpisteellä visuaalisesti selkeä kuva. Havainnollistavat kuvat on ratatiimissä tehty Terrasurveyta sekä Microstationia avuksi käyttäen. Aluksi tehty kartoitustyö kirjoitetaan maastotallentimella *gemini geodimeter* -muotoon, joka sitten usb-kaapelin avulla siirretään tietokoneelle. Tämän jälkeen tietokoneelle tallennettu raw-tiedosto avataan Terrasurveylla, joka tunnistaa työssä käytetyt koodit sekä piirtää ne kuvaan haluttua symbolia käyttäen. Kun Terrasurvey on piirtänyt kerätyt datat Microstationin kuvaan, tilanne näyttää monesti hyvin sekavalta johtuen ylimääräisistä viivoista taikka virheellisesti käytetyistä koodeista (kuva 7).

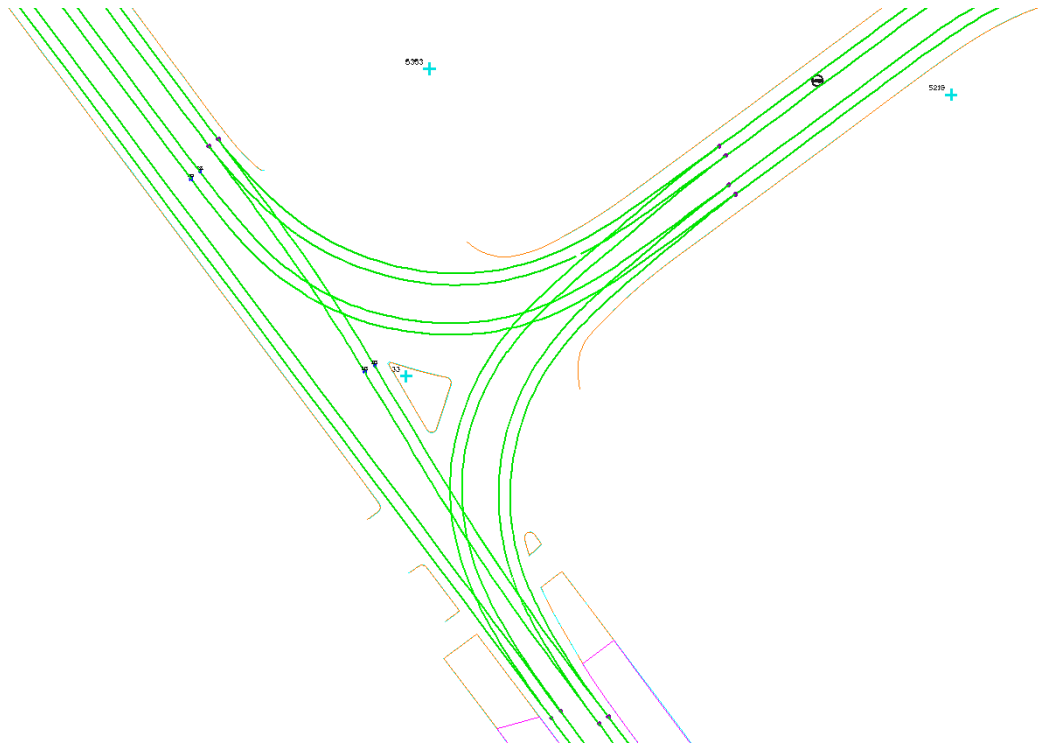


Kuva 6. Prismasauvaan kiinnitettävä apuväline [11].



Kuva 7. Viimeisteleämätön kuva Mannerheimintien ja Aleksanterinkadun risteyksestä [11].

Microstationia käyttäen onkin kätevä siivota kuva sekä muokata sitä visuaalisesti selkeämmäksi (kuva 8). On myös järkevää asettaa eri koodeilla otetut mittauspisteet omille tasoilleen. Esimerkiksi kartoitettujen kiskojen on hyvä olla eri tasoilla kuin vaikkapa kaivot. Tämä auttaa kuvan katselijaa, jos hän vaikka haluaa kuvaan näkyville pelkät kiskot.



Kuva 8. Siistitty kuva Mannerheimintien ja Aleksanterinkadun risteyksestä [11].

Kun kuva on saatu siistiin muotoon, tulee vielä tarkistaa, että kuva on varmasti oikeassa koordinaatistossa sekä että se on tarvittavan tarkka. Koordinaatiston tarkistamisen voi hoitaa kätevästi ottamalla kuvaan alle referenssitiedostoksi jonkin halutussa koordinaatistossa olevan kuvan samalta alueelta kuin itse kartoitustyö. Jos kuva osuu sen alueelle hyvin, voi todeta, että koordinaatisto on oikea. Jos heittoa on runsaasti, tulee alkaa tutkimaan mitattuja koordinaatteja ja paikallistaa mahdollinen virhe.

Ratatiimissä on kuvan tarkkuutta tarkasteltu vertaamalla sitä 2011 tehtyyn laserkeilausmateriaaliin. Koska melkein kaikissa kartoitustöissä kartoitetaan kiskot, on laserkeilausmateriaalin kiskoihin hyvä verrata kuvan tarkkuutta. Yleisenä sääntönä on pidetty, että kartoitettujen kiskojen on oltava alle 2 sentin sisällä laserkeilausmateriaalin kiskoista. [7] Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että laserkeilauksesta saadussa kuvassa kiskon viivat kuvaavat kiskon ulkoreunaa, kartoittaessa kiskosta kartoitetaan taas kiskon ajopinta, näin ollen kartoitettujen kiskojen tulisi asettua laserkeilauksen kiskojen sisäpuolelle (kuva 9).



Kuva 9. Takymetrillä mitattu kisko on esitetty vihreällä värillä ja laserkeilauksesta saatu kisko keltaisella [11].

4 Mittausresiina

4.1 Yleistä

Ratatiimillä on käytössään työnnettävä mittausresiina (kuva 10). Resiina mittaa matkaa, raideleveyttä, radan kallistumista, ajourien syvyyttä sekä niiden leveyttä. Resiina työnnetään aina tunnetusta pisteestä tunnetulle pisteelle, jotta saatu data voidaan sitoa paikkaan. Mittausdatana saadaan Excel-tiedosto, jossa kaikki edellä mainittu data on esitetty omissa sarakkeissaan.



Kuva 10. Mittausresiina [5, s. 11].

Kun mittausresiinaa työnnetään, se mittaa työnnetyn matkan halutulla tiheydellä. Laitteessa on matkaa mittaava pyörä, joka asetetaan lepäämään kiskon päälle työnnon ajaksi. Mittausohjelmasta voidaan valita, halutaanko matka mitattuna vaikka puolen metrin tai metrin välein. Tämä vaikuttaa siis datan keruun määrään. Jos valitaan matkan tiheydeksi puoli metriä, laite kerää kaiken tiedon puolen metrin välein, jolloin varsinkin pidemmistä kohteista saatu tiedosto voi olla hyvinkin raskas tietokoneelle. Jos matkan tiheydeksi valitsee kaksi metriä, voi mitattava matka silloin olla yhden kilometrin.

4.2 Resiinamittausta vaativat kohteet

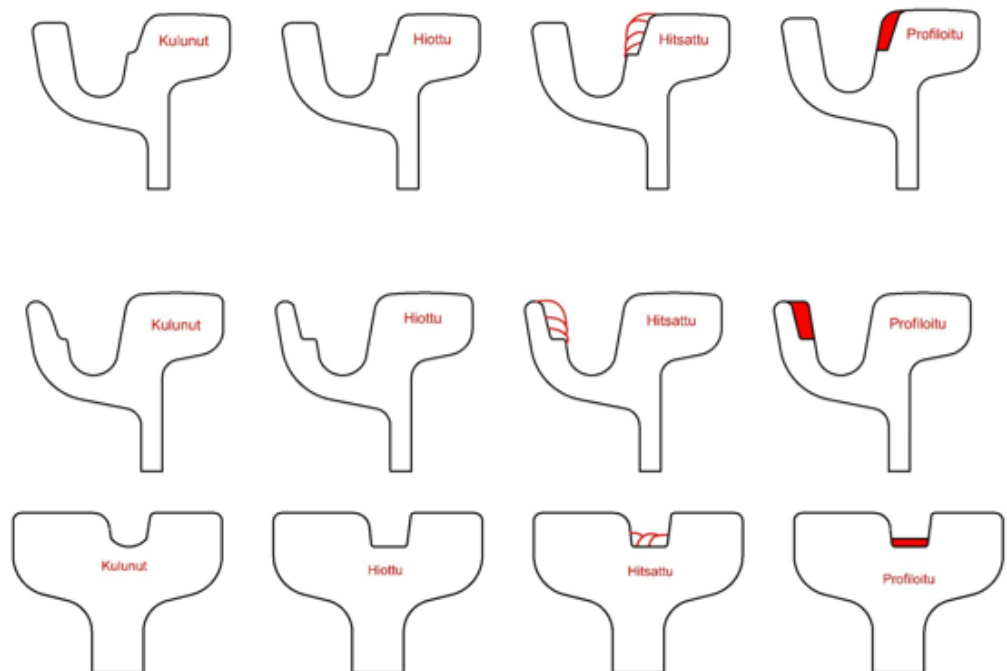
Resiinamittausta käytetään kohteissa, joista halutaan tarkkaa ratageometriaa. Resiinamittaus on näennäisen nopea, ja tehokas tapa tutkia kohteen ratageometriaa, koska kohteesta saadaan dataa näkyville heti työnnon jälkeen. Resiinamittausta käytetään pääasiallisesti kolmenlaisiin käyttötarkoituksiin, jotka ovat uudiskohteiden mittaaminen, kunnossapitohitsaustöiden seuranta sekä rataverkon yleisen ratageometrian kerääminen.

