

Otto Kyrklund

# Helsingin kaupungin liikennelaitoksen ja kaupunkimittausosaston laserkeilausaineistojen vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

12.5.2013

<p>Tekijä(t) Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Otto Kyrklund Helsingin kaupungin liikennelaitoksen ja kaupunkimittausosaston laserkeilausaineistojen vertailu</p> <p>45 sivua + 2 liitettä 12.5.2013</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>insinööri (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>maanmittaustekniikka</p>
<p>Ohjaaja(t)</p>	<p>ratasuunnittelija Jarno Portti lehtori Jussi Laari</p>
<p>Insinööriyön aiheena on vertailu Helsingin kaupungin kaupunkimittausosaston, sekä Helsingin kaupungin liikennelaitoksen tuottamien laserkeilausaineistojen välillä. Molemmat aineistot on tuotettu liikkuvaa keilainalustaa käyttäen, kaupunkimittausosaston aineisto on keilattu ilmasta, liikennelaitoksen aineisto maanpäällä liikuttaessa. Liikkuvalla alustalla tapahtuva keilaus on varsin uusi mittaus tapa ja mobiilikeilausaineistoja tuotetaan jatkuvasti enenevässä määrin laitteistojen hintojen laskiessa.</p> <p>Työssä perehdytään aineistojen keräysmenetelmiin ja niiden eroavaisuuksiin. Lisäksi selvitetään, minkälaista aineistoa keilauksella tuotetaan ja mitä toimenpiteitä kerätyille aineistolle on tehtävä jotta siitä saadaan irti haluttua tietoa.</p> <p>Aineistoja vertaillaan keskenään sen perusteella, miten niitä on käytetty ja minkälaisia tuotteita niistä on jalostettu. Aineistojen laajuuden vuoksi vertailuun valitaan tiettyjä otanta-alueita, joilla vertailua aineistojen välillä tehdään tarkemmin. Otanta-alueilta vertailua tehdään sekä visuaalisesti että laskennallisesti. Tarkoituksena on selvittää aineistojen yhteensopivuutta ja mahdollisia yhteiskäyttömahdollisuuksia.</p> <p>HKL:n aineistoa verrataan lisäksi takymetrillä kartoitettuihin rataverkon osuuksiin. Vertailua takymetrikartoituksiin tehdään, jotta voitaisiin selvittää mobiilikeilauksen tarkkuutta verrattuna takymetrikartoitukseen. Vertailukohteet valikoituvat sen mukaan, mistä takymetrikartoituksia on tehty, eikä rataverkko ole muuttunut kartoituksen ja keilauksen välisenä aikana.</p> <p>Työssä saatiin selville eroja ja yhtäläisyyksiä keilausaineistojen välillä. Lisäksi mobiilikeilauksen virheläheistä saatiin parempaa tietoa mm. satelliittigeometrian vaikutuksesta keilaushetkellä.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>Laserkeilaus, pistepilvi, mobiilikeilaus, Helsinki</p>

Author(s) Title	Otto Kyrklund A comparison of Laser Scanning Data produced by Helsinki City Transport and the Helsinki City Survey Division
Number of Pages Date	44 pages + 2 appendices 12 may 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructor(s)	Jarno Portti, Track designer Jussi Laari, Senior lecture
<p>The subject of the thesis is a comparison of laser scanning data produced by the Helsinki City Survey Division, as well as the Helsinki City Transport. In both cases the survey data has been collected by scanning from a moving platform. The scanning data produced by the Helsinki City Survey Division has been collected by airborne scanning while the Helsinki City Transport has used a tram as the mounting platform for the scanner.</p> <p>The goal is to find out resemblances as well as differences between the scanning methods and to look into what kind of data is produced by mobile scanning. The thesis also looks into what measures have to be taken in order to extract the desired information from the data.</p> <p>The two materials will be compared on the basis of how they are used and what kind of products they have been processed into. Because of the vastness of the materials, certain areas will be chosen where the comparison between the data sets is made in higher detail. In the sampling areas comparison is made both visually and computationally. The aim is to determine the compatibility and possibilities of joint use of the data.</p> <p>In addition, the data collected by the Helsinki City Transport is compared to mappings of the rail network by using a total station. Comparison with the mapping made by using a total station is done to determine the accuracy of the mobile scanning. The areas for comparison are chosen by the mapping data available and where the infrastructure has not changed between the collections of the materials.</p> <p>In the work, differences as well as similarities between the scanning data were spotted out. In addition more information about the sources of error in the mobile scanning data was found out.</p>	
Keywords	Laser scanning, point cloud, mobile scanning, Helsinki