4.2.1 Uudiskohteiden mittaaminen

Kun johonkin kohteeseen on vaihdettu uutta kiskoa, tulee kohde käydä työntämässä jo ennen linjaliikenteen alkamista resiinalla. Näin kohteesta saadaan täysin kulumattomasta tilanteesta mitattua sen ratageometria, jota voidaan myöhemmin verrata vaikka kuukauden kuluttua työnnettyyn dataan. Tämä helpottaa kiskojen kulumisien seurantaa ja mahdollisten ongelmallisten paikkojen paikantaminen helpottuu.

4.2.2 Kunnossapitohitsauksen seurantamittaus

Rataverkon kiskot kuluvat eri kohdista erilaisella tahdilla ja eri tavoin (kuva 11). Tämän vuoksi joitakin kohtia joudutaan korjaamaan enemmän kuin muita. Kiskon paikalliseen korjaukseen käytetään kunnossapitohitsausta, jolla kiskon ominaisuuksia ja sen elinikää pystytään parantamaan.



Kuva 11. Esimerkkejä eri tavalla kuluneista profileista [5 s. 3].

Kun kiskoa hitsataan, halutaan myös nähdä konkreettisesti, kuinka tehty työ on vaikuttanut kiskon ominaisuuksiin. Jotta tapahtunutta muutosta kiskossa pystyttäisiin seuraamaan, on kiskosta saatava mitattua dataa ennen ja jälkeen tapahtuneen hitsauksen. Tähän tarkoitukseen resiinamittaus käy erinomaisesti. Mittausresiinalla käydään siis työntämässä hitsattava kohde ennen ja jälkeen hitsauksen, jolloin saadaan kaksi eri datajoukkoa, joita voidaan verrata keskenään ja siten hitsauksen työn onnistumisen arviointi helpottuu.

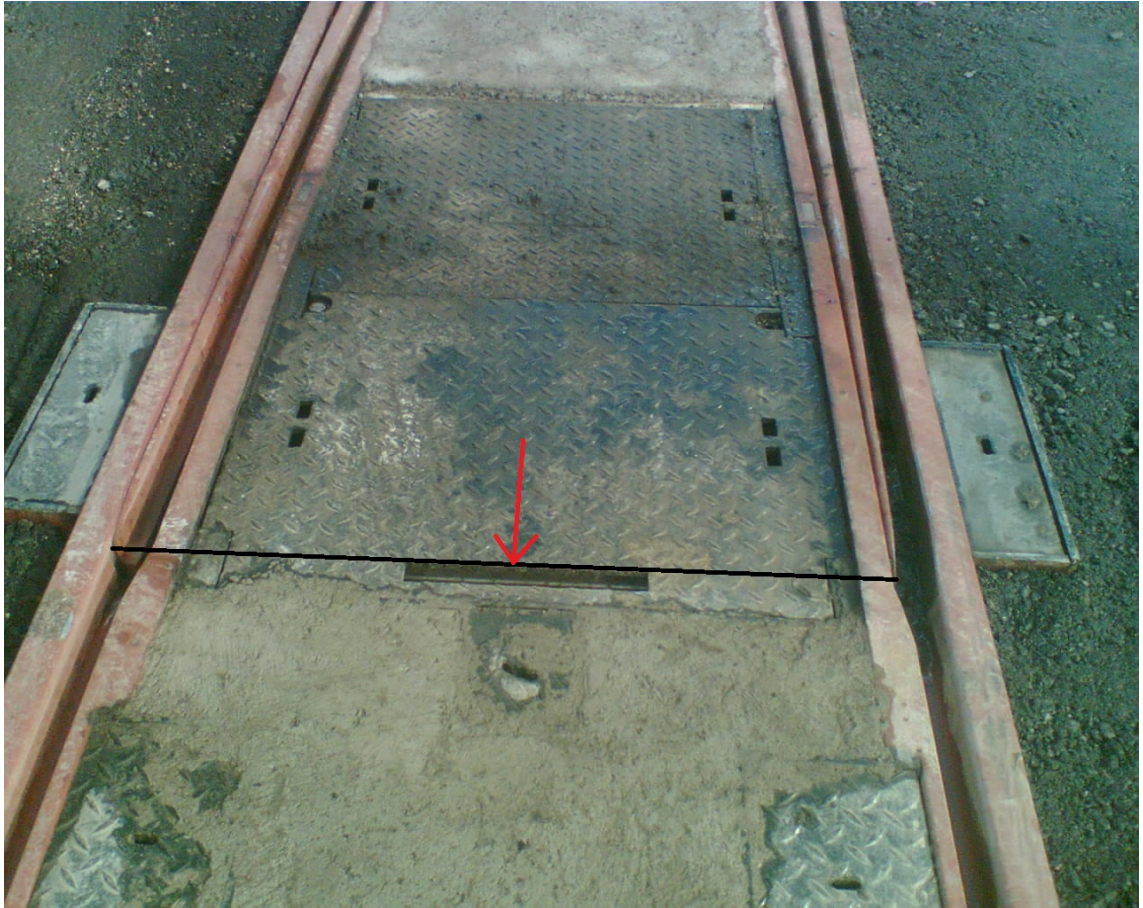
4.2.3 Yleisen ratageometrian kerääminen

Vuonna 2014 otettiin käyttöön toimintamalli, jossa koko rataverkko työnnetään mittausresiinalla vähintään kerran vuodessa. Tällöin koko verkosta on koko ajan saatavilla korkeintaan vuoden vanhaa ratageometriadataa.

4.3 Resiinamittaus käytännössä

4.3.1 Resiinamittauksen valmistelu

Kun mittausryhmä saapuu resiinamittausta vaativaan kohteeseen, se tutkii ensimmäisenä, onko maastossa tunnettuja pisteitä, joista resiinan työntäminen voitaisiin aloittaa ja jolle se voitaisiin lopettaa. Tunnettuja pisteitä voivat olla esimerkiksi raitiolinjojen vaihteet (kuva 12), joille kaikille on olemassa tarkat koordinaatit. Myös rataverkon laserkeilauksessa käytettyjä tähyksiä voidaan käyttää hyväksi.



Kuva 12. Vaihteen mittauspiste esitettynä punaisella nuolella. Vaihteen kielenkärjet ovat mustan viivan päissä [11].

Jos tunnettuja pisteitä ei ole lähistöllä tai jos ne ovat kuluneet pois maastosta, tulee mittausryhmän mitata uudet pisteet. Riippuen paikasta voidaan pisteet mitata joko takymetrimittauksena tai GPS-mittauksena. Jokaiselle kohteelle riittää siis, että mitataan kaksi tarkkuudeltaan riittävää pistettä eli alku- ja loppupiste resiinamittausta varten.

4.3.2 Resiinan työntäminen

Kun pisteet on sijoitettu maastoon sekä niiden koordinaatit ovat selvillä, voidaan resiinan työntäminen aloittaa. Resiina asetetaan kiskoille Reference-moodissa, joka tarkoittaa, etteivät mittausanturit ole mittausasennossa. Resiina asetetaan tarkasti merkatun alkupisteen kohdalle, minkä jälkeen mittausanturit asetetaan mittausasentoon ja työntäminen voidaan aloittaa.

Kun mitattava matka on työnnetty, pysäytetään resiina mitatulle loppupisteelle ja mittaus lopetetaan. Tämän jälkeen mitattu tiedosto tulee nimetä havainnollisesti, jotta myöhemmin dataa käsitellessä tiedoston nimestä voidaan päätellä, mistä mitattu tiedosto on peräisin. Yleinen hyväksi havaittu tapa nimetä tiedostoja on merkata tiedoston nimeen alku- ja loppupisteen nimi sekä paikan osoite, esimerkiksi *T1000-T1002teollisuuskatu-traverssikuja*. Näin nimestä pystytään päättämään, että mitattu matka on tähykseltä 1000 tähykselle 1002, paikka on Teollisuuskadun ja Traverssikujan risteys ja suunta Teollisuuskadulta Traverssikujalle

Kulumisen seurantamittauksia tehdessä on tärkeitä nimetä tiedosto alkutunnisteella ”ennen” tai ”jälkeen”, jotta tiedetään, onko data kerätty ennen tai jälkeen vaikkapa kunnossapitohitsausta. Hyvä tapa on myös asettaa tiedoston nimen perään päivämäärä.