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn taustaa	1
1.2	Työn tavoitteet	2
2	Laserkeilausaineiston tuottaminen	2
2.1	Laserkeilain	2
2.2	Keilaintyytit	3
2.3	Mobiililaserkeilaus	4
3	Keilausdata	5
3.1	Pistepilvi	5
3.2	Pistepilven tiheys	5
3.3	Ohjelmistot aineiston käsittelyä varten	6
3.4	Pistepilvien yhdistäminen	6
3.5	Pistepilven väriyty	7
3.6	Turhien pisteiden suodattaminen	8
4	Vertailtavat aineistot	8
4.1	KMO:n aineiston tuottaminen	8
4.1.1	Keilaus vuonna 2011	9
4.1.2	Keilaus vuonna 2012	9
4.1.3	Aineiston jälkikäsittely	10
4.2	HKL:n aineiston tuottaminen	10
4.2.1	Riegl VQ250 -laserkeilain	10
4.2.2	Aineiston jälkikäsittely	11
4.3	Koordinaatistot	11
5	Keilausaineiston käyttö	12
5.1	Kaupunkimittausosaston keilausaineistosta selviävät kohteet	12
5.2	KMO:n keilausaineiston käyttö	12
5.3	HKL:n aineistosta selviävät kohteet	13
5.4	HKL:n keilausaineiston käyttö	14
6	Aineiston luokittelu	15

6.1	Kaupunkimittausosaston luokittelu	16
6.2	HKL:n luokittelu	17
7	Aineistojen vertailu	17
7.1	Aineistojen visuaalinen vertailu poikkileikkausten avulla	19
7.2	Aineistojen vertailu pintamallien avulla	19
7.3	HKL:n aineiston vertailu takymetrimittauksiin	19
8	Otanta-alueet ja keilausaineistojen keskinäinen vertailu	20
8.1	Alue 1 (Mechelininkatu)	20
8.1.1	Visuaalinen vertailu poikkileikkausten avulla	21
8.1.2	Vertailu pintamallien avulla	22
8.2	Alue 2 (Munkkiniemi)	25
8.2.1	Visuaalinen vertailu poikkileikkausten avulla	26
8.2.2	Aineistoista tuotettujen pintamallien vertailu	27
8.3	Alue 3 (Mannerheimintie)	29
8.3.1	Visuaalinen vertailu poikkileikkauksien avulla	30
8.3.2	Pintamallien vertailu	31
8.4	Alue 4 (Paciuksenkatu)	34
8.4.1	Visuaalinen vertailu poikkileikkausten avulla	35
8.4.2	Vertailu pintamallien avulla	36
9	HKL:n aineiston vertailu takymetrimittauksiin	39
9.1	Vertailualue 1 (Mechelininkatu)	40
9.2	Vertailualue 5 (Kustaa Vaasan tie–Hämeentie)	41
9.3	Alue 6 (Hakaniemi)	43
10	Yhteenveto	43
	Lähteet	46
	Liitteet	
	Liite 1: KMO laserkeilausaineiston metatiedot	
	Liite 2. Tarjouspyyntö/hintatiedustelu laserkeilauksesta	

## Lyhenteet

HKL Helsingin kaupungin liikennelaitos

KMO Kaupunkimittausosasto

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn taustaa

Insinööriyön aiheena on vertailu Helsingin kaupungin liikennelaitoksen sekä Helsingin kaupungin kaupunkimittausosaston tuottamien laserkeilausaineistojen välillä. Työn toimeksiantaja on Helsingin kaupungin liikennelaitos, joka huolehtii Helsingin raitio- sekä metrolinjakenteestä. Tässä työssä keskitytään ainoastaan raitioverkon alueella tapahtuneisiin mittauksiin.