4.4 Resiinamittauksesta saatujen tiedostojen muokkaaminen

Kun kerätty data otetaan ulos resiinan kannettavalta tietokoneelta, on saatu tiedosto hyvä tallentaa xlsx-muotoon. Tällä varmistetaan, että saatu tiedosto pystytään lukemaan kaikilla koneilla, joissa on Excel-ohjelmisto. Kun excel-tiedosto on saatu ulos, tulee se käydä läpi ja katsoa, että kaikki datat näyttävät järkeenkäyville. On hyvä tarkistaa vaikkapa raideleveys sekä urien syvyydet. Jos vaikkapa raideleveys näyttää reilusti yli tai alle 1 000 mm, voidaan todeta, että mittauksessa on tapahtunut jokin virhe tai häiriö. Tällöin kohde täytyy käydä työntämässä uudelleen.

Kun on todettu, että tiedosto näyttää oikealta, tulee tiedoston yläreunaan tehdä taulukko, josta käy ilmi kohteen alku- ja loppupisteen tiedot. Taulukkoon tulee merkata pisteiden nimet sekä niiden koordinaatit (kuva 13). Näin tiedoston avaaja saa tietoonsa, missä kyseinen mittaus on tapahtunut. Tiedoston alkuun on myös hyvä kirjoittaa työntösuunta. HKL:lla suuntien nimiksi on valittu S1 sekä S2, jotka tarkoittavat joko Lasipalatsille päin (S2) tai Lasipalatsilta poispäin (S1). Lopuksi tiedosto tulee nimetä havainnollisesti esimerkiksi osoitteen mukaan. Nimeen ei tässä vaiheessa kannata laittaa kovin paljon enempää tietoa, koska lisätiedot saadaan nyt tiedosto avatessa.

Bulevardin työmaa 2013				Manskun risteys-yrjönkadun risteys			
				x	y		
				Alkupiste	18026,5405	49648,6	
				Loppupiste	17987,5555	49593,1	
S1							
#	Matka (mm)	MP	Raideleveys	Kallistus	Kiertymä	Laippaura vasen (mm)	Laippaura oikea (mm)
1	0	s0 [Pos:0	998,78	27,96		36,87	37,72
101	500	s1 [Pos:5	998,41	26,22		37,91	34,35
201	1000	s2 [Pos:1	998,42	23,47		38,41	37,33
301	1500	s3 [Pos:1	998,5	22,35		38,45	37,21
401	2000	s4 [Pos:2	998,44	18,78		38,34	37,11
501	2500	s5 [Pos:2	998,45	15,41		38,36	37,13
601	3000	s6 [Pos:3	998,47	13,06		38,5	37,19
701	3500	s7 [Pos:3	998,69	9,69		38,5	35,83
801	4000	s8 [Pos:4	998,89	6,63	19,08	38,45	37,06
901	4500	s9 [Pos:4	998,89	3,27		38,34	37,14
1001	5000	s10 [Pos	998,45	2,45		38,45	37,24
1101	5500	s11 [Pos	998,36	-0,61		38,68	37,21
1201	6000	s12 [Pos	998,23	-2,55		38,05	37,03
1301	6500	s13 [Pos	998,23	-2,04		38,37	37,01
1401	7000	s14 [Pos	998,45	-3,27		38,41	37,11
1501	7500	s15 [Pos	998,69	-4,29	12,55	38,39	37,11
1601	8000	s16 [Pos	998,53	-5		38,39	36,98
1701	8500	s17 [Pos	998,63	-3,98		38,33	37,01
1801	9000	s18 [Pos	998,55	-5		38,33	36,95

Kuva 13. Bulevardin työmaan resiinatiedosto Excel-ohjelmassa [11].

5 Laserprofiilimittaus

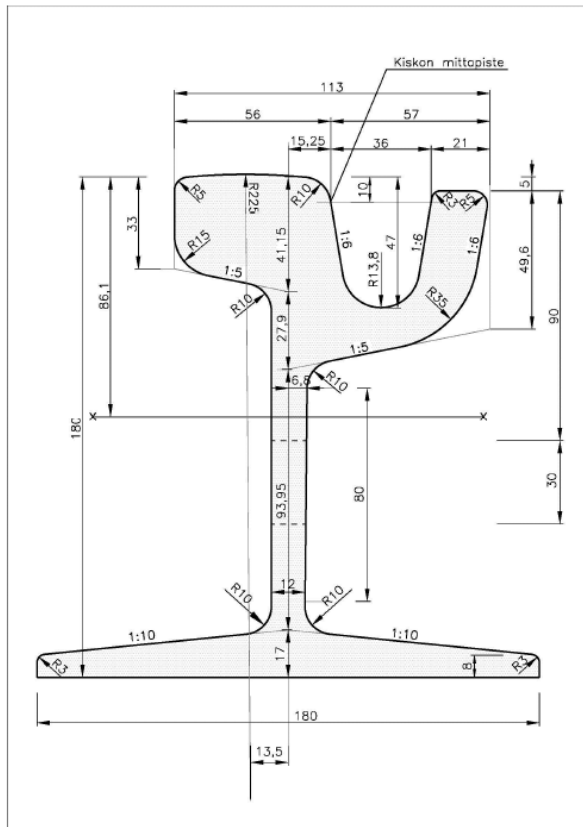
HKL:n ratatiimi sai käyttöönsä käsikäyttöisen laserprofiilimittauslaitteen vuonna 2012. Laitteen hankkimisen taustalla oli ajatus, että kiskon profiilista tulisi saada enemmän tietoa, jotta sen kulumista voitaisiin seurata. [7] Päätettiin tilata Next Sensen valmistama Calipri-mittalaite (kuva 14), joka mittaa kiskon profiilia laseria käyttäen. Tähän laitteeseen päädyttiin sen nopeuden sekä helppokäyttöisyyden vuoksi.



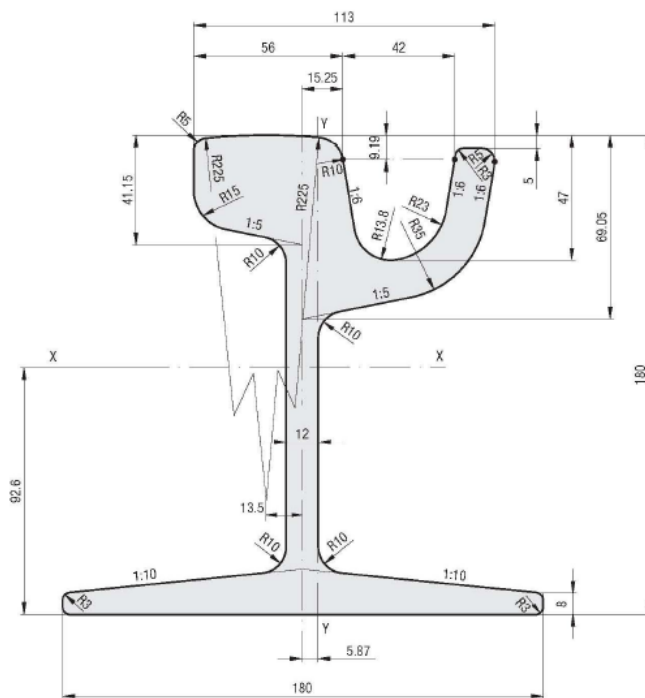
Kuva 14. Next Sense Calipri-mittauslaite [8].

5.1 Kiskon profiili

Kiskon profiililla tarkoitetaan poikkileikkausta kiskosta. Tästä poikkileikkauksesta voidaan seurata kiskon kulumista hyvin tarkasti. Helsingin raitoliikenneverkossa on käytössä kahta erilaista kiskoa, joilla on molemmilla erilaiset profiilit. Pienetkin muutokset kiskon profiilissa vaikuttavat kiskon elinikään sekä raitiovaunujen ajo- ja matkustajamukavuuteen. Siksi onkin tärkeää seurata profiileja, jotta mahdollisiin korjaustöihin voidaan ryhtyä hyvissä ajoin.



Kuva 15. RI60-kiskon profiili [5, s. 22].



Kuva 16. RI59-kiskon profiili [5, s. 23].

5.2 Profiilimittaus käytännössä

Yleensä profiilimittaus tehdään kohteista, jotka sijaitsevat kaarteissa, koska kaarteiden profiilit muuttuvat eniten. Yleisenä toimintatapana on ollut, että yhdestä kohteesta mitataan profiili noin kolmesta kohdasta. Profiilien mittauspaikat sijoitetaan haluttuihin paikkoihin, yleensä kuitenkin kaarteiden alkupisteeseen, kaarteiden puoleen väliin sekä kaarteiden loppupisteeseen. Mitattavat paikat merkataan maastoon merkkausmaalilla sekä mitataan GPS- tai takymetrimittauksella. Näin mittaukset pystytään tekemään täsmälleen samasta paikasta useaan kertaan vaikka merkkausmaali häviäisikin.

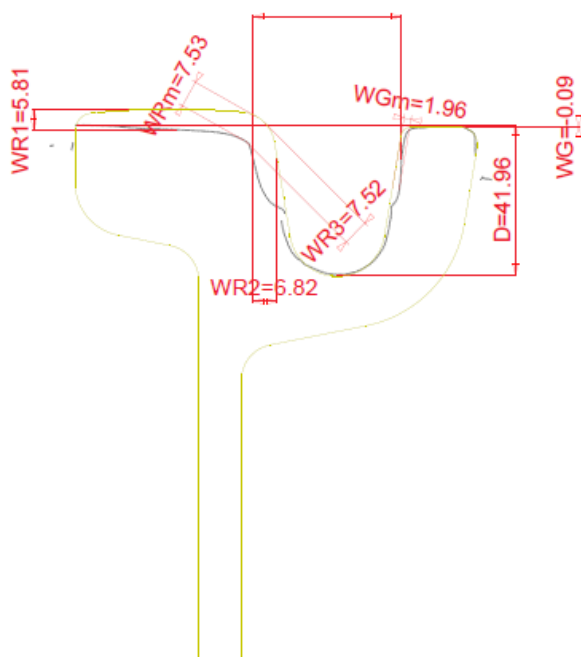
Koska kaarteiden sisä- ja ulkokiskot kuluvat eri tavalla, suoritetaan mittaus molemmista kiskoista. Mittaukset tulee nimetä paikan, suunnan, mittauspisteen sekä mitattavat kiskon mukaisesti. Esimerkiksi *arabiapäättäriS1vasen-1*. Tämä kertoo, että mittaus on suoritettu Arabian päätöspysäkillä, suuntaan 1, mittauspisteeltä 1 sekä vasemmasta kiskosta.

Calipri-laite piirtää mitatun profiilin heti mittauksen jälkeen tabletin näytölle. Onkin hyvä tarkastella heti mittauksen jälkeen, että kuva on piirtynyt oikein. Usein esimerkiksi kiskon pohjalla ollut vesi on voinut heijastaa ja taittaa lasersäteitä, ja näin ollen mittaustulos on kelvoton. Tällöin kisko tulee puhdistaa ja suorittaa mittaus uudestaan.

5.3 Profiilimittausten käsittely

Calipri-laitteelta voi kirjoittaa ulos joko pdf-tiedostoja taikka dxf-tiedostoja. Yleisin kirjoitettava muoto on pdf-muoto (kuva 17), koska se on selkeä ja helposti luettava muoto. Pdf-tiedostosta pystyy suoraan huomaamaan, millä tavoin ja kuinka paljon kiskon profiili on kulunut, koska mitatun profiilin alle piirtyy myös oletusprofiili, johon verrattua ero mitat on esitetty tiedostossa.

Profile:



Kuva 17. Kulunut profiili esitettynä pdf-tiedostona [11].

Jos mitattua profiilia haluaa tarkastella muulla tavoin kuin pdf-tiedostona, voi mitatun tiedoston tallentaa dxf-muodossa, jolloin tiedoston pystyy avaamaan CAD-pohjaisilla ohjelmilla. Tämä mahdollistaa piirtyneen profiilin tarkemman tarkastelun.

6 Laserkeilaus

6.1 Laserkeilauksen taustaa

Ennen vuotta 2011 ei raitioliikenteen rataverkosta ollut yhtenäistä tarkkaa digitaalista mallia ollenkaan. Ainut dgn-muotoinen kuva oli kantakartasta digitoitu kiskojen keskilinja, joka oli tarkkuudeltaan erittäin huono sekä siitä puuttui korkotiedot kokonaan. Siksi koettiin tarpeelliseksi saada tarkka ja kattava digitaalinen malli koko verkosta, joten päädyttiin tilaamaan koko verkon kattava laserkeilaus. Laserkeilaus suoritettiin kesällä 2011 muutaman päivän aikana. [7]

6.2 Mobiililaserkeilaus

Verkon keilaaminen suoritettiin mobiilikeilauksena joka tarkoittaa, ettei käytettävä keilain pysy paikallaan vaan se on liikkeessä keilaushetkellä. Mobiilikeilauksessa käytetään satelliittipaikannuksen lisäksi signalointia, joka tarkoittaa, että keilattavalle alueelle on kartoitettu erillisiä pisteitä, joista saatu pistepilvi voidaan orientoida tarkaksi. [9, s. 4.]

6.3 Laserkeilaus käytännössä

HKL:n tilaama laserkeilaus suoritettiin mobiilikeilauksena siten, että raitiovaunun katolle vaunun etuosaan sijoitettiin laserkeilain noin 3,5 metrin korkeuteen. Tämä korkeus valittiin, koska keilattavalta alueelta haluttiin saada näkyviin myös ajolangat. Lisäksi ylhäältä päin keilatessa mahdolliset katvealueet maanpinnalla saadaan minimoitua.

Suuri osa raitioliikenneverkosta sijaitsee tiheästi rakennetulla alueella jossa sijaitsee paljon korkeita rakennuksia. Tämä tekee mobiilikeilauksessa käytettävän satelliittipaikannuksen paikoittain mahdottomaksi. Korkeat rakennukset aiheuttavat satelliiteille katvealueita, jolloin paikannuksen tarkkuus kärsii pahasti. Tämän vuoksi päätettiin käyttää erikseen kartoitettavia tähyksiä, joista saatu pistepilvi pystyttäisiin orientoimaan tarkasti paikkaansa. [9, s. 10.]

Tähykset kartoitettiin takymetrimittauksella hyvissä ajoin ennen keilausta koko verkon alueelle noin 150 metrin välein ja ne sijoitettiin kiskojen väliin. Tähykset merkattiin maalilla sekä merkkauksenaalalla maastoon.

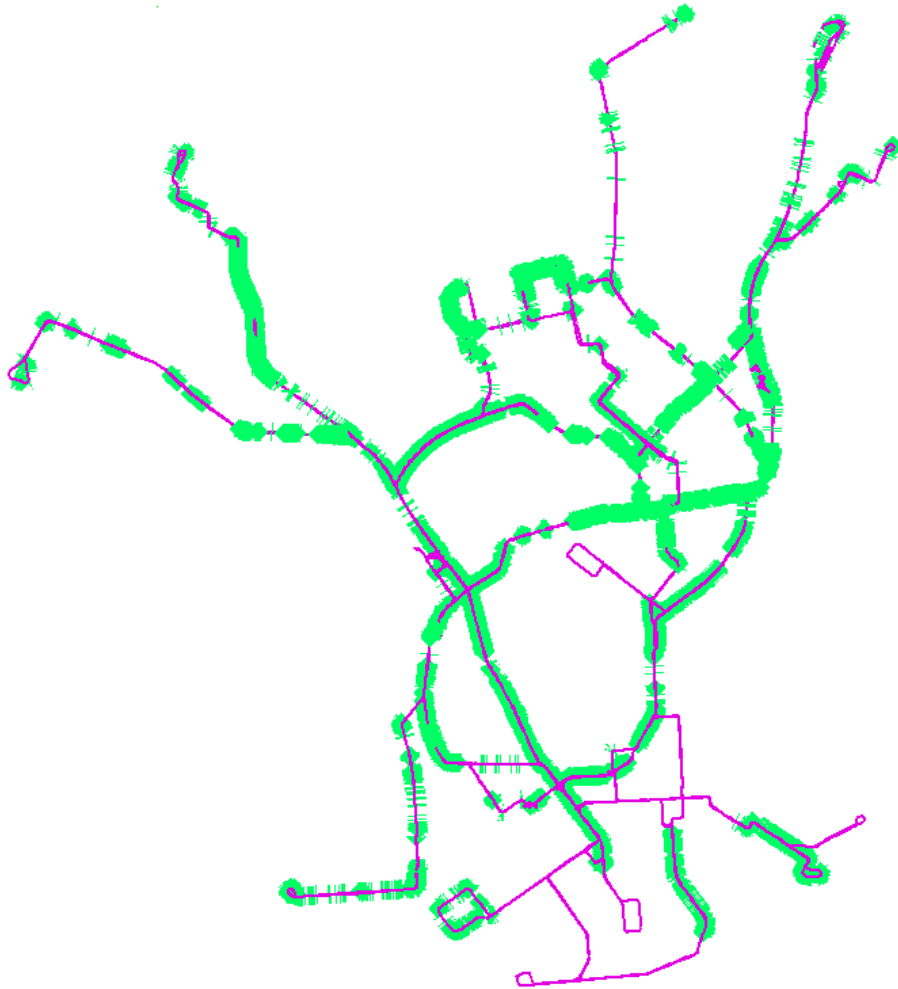
6.4 Laserkeilauksesta saatu data

Tärkein haluttu data keilauksesta oli maanpinta sekä kiskot, koska nämä tiedot ovat ratasuunnittelun ja infran kannalta oleelliset. Samalla keilauksella kuitenkin pystyttiin keilaamaan koko verkon alue aina maanpinnasta ajolankoihin asti. Tämä aiheuttaa erittäin suuren pistepilven, jonka vuoksi materiaalin käsittelyssä kesti hyvin pitkään ja dataa saatiinkin pienemmissä osissa vähitellen käyttöön. [7]

6.4.1 Korkeat päällysteet

Ensimmäisenä haluttiin saada kuva, jossa näkyisivät kaikki ne alueet, joissa kiskon viereinen päällysteen pinta on korkeammalla kuin kiskon ulkoreuna. Korkea päällyste hankaloittaa kiskojen hiontaa ja voi aiheuttaa varsinkin talvisin ongelmia vaunujen suhteellisen alhaisen maavaran takia. Haluttiinkin selvittää mahdollista päällysteiden jyristämisen tarvetta sekä sen määriä ja sitä kautta kustannusten määrää. [4]