Liikkuvalta alustalta tapahtuva laserkeilaus on nopeasti yleistynyt tiedonkeruutapa. Työn taustalla on HKL:n vuonna 2011 suorittama raitioverkon laserkeilaus. Laserkeilauksen tarkoituksena oli saada tarkkaa paikkatietoa rataverkon eri osa-alueista kuten raitiotiekiskoista, ajolangoista ja ajolankojen kannatinpylväistä. Paikkatietojen on tarkoitus toimia pohjana liikennelaitoksen kehittälemälle Optram rataverkon hallintaohjelmistolle. Lisäksi keilauksella pyrittiin vähentämään raitioverkon kartoitustarvetta. Aiemmin kartoitusta on suoritettu takymetri- tai satelliittipaikannukseen perustuvilla mittausmenetelmillä. Mittauksia on suoritettu raitioverkon osalta alueilla, joihin on ollut suunnitteilla muutos- tai kunnostustöitä. Raitiotieverkosta ei ennen keilausta ole ollut tarkkaa paikkatietoa, joten kiskot on jouduttu kartoittamaan aina tapauskohtaisesti niiltä alueilta, joille muutostöitä on suunniteltu, jotta uudet kiskoelementit on voitu suunnitella oikean malliseksi ja merkintämitata paikalleen. Koska raitiotieverkko sijaitsee suurimmilta osin tiheästi rakennetulla ja vilkkaasti liikennöidyllä alueella, on kartoitustarpeen väheneminen myös positiivinen asia työturvallisuuden kannalta.

Helsingin kaupungin kaupunkimittausosasto on tuottanut laserkeilausaineistoja huomattavasti pidempään. Keilauksia on tehty ensimmäistä kertaa jo vuonna 1999. Kaupunkimittausosasto tuottaa vuosittain aineistoja ilmasta käsin keilaamalla, samaan aikaan suoritettavan ilmakuvausohjelman yhteydessä. Keilausten taustalla on kaupungin ilmakuvausohjelma. Ideana on, että vuosittain kuvataan sekä keilataan osa kaupunkia. Kuvausohjelmasta selviää, mitä kaupungin osia minäkin vuonna kuvataan sekä keilataan. Kaupunkimittausosasto teettää keilausten ulkopuolisella yrityksellä vuosittain. Laserkeilaus ja laserkeilauspisteiden jälkikäsitteily kilpailutetaan yleensä keuhäisin julkisella tarjouspyynnöllä.

## 1.2 Työn tavoitteet

Työn tarkoituksena on verrata aineistoja keskenään. Vertailussa tullaan pääosin keskittymään 4 eri osa-alueeseen:

- aineistojen keräysmenetelmään
- pistepilviaineistoista selviäviin kohteisiin
- pistepilvien jälkikäsittelyyn sekä niistä jatkojalostettuihin aineistoihin
- aineistojen yhteensopivuuteen.

Koska aineistot ovat erittäin suuria ja kattavia valitaan niistä vertailuun tiettyjä otanta-alueita. Tällä tavoin työtä saadaan rajattua. Aineistoja tullaan vertailemaan keskenään visuaalisesti sekä laskennallisesti. Laskennallista vertailua käytetään erityisesti aineistojen yhteensopivuuden selvittämisessä. Aineistojen eroavaisuuksista on tarkoitus saada selville rajoitukset aineistojen yhteiskäytölle. Tarkastelua tehdään suurimmaksi osaksi liikennelaitoksen näkökulmasta. Tarkoituksena olisikin selvittää, millä tavoin kaupunkimittausosaston tuottama aineisto voisi hyödyttää liikennelaitoksen tarpeita.

Sen lisäksi, että laserkeilausaineistoja verrataan keskenään, tullaan HKL:n keilausainestoa vertaamaan takymetrillä tehtyihin raiteiden kartoituksiin. Vertailussa on tarkoitus selvittää keilauksen tarkkuutta verrattuna takymetrimittauksiin. Tavoitteena on selvittää, riittääkö keilausaineistosta tuotetun aineiston tarkkuus raitioverkon kartoitustehtäviin.