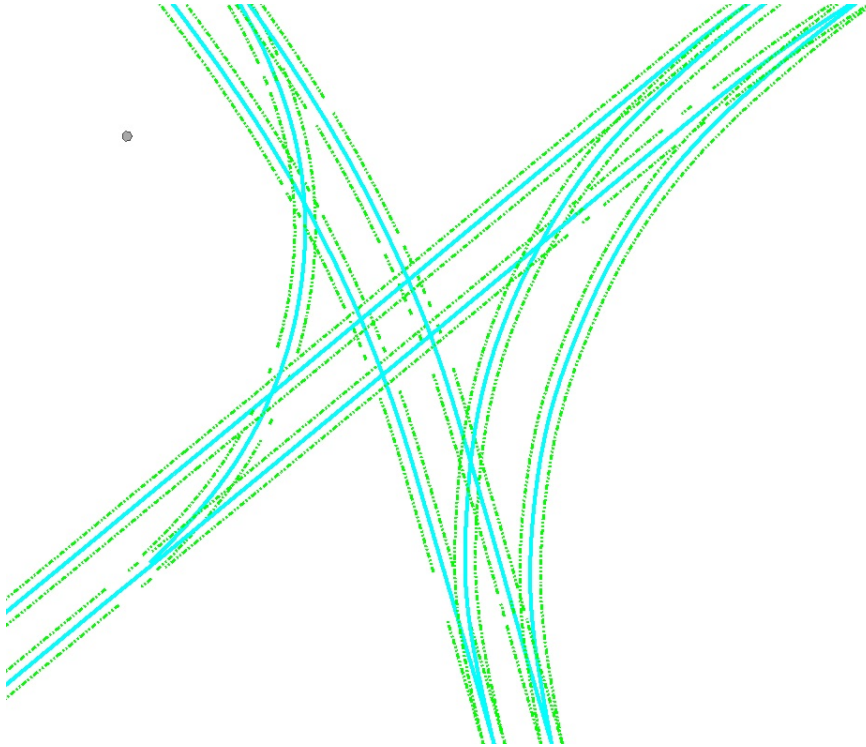
Kuvassa 18 on esitettyä koko raitioliikenneverkko, johon on vihreällä värillä korostettu alueet, joilla päällyste on yli kaksi senttimetriä kiskon ulkoreunaa korkeammalla. Kuten kuvasta voi päätellä, on korkeita päällysteitä hyvin paljon. Tosin kuvassa esitetyt korkeat päällysteet on korostettu melko runsaasti, joka aiheuttaa vääristymää tässä mitta-kaavassa. Kiskon vieressä on voinut olla vaikkapa viiden senttimetrin alue korkeata päällystettä, joka käytännössä on merkityksettömän pieni alue mutta on kuitenkin piirtynyt kuvaan.



Kuva 18. Rataverkko, jossa on korkeat asfaltit esitettynä vihreällä värillä [11].

6.4.2 Raitioliikenneverkko

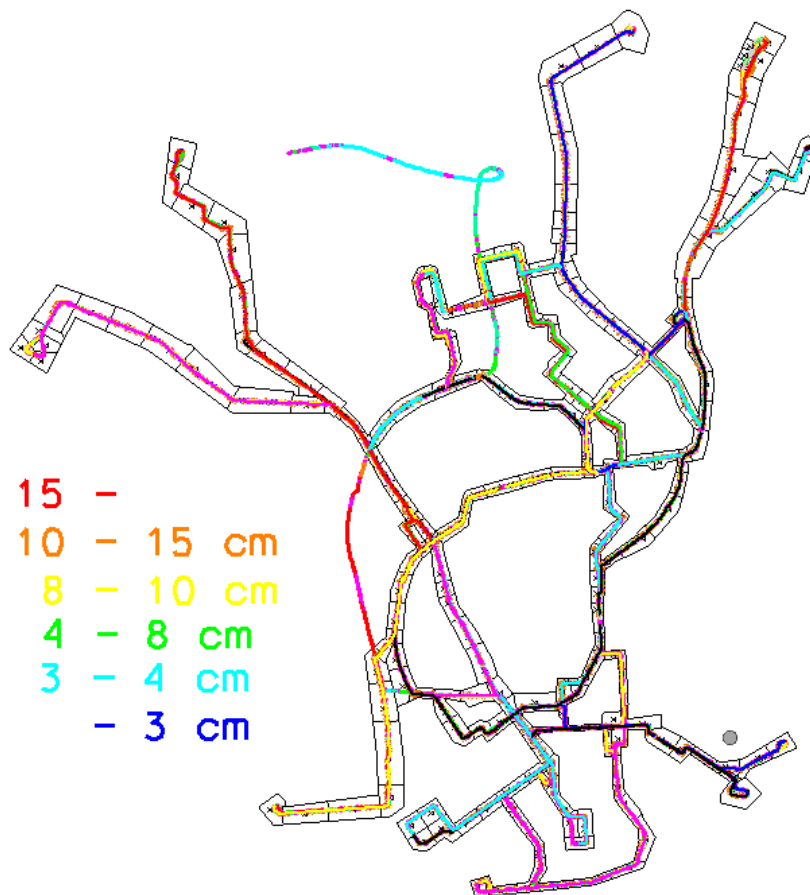
Seuraavaksi laserkeilausmateriaalista saatiin koko verkon kattava kuva, jossa on esitettynä kiskon ulkoreunat sekä niiden keskilinjat (kuva 19). Lisäksi koko kuva on oikeassa korossa esitettynä. Tämä on ensimmäinen koko verkon kattava kuva, jossa koko verkko on mallinnettuna kolmiulotteisesti. Tätä materiaalia on käytetty sen saamispäivästä lähtien kaiken suunnittelun ja piirtämisen pohjana.



Kuva 19. Laserkeilausdatasta saadut kiskon ulkoreunat esitettyinä vihreällä värillä sekä keskilinjat sinisellä [11].

6.4.3 Pistepilvi

Lopulta laserkeilausmateriaalista saatiin koko verkon kattava pistepilvi. Pistepilvessä on esitettyä koko keilausdata aina maanpinnasta ajolankoihin asti. Koska pistepilven koko on huomattavan suuri, on data jaoteltu pieniin pätkiin (kuva 20), jotta tietyn alueen tarkastelu helpottuisi. Kuvassa 20 on kuvattu pistepilven jakamisperiaate mustilla viivoilla rajatuilla alueilla. Kullekin alueella on annettu numero, jonka perusteella pistepilven voi helposti löytää.



Kuva 20. Laserkeilauksen tarkkuuksia sekä pistepilvien jakamisperiaate [11].

Pistepilvidataa on HKL:n ratatiimissä käytetty Bentley descartes -ohjelmistolla, jolla pystytään selaamaan sekä käsittelemään pistepilvidataa helposti ja visuaalisesti selkeästi. Pistepilven käyttö on kuitenkin vielä työn tekohetkellä suhteellisen vähäistä, mutta tulevaisuudessa sen hyödyntämistä ollaan lisäämässä. [7]

6.5 Laserkeilausdatan ongelmat

6.5.1 Mittauspiste

Laserkeilauksesta saadussa datassa kiskon mittauspiste on asetettu kiskon ulkoreunaan. Yleisenä ohjeena on käyttää kiskon mittauspisteinä kiskon ajopintaa. Tämä aiheuttaa laserkeilausmateriaaliin virheellisen raideleveyden. Siksi keilausmateriaalia

käytettäessä on yleensä käytetty kiskojen keskilinjaa, joka osuu täsmälleen kohdalleen. [7]

6.5.2 Kurvien epätarkkuus

Koska laserkeilain on ollut asetettuna raitiovaunun keulaan, on osa tiukemmista kurveista hieman vääristynyt. Koska raitiovaunun keula ”puskee” hiukan ulkokaarteeseen päin tiukissa kurveissa, on osassa kurvien pistepilvissä muutaman senttimetrin heittoja ulkokaarteeseen päin. Tämä on kuitenkin materiaalia käsiteltäessä saatu korjattua suurimmaksi osaksi ainakin kiskojen osalta, eikä virhe ole kovin vakava. [7]

6.6 Laserkeilaus yhteenveto

Laserkeilauksesta saatu data on hyvin kattavaa ja hyödyllistä dataa. Kuitenkin ongelmaksi muodostuu verkon suuri muuttuvuus. Yhden vuoden aikana verkko muuttuu muutos- ja korjaustöiden takia suuria määriä, joka aiheuttaa laserkeilausdatan vanhenemisen hyvin nopeasti. HKL:llä onkin jatkettu edelleen takymetrikartoittamista muuttuneiden kohteiden kartoittamiseen, jotta data olisi ajantasaista. Tulevaisuudessa on kuitenkin tarkoitus tehdä uusi koko verkon kattava keilaus, ja muutenkin laserkeilaamista on tarkoituksena käyttää tulevaisuuden tarpeisiin yhä enemmän.

7 DTK-mittaus

Vuonna 2011 tilattiin saksalaiselta Deutzer Technische Kohle -firmalta koko verkon kattava ratageometrian mittaus. Mittauksen tuloksena saatiin koko rataverkon kattava ratageometria, joka sisältää mitatun matkan pituuden, raideleveyden sekä ajourien leveydet ja syvyydet. Edellä mainittujen mittausdatojen lisäksi mittausvaunussa oli koko ajan kamerat kuvaamassa ajosuuntaan sekä molempiin kiskoihin. Lisäksi mittausvaunussa oli satelliittipaikannus, joka antoi kullekin mittauspisteelle WGS84-koordinaatit. Kuten edellä laserkeilauksen yhteydessä mainittiin, sijaitsee rataverkko suurelta osin satelliittien katvealueella, joten paikoitellen mittauksesta saadut koordinaatit ovat epätarkkoja mutta kuitenkin mitatun reitin paikantamiseen käyttökelpoisia.

7.1 DTK-mittauksen suorittaminen

Mittaukset suoritettiin varustamalla normaali HKL:n raitiovaunu tarvittavilla varusteilla. Vaunuun asetettiin mikroaaltotutka nopeuden ja matkan mittaamista varten (kuva 21), laserskanneri kiskouran mittaamista varten, gyroskooppi ratageometrian mittaamista varten, GPS sijaintitiedon tallentamiseen sekä mittauksen tallentavat tietokoneet vau-
nun sisälle. [10]

Mittausajo tehtiin kahdessa osassa, joissa molemmissa mitattiin kiskourat ja ratageo-
metria. Ensimmäisen mittauspäivän illalla rankka sadekuuro haittasi mittauksia, eikä
joka ajolla saatu täysin kattavaa kiskouran mittausta tehtyä. Toisena mittauspäivänä
vallitsivat kuitenkin kuivat olosuhteet, joten kiskouristakin saatiin kattavat mittaukset
tehtyä. [10]



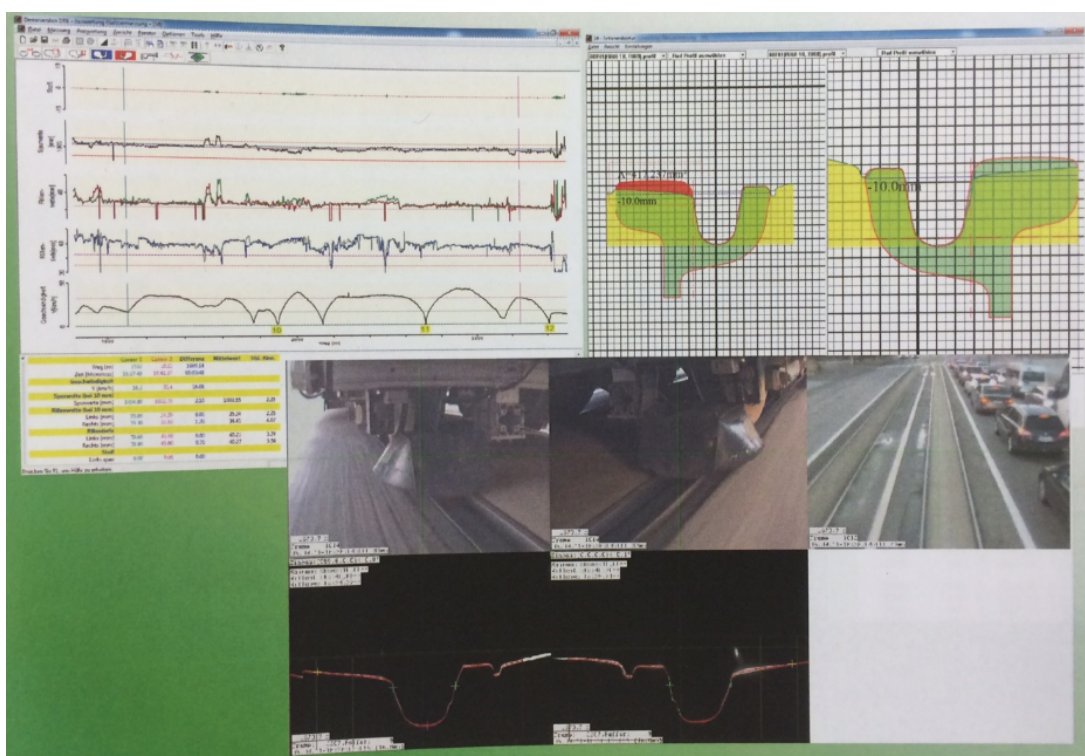
Kuva 21. DTK-mittauksissa käytetty nopeustutka [10].

7.2 DTK-mittauksien käsittely

DTK-mittauksista saatiin dataa excel-tiedostoina, joissa on mitatun matkan mukaan esitettynä kerätty mittausdata. Näihin excel-tiedostoihin haluttiin lisätä vaihteiden pai-
kat, jotta tiedostoihin saataisiin lisää dataa. Taustalla oli myös ajatus, että vaihteiden
paikat lisäämällä voitaisiin vaihteiden takymetrillä kartoitettuja koordinaatteja verrata

mittauksesta saatuihin koordinaatteihin ja sitä kautta tarkkailla koordinaattien paikkaansa pitävyyttä.

Excel-tiedostojen lisäksi dataa saatiin DTK:n oman ohjelmiston muodossa. Erillinen ohjelma esittää mitatun datan kameran kuvaamaan videoon sidottuna, joka mahdollistaa havainnollisen paikkatiedon havaitsemisen maastosta (kuva 22). Tämä mahdollistaa siis, että mittausvaunun voi pysäyttää tiettyyn kohtaan, jolloin sen paikan datan voi lukea suoraan ohjelmasta.



Kuva 22. DTK-ohjelman näkymä [10].

Edellä mainitun ohjelman avulla pystyttiin siis pysäyttämään mittausvaunu jokaisen vaihteen kohdalle erikseen, jolloin pystyttiin lukemaan vaunun kulkema matka ja siten löydettiin excel-tiedostosta mittauspiste, jonka kohdalle vaihteen numero pystyttiin lisäämään.

7.3 DTK-mittauksen ongelmat

7.3.1 Olosuhteet

Koska DTK-mittauksessa käytetty mittausmenetelmä käyttää laseria, on mittausolosuhteiden oltava kuivat. Jos kiskoissa on esimerkiksi vettä pohjalla, lasersäteet helposti taittuvat veden pinnasta ja ovat käyttökelvottomia. Näin kävikin toisena mittauspäivänä, joten märkien kiskojen vuoksi jouduttiin suorittamaan yksi mittauspäivä lisää, kun olosuhteet olivat kuivat.

7.3.2 Videon epätahtisuus

Kun mittaustuloksia katsoo DTK:n omalla ohjelmalla, huomaa, että vasemman ja oikean kiskon kamerat eivät aina ole olleet täysin oikein tahdistettuina keskenään tai etukameraan verrattuna. Tämä aiheuttaa esimerkiksi vaihteen paikkaa merkatessa ongelmia, koska ei ole tietoa mikä kamera on oikeassa kohdassa matkan suhteen.

7.3.3 Koordinaatiston epätarkkuus

Kuten edellä jo mainittiinkin, on mittausvaunun mitannut reittinsä satelliittipaikannuksella. Koska monissa paikoissa on erittäin paljon katvealueita omaavia paikkoja, on siten monissa paikoissa myös koordinaateissa suuria heittoja. Tämä aiheuttaa helposti hämmennystä, jos koordinaatit syötetään johonkin ja ne osoittavat monta metriä kiskoalueen ulkopuolelle.

8 Kohti yhtenäistä paikkatietodataa

Koska ratatiimi on suorittanut monenlaisia eri paikkatiedon keruumenetelmiä, on koettu tarpeelliseksi, että kaikki kerätty data voitaisiin ottaa käyttöön jollakin yhtenäisellä tavalla. Jotta paikkatieto voisi olla yhtenäistä, tulisi ihan aluksi sen sijaintitiedolla olla jokin yhtenäinen esitystapa. Koska kaikki ratatiimin paikkatiedon sijaintitiedot sijoittuvat rataverkolle, on järkevää luoda rataverkolle yksityiskohtainen nimeämisjärjestelmä. [4 ; 7.]

8.1 Rataverkon paalutus

Jotta rataverkolla voitaisiin havainnollisesti esittää jokin tietty paikka, tulee rataverkko jakaa erillisiin paaluihin. Paalutus-periaatetta käytetään paljon junaliikenteessä sekä metroluikenteessä, joten on luontevaa, että samankaltainen järjestelmä otetaan käyttöön myös raitioliikenteessä.

Paalutuksen perusideana on ajatus, että jotkin paikat rataverkolla ovat nimettyinä havainnollisesti. Kun jollakin tietyllä paikalla on havainnollinen nimi, voidaan haluttu paikka esittää siitä paikasta etäisyyden avulla. Jos vaikkapa jonkin radan alku on merkattu nollapaaluksi, voidaan siitä 15 metrin päässä sijaitseva paikka merkitä nimellä 0+15m. Koska raitioliikenteen rataverkko on monimutkainen verrattuna vaikkapa junaliikenteeseen, on raitioliikenteen rataverkko syytä jakaa moniin eri osiin ja antaa niille kullekin omat paalulukunsa.