## 2 Laserkeilausaineiston tuottaminen

### 2.1 Laserkeilain

Laserkeilain on elektro-optinen mittalaite. Keilaimen toiminta perustuu sen lähettämiin laserpulsseihin, jotka kohteeseen osuessaan heijastuvat takaisin keilaimeen. Kohteen koordinaatit lasketaan lähetetyn säteen vaaka- sekä korkeuskulman ja kohteen etäisyyden perusteella. Etäisyydenmittaus voi tapahtua eri menetelmillä, keilaintyyppistä riippuen. Käytännössä keilaus on verrattavissa prismattomaan takymetrimittaukseen, mittaussnopeus vain on huomattavasti suurempi. Etuna perinteiseen takymetri- tai GPS-

vastaanottimella tapahtuvaan kartoitukseen on se, että keilaus lukeutuu kaukokartoitusmenetelmiin, eli sillä saadaan tietoa kohteesta koskematta siihen. Tämän ansiosta keilausta voidaan suorittaa kohteissa, joissa mm. liikenne aiheuttaa työturvallisuusriskejä tai joihin muuten olisi hankalaa tai vaarallista mennä.

Etäisyyden ja kulmien lisäksi keilain rekisteröi myös paluusignaalin intensiteetin, eli paluusignaalin voimakkuuden lähtösignaaliin verrattuna. Takaisin heijastuva signaali menettää aina osan voimakkuudestaan lähtösignaaliin verrattuna. Heijastumisen voimakkuuteen vaikuttavat mm. heijastavan kohteen pinnan muoto, väri, säteen tulokulma ja pinnan materiaali. Lisäksi kosteat pinnat heijastavat lasersäteitä erittäin huonosti, joten keilausta voidaan pääasiassa suorittaa vain kuivissa olosuhteissa. Toinen mittauksia selvästi heikentävä tekijä on pöly, joka sirottaa säteitä; tämä voi johtaa tulosten vääristymiseen laserpulssien heijastuessa ennenaikaisesti tai absorboituessa liiaksi.

## 2.2 Keilaintyytit

Maanmittauksessa käytetään pääasiallisesti kahta keilaintyyppiä; pulssilaseria sekä vaihe-eron mittaamiseen perustuvia keilaimia. Pulssilaser laskee etäisyyden kohteeseen laserpulssin kulkeman ajan perusteella. Näillä keilaimilla voidaan mitata suuremman etäisyyden päässä sijaitsevia kohteita kuin vaihe-eromenetelmällä, jopa muutama kilometriin asti. Vaihe-eroon perustuva keilain taas laskee etäisyyden kohteeseen lähtevän ja saapuvan signaalin vaihe-erona. Nämä keilaimet toimivat tyyppillisesti 20–80 metrin päähän keilattaessa. Lisäksi on olemassa kolmiointimenetelmään perustuvia keilaimia, mutta näitä käytetään lähinnä teollisuuden tarpeisiin suuren tarkkuutensa takia.

Keilaintyyppi on valittava sen mukaan, mihin tarkoitukseen keilainta tullaan käyttämään. Keilaimia voidaan käyttää paikallaanolevilta eli stationäärisiltä tai liikkuvilta alustoilta. Käyttökohteet ovat hyvin erilaisia; keilausta käytetään mm. tunnelien kartoitukseen, julkisivujen saneerausten yhteydessä, korkeusmallien tuottamiseen, tie- sekä ratamittauksiin ja arkeologisten kohteiden mallintamiseen. Liikkuvilta alustoilta keilattaessa käytetään tyyppillisesti pulssilaseria sen mahdollistaman pidemmän keilausmatkan vuoksi. [1, s. 31.]

Keilaimia voidaan myös jakaa niiden keilausalueen perusteella. Joillakin keilaimilla voidaan kerätä dataa lähestulkoon kaikkialta keilaimen ympäriltä. Tällöin käytetään ilmausta kupolimainen mittaustapa. Tämä tarkoittaa sitä, että keilain pyörii täysin vaak akselinsa ja lähestulkoon koko pysty akselinsa ympäri. Tällöin voidaan havaita lähes koko keilaimen ympäristö, lukuun ottamatta pientä, laitteiston itsensä alle jäävää aluetta. Toisena tyyppinä on horisontaalisesti keilaavia instrumentteja. Nämä keilaavat koko vaak akselinsa ympäri mutta vain tietyn kulman pysty akselistaan. Lisäksi on olemassa keilamaisesti mittaavia laitteita, nämä eivät pyöri akselistaan ympäri ja mittaavat täten vain yhteen suuntaan. [2, s. 2.]