8.1.1 Rataverkon paalutuksen periaate

Rataverkon paaluttamisessa päätettiin lähteä liikkeelle jakamalla verkko eri paaluihin aina vaihteiden kohdalta. Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska jokaisella vaihteella on mitattuna tarkat koordinaatit ja siten kunkin paalun alku- ja loppupisteelle olisi koordinaatit jo valmiina.

Paalut oli helppo myös nimetä vaihteiden mukaan. Esimerkiksi raitiovaunun linja 9:n päätepysäkki sijaitsee Pasilan asemalla Ratapihantiellä (kuva 23). Päätepysäkin kohdalla sijaitsevat ohitusraiteen vaihteet 309 sekä 308. Näin ollen linja 9:n ensimmäinen paalu on nimeltään 309-308. Paalujen nimet nimetään siis aina vaihteelta vaihteelle raitiovaunun ajosuunnan mukaisesti.



Kuva 23. Havainne kuva paalutuksen periaatteesta. Raitiolinja 9:n päätepysäkki on punaisen nuolen osoittamassa kohdassa [11].

8.1.2 Rataverkon paalutuksen toteuttaminen

Kun nimeämisperiaate oli päätetty, koettiin tarpeelliseksi, että ratatiimillä tulisi olla dgn-kuva rataverkon paalutuksesta, jossa jokaisen paalun nimi tulisi esille. Tämä toteutettiin luomalla Microstationilla jokaiselle paaluluvulle oma tasonsa, minkä jälkeen laserkeilausmateriaalista saatu rataverkkokuva jaoteltiin eri paaluille. Jaottelu toteutettiin katkaisemalla viiva aina vaihteen kohdalta, jossa paaluluku muuttuu ja sen jälkeen asettamalla se omalle tasolleen. Tämän jälkeen paaluluvun nimen näkee asettamalla kursorin halutun viivan päälle (kuva 23). Lisäksi kaikki varakurvit, jotka eivät ole linjaliikenteen käytössä, asetettiin omalle tasolle, jonka nimeksi annettiin *spare curve*.

Kun paalutuksen mukainen dgn-kuva oli tehty, tehtiin seuraavaksi excel-taulukko, jossa jokainen raitiovaununlinja on esitettyä sen reitillä sijaitsevien paalujen mukaisesti. [Liite 1.]

8.2 Rataverkon suorien ja kaarteiden erittely

Kun rataverkko oli jaettu paaluluvuittain, koettiin tarpeelliseksi, että jokaiselle rataverkon suoralle ja kaarteelle tulisi saada lisää informaatiota. Tavoitteena oli, että suorat ja kaarteet olisivat erillisiä omia elementtejään, joiden attribuuttitietoina olisi kunkin elementin pituus sekä säde.

Jotta suorat ja kaarteet pystyttäisiin erottamaan toisistaan, tuli koko rataverkolta etsiä ensin jokaisen kaarteiden tangentialipisteet. Niiden avulla pystyttiin paikantamaan kohdat, joissa suorat osuudet muuttuvat kaarteiksi, ja taas kohdat, jossa kaarteet muuttuvat taas suoriksi.

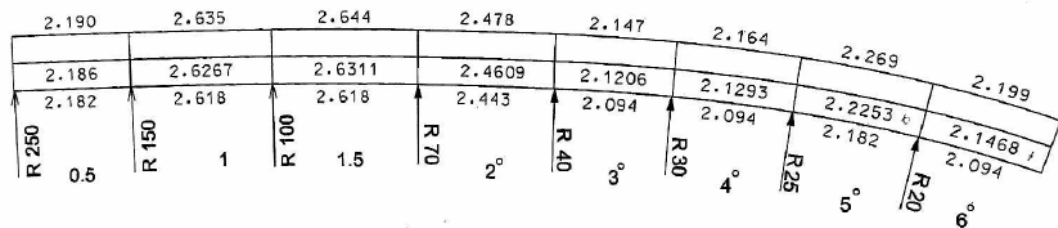
Tangentialipisteet on uusimpiin kiskoihin merkattuna maastoon, josta niiden koordinaatit pystyttiin paikantamaan takymetrimittauksella. Vanhemmista kiskoista tangentialipisteiden paikat tuli etsiä joko vanhoista piirustuksista taikka laserkeilauskuvasta arvioimalla. Kun tangentialipisteet oli paikannettu, voitiin suorat kohteet ja kaarteet erotella toisistaan katkaisemalla elementit tangentialipisteiden kohdilta.

Seuraavaksi tuli jokainen kaarre ja suora piirtää erikseen Power Railtrack -ohjelmalla, jotta elementtiin saataisiin säde-attribuutti. Suorat kohteet piirrettiin käyttäen säteenä joko merkintää 0 taikka ∞ . Tämä tarkoittaa, ettei elementillä ole sädettä, joten se on siis suora.

Kaarteet piirrettiin laserkeilausmateriaalin keskilinjaa sekä suunnitelmapiirroksia avuksi käyttäen. Jokainen kaarre sisältää eri säteitä, koska jokaisessa kaarteessa on niin sanottu siirtymäkaari, joka pehmentää kaarteita. Yleisesti kaarteessa on ensin siirtymäkaari, sitten pääkaari, jonka jälkeen taas siirtymäkaari (kuva 24). Nämä kaikki attribuutit saatiin lisättyä kaarteiden elementteihin piirtotilanteessa.

Osasta kaarista ei ollut olemassa minkäänlaista aiempaa suunnitelmakuvaa, jolloin säteitä jouduttiin arvailemaan ja kokeilemaan Power Railtrack -ohjelmassa. Tämä ai-

heutti lopputulokseen pientä heittoa joidenkin kaarteiden osalta, mutta suurimmaksi osaksi rataverkon jaottelu onnistui hyvin. Lopputuloksena rataverkosta syntyi kuva, jossa on kaikki elementit nimettynä paalulukujen mukaisesti sekä kullekin elementille on attribuuttitietona sen pituus sekä säde. Lopuksi annettiin vielä jokaiselle kaarteelle punainen väri sekä jokaiselle suoralle vihreä väri hahmottamisen helpottamiseksi.



Kuva 24. Esimerkki siirtymäkaarista kaarteesta, jonka pääsäde on 20 [12].

9 Optram

Kun paalutus sekä suorien ja kaarien tiedot oli saatu Microstationissa yhteen dgn-kuvaan, haluttiin myös muuta paikkatietodataa yhtä havainnollisesti esitettynä johonkin ohjelmaan. Tärkeimmäksi koettiin ajatus, että kaikki ratageometrian mittausdata olisi syytä saada yhteen ohjelmaan, josta sitä olisi helppo lukea ja johon sitä olisi helppo päivittää. Tavoitteena oli saada ratageometrian mittausdata sillä tavalla luettavaksi, että siitä pystyisi havainnoimaan mahdolliset ongelmakohdat sekä tulevat korjaustarpeet. Näitä tarpeita vastasi parhaiten Bentley'n Optram-ohjelma, joka on tehty nimenomaan ratojen mittausdatan käsittelyä varten. [7]

9.1 Datat muokkaaminen

Koska ohjelmaan haluttiin juuri ratageometrian mittausdataa, päätettiin siihen aluksi syöttää DTK-mittausdata sekä resiinadata. Nämä datat olivat valmiiksi jo excel-muodossa, jossa niiden tulee olla Optramiin syöttämistä varten. Ohjelmaan tuli ihan aluksi saada jokin ratageometriadata, joka olisi jaoteltu raitiovaununlinjoittain, jotta oh-

jelmaan saataisiin luotua jokainen raitiovaununlinja erikseen. Tämä tarkoitti sitä, että koko DTK-mittausdata tuli käydä läpi ja muokata oikeaan muotoon, jotta data pystytettiin lisäämään Optramiin. Koska DTK-mittausdata sekä resiinadata sisältävät samanlaista ratageometriaa, käydään tässä läpi molemmille mittausdatoille yhteinen muoto, johon ne tulee saattaa ennen Optramiin syöttämistä. Yhteinen muoto tarkoittaa lähinnä sitä, mitä sarakkeita Excel-tiedostoihin tulee lisätä, jotta Optram osaa lukea ne.

Koska niin DTK- kuin resiinadatassa on ratageometria esitettynä Excelin pystysarakkeissa, tulee muokattavaan tiedostoon lisätä pystysarakkeet Line, Marker, Offset, sekä Track (kuva 25). Kaikki lisättävät tiedot tulee lisätä paalutuksen mukaisesti, jotta paikatiedon nimeämisperiaate pysyisi yhtenäisenä ja siten selkeänä.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Line	Marker	Offset	Track	S/mm	groove width L	groove width R	groove depth L	groove depth R [mm]	
2	247-248	247	0	247-248	1002,8	35,7	33,9	42,5	42	
3	247-248	247	0,252	247-248	1002,4	35,6	34	42,7	42,2	
4	247-248	247	0,504	247-248	1003,5	40,7	38,5	42,9	42,6	
5	247-248	247	0,756	247-248	999,9	40,7	38,5	20,4	40,6	
6	247-248	247	1,008	247-248	1018,9	38,5	36	42,3	46,2	
7	247-248	247	1,26	247-248	1018,9	38,5	36	43,1	40,5	
8	247-248	247	1,512	247-248	1018,9	38,5	36	40,8	41,1	
9	247-248	247	1,764	247-248	1018,9	38,5	36	37,3	38,9	
10	247-248	247	2,016	247-248	1018,9	40,4	69,3	59	35,6	
11	247-248	247	2,268	247-248	1053,7	38,5	12,5	63,4	37,5	
12	247-248				1008,2	37,7	0	61,9	0	
13	247-248				1008,6	37,6	39,2	49,5	45,9	
14	247-248				1003,6	30,8	36	38,7	27,5	
15	247-248				1006,3	38,5	38,5	27,2	24,9	
16	247-248				1005,4	36,2	37,4	45,7	32,1	
17	247-248				1005,5	36	38	46,2	27,7	
18	247-248	247	4,032	247-248	1004,7	35,7	35,4	45,6	44,2	
19	247-248	247	4,284	247-248	1005,1	36,2	35,3	45,6	44,2	
20	247-248	247	4,536	247-248	1005,7	36,3	35,4	45,7	44,4	
21	247-248	247	4,788	247-248	1004,4	36,4	35,1	45,4	44,2	
22	247-248	247	5,04	247-248	1006,6	36,1	35,6	45,2	44,7	
23	247-248	247	5,292	247-248	1007	35,5	34,7	44,4	43,7	
24	247-248	247	5,544	247-248	1006	35,9	34,7	44,4	44,1	
25	247-248	247	5,796	247-248	1006,8	35,8	34,7	44,9	44,1	
26	247-248	247	6,048	247-248	1006,9	35,9	34,9	44,7	44,4	
27	247-248	247	6,3	247-248	1006,5	35,5	34,8	44,7	44,2	

Kuva 25. Lisättävien sarakkeiden selitykset [11].

Näillä lisätyillä pystysarakkeilla siis saadaan Optram ymmärtämään syötetyn datan paikka. Jos jatkossa halutaan lisätä attribuutteja, ne voidaan nyt lisätä oikealle uutena pystysarakkeena, kunhan se on vain oikealla tavalla paikkaan sidottuna paalutuksen mukaisesti. Nyt mitatulle ratageometrialle on luotu yhtenäinen tiedostomuoto, jota voidaan käyttää tiedostoja Optramiin syöttäessä.

9.2 Data Optramissa

Tätä työtä tehtäessä on Optramiin syötettynä kaksi eri DTK-mittausta vuodelta 2011, resiinamittaukset vuodelta 2014 sekä ajolankojen virroituksenmittausdata vuodelta 2011. Ajolangoista kerätty data jätetään tässä käsittelemättä, koska se ei liity varsinaiseen ratageometriaan.

Kaikki mittausdatat on ohjelmassa esitettyinä raitiovaunulinjojen sekä paalulukujen mukaisesti. Ohjelmassa on pudotusvalikko, josta voi valita halutun paaluvälin taikka raitiovaunulinjan. Kun haluttu alue on valittu, näyttää ohjelma valitulta alueelta seuraavat eri mittausdatat:

- radan rakenteen (Track Layout)
- raideleveyden (Gauge)
- raideleveyden toleranssin (Gauge Limit)
- ajouran leveydet vasen ja oikea (Groove width)
- ajouran syvyydet vasen ja oikea (Groove depth).

Ohjelmassa voi valita halutun paikan Track Layout -sarakkeesta, jolloin kaikki yllämainittu data piirtyy siltä paikalta ruudulle. Ohjelman voi valita piirtämään kaikki mittaukset päällekkäin, jolloin pystytään havainnollisesti katsomaan vaikkapa raideleveyden muutosta DTK- ja resiinamittauksien välillä. Kuvassa 26 on esitetty näkymä ohjelmasta, jossa on valittuna linjaksi raitiolinja 4. Suunnaksi on valittuna W2E, joka tulee englannin kielen sanoista west to east, tarkoittaa siis suuntaa lännestä itään eli linjan 4 tapauksessa Munkkiniemestä Katajanokalle päin. Marker-sarakkeeseen on valittu 201-233, mikä tarkoittaa että ohjelma näyttää nyt paaluluvun 201-233 alueen. Tästä voidaan paikantaa alue Mannerheimintielle, koska vaihte 201 sijaitsee Mannerheimintien ja Sibeliuksenkadun risteyksessä ja vaihte 233 sijaitsee Mannerheimintien ja Runeberginkadun risteyksessä. [Liite 2.] Track-valikosta pystyy valitsemaan Marker-valikossa valitun paaluluvun osia yksityiskohtaisemmin, tässä esimerkissä valikkoon on kuitenkin valittu kohta All, joka näyttää kaiken datan halutulta paaluväliltä.

Mittausdatat on esitettyä diagrammikuvina, joissa näkee eri väreillä DTK-mittaukset sekä TG-trolley, eli resiinamittaukset. Kuten kuvassa 26 näkyvästä tilanteesta pystyy lukemaan, on mittauksissa huomattaviakin eroja esimerkiksi urien syvyyksissä (Groove depth). Tämä johtuu monesti siitä, että mittaushetkellä kiskoissa on voinut olla kiviä taikka muuta roskaa, mikä aiheuttaa vääristymää mittaukseen.

9.3 Optram tulevaisuudessa

Tulevaisuudessa Optramiin aletaan lisäämään entistä enemmän dataa sekä attribuutteja. Tarkoituksena on, että ohjelmaan syötettäisiin jokaisen kaarten ja suoran pituus sekä sädetiedot attribuuteiksi track layout-osioon. Myös muun muassa vaihteiden sekä ristikkokiskojen historiatietoja tullaan jatkossa lisäämään ohjelmaan, jotta kyseisten elementtien korjaustarvetta voitaisiin helpommin arvioimaan. Lisäksi kaikille rataverkon elementeille on suunnitteilla summittaisen osoitetiedon lisääminen, jotta paikan hahmottaminen helpottuisi ja siten useammat käyttäjät pystyisivät helpommin hyödyntämään

mään

ohjel-

maa.

[4 ; 7.]



Kuva 26. Näkymä Optram-ohjelmasta [11].

**10
hteen
veto**

Y

Yhte-
näisen
paik-

katietojärjestelmän toimivaksi saattaminen vaatii useita eri työvaiheita sekä paljon tut-

kimus- ja suunnittelutyötä. Ratatiimin tilanteessa järjestelmän luominen on ollut erityisen haastavaa, koska rataverkolla on niin monenlaista erilaista paikkatietoa ja niiden yhtenäiseksi sovittaminen on paikoitellen hyvin haastavaa. Kerätyt paikkatietodatat jäävät helposti hyödyntämättä, koska niiden lukeminen ja analysointi on hyvin vaikeata ilman yhtenäistä pohjaa toiminnalle.

Ratatiimin tilanteessa on järjestelmää pystytty kehittämään siihen pisteeseen, että paikkatietodatalle on nyt yhtenäinen nimeämisjärjestelmä sekä kaksi pääasiallista ohjelmaa sen lukemista varten. Myös tulevaisuuden mittausdatojen keräämiselle ja muokkaamiselle on nyt pääpiirteittäin selkeät toimintatavat, jotka helpottavat datan järjestelmään syöttämistä. Tulevaisuudessa esimerkiksi resiinalla kerättävä mittausdata voidaan nimetä suoraan paalulukujen mukaisesti ja se voidaan muokata suoraan Opt-ramin vaatimaan muotoon. Tämä tekee paikkatiedon keräämisestä tehokkaampaa ja käyttäjäystävällisempää.

Lähteet

- 1 Tämä on HKL. 2014. Verkkodokumentti. Helsingin kaupungin liikennelaitos. <
<http://www.hel.fi/www/hkl/fi/tama-on-hkl/>> Luettu 10.1.2015
- 2 Raitiovaunulla. 2015. Verkkodokumentti. Helsingin kaupungin liikennelaitos. <
<http://www.hel.fi/www/hkl/fi/raitiovaunulla/>> Luettu 10.1.2015
- 3 Organisaatio. 2014. Verkkodokumentti. Helsingin kaupungin liikennelaitos. <
<http://www.hel.fi/www/hkl/fi/tama-on-hkl/organisaatio/>> Luettu 10.1.2015
- 4 Pihlajaoja Pertti, ratatöiden valvoja HKL. Haastattelu. Käyty 15.8.2014
- 5 Ratojen yleinen työselostus. RYT 2013
- 6 Helsingin kaupungin kaupunkimittausosasto. Pistekorttirekisteri.
- 7 Portti Jarno, ratasuunnittelija HKL. Haastattelu. Käyty 10.7.2014
- 8 Accurate track system measurement. 2015. Verkkodokumentti. Next Sense. <
<http://www.nextsense.at/en/calipri/applications-solutions/track-system-measurement/>> Luettu 25.9.2014
- 9 Kyrklund Otto. 2013. Helsingin kaupungin liikennelaitoksen ja kaupunkimittausosaston laserkeilausaineistojen vertailu. Insinööritö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Luettu 23.10.2014
- 10 Ratamittaus työ DTK. Loppuraportti.
- 11 HKL ratatiimin oma mittausarkisto.
- 12 HKL Suunnitteluopas 2013.

[illegible]

Vaihdeluettelon ote

VAIHDEKARTTA 2