### 2.3 Mobiililaserkeilaus

Sekä HKL:n että Helsingin kaupunkimittausosaston tuottama laserkeilausaineisto on tuotettu samaa menetelmää eli mobiilikeilausta käyttäen. Tämä tarkoittaa sitä, että käytettävä laserkeilain ei pysy paikallaan, vaan on liikkeessä keilaushetkellä. Tavallisia alustoja mobiilikeilausjärjestelmille ovat lentokoneet, helikopterit sekä autot. Mobiilikeilaus on varsin uusi teknologia maanmittauksessa, ja on yleistynyt vasta viime vuosina. Tällä tavoin keilaamalla voidaan kattaa suuria alueita nopeasti, perinteisiin kartoitusmenetelmiin tai paikaltaan tapahtuvaan laserkeilaukseen verrattuna.

Mobiilikeilausta käytettäessä tarvitaan keilaimen lisäksi järjestelmä, joka seuraa keilaimen sijainnin muutoksia. Tämä voidaan toteuttaa joko takymetrillä ja keilainjärjestelmään asennettujen prismojen avulla tai satelliittipaikannuksella. Näistä käytetympi menetelmä on satelliittipaikannus. Lisäksi tarvitaan IMU (inertial measurement unit)-laitteisto, joka seuraa ja raportoi keilaimen liikkeen kiihtymistä, kääntymistä sekä kallistuskulmia. Jos satelliittipaikannus jostain syystä katkeaa, esim. keilaimen liikkua sillan tai muun taivaan peittävän rakenteen alta, IMU-laitteisto raportoi keilaimen sijaintia kunnes satelliittipaikannus on taas mahdollista. IMU-laitteen sijaintipaikannus on kuitenkin huomattavasti heikompaa kuin satelliitti- tai takymetrillä tapahtuva paikannus, ja tämän vuoksi inertialaitteistoon perustuva paikannus on sijainnin määrittämisen toissijainen ratkaisu.

Satelliitti ja inertipaikannuksen lisäksi käytetään useimmiten myös signalointia. Tämä tarkoittaa sitä, että keilattavalle alueelle merkitään signaaleita, joiden on tarkoitus näkyä keilaimen tuottamassa pistepilviaineistossa. Nämä signaalit kartoitetaan erikseen,

jolloin pistepilvi voidaan orientoida ulkoisesti tarkaksi. Signalointi on erityisen tärkeää silloin, kun liikutaan alueilla jossa satelliittipaikannuksessa voi tulla häiriöitä esim. korkeiden rakennusten läheisyydessä tai alueilla joilla puut haittaavat näkyvyyttä taivaalle. Signaalien kartoitus tapahtuu useimmiten takymetrillä, jolloin huono satelliittinäkyvyys ei vaikuta tulosten tarkkuuteen.

### **3 Keilausdata**

#### **3.1 Pistepilvi**

Laserkeilaus eroaa takymetri- tai satelliittipaikannukseen perustuvasta kartoituksesta siinä, että keilauksessa ei keskitytä yksittäisiin havaintoihin, vaan keilain tekee havain-toja automaattisesti, ennalta määrättyjen asetusten sekä toimintaperiaatteensa mu-kaan. Täten keilain tuottaa pistemäisiä havaintoja jokaisesta kohteesta, johon laser-pulssit ovat osuneet ja heijastuneet takaisin. Täten keilatusta kohteesta saadaan piste-pilvi, jossa jokaisella pisteellä on omat keilainkeskiset koordinaattinsa. Pistepilvet voivat koostua miljoonista pisteistä. [3, s.14.] Pistepilvien suuruus tuottaa usein ongelmia kä-sittelyvaiheessa ja pilvet on lähes aina jaettava osiin, jotta niiden käsitteleminen olisi mahdollista.

#### **3.2 Pistepilven tiheys**

Keilausta suunniteltaessa asetetaan pistepilven tiheydelle useimmiten vähimmäisvaa-timus, esim. kaupunkimittausosaston vähimmäisvaatimus vuonna 2012 tehdylle keila-ukselle oli, että keskimääräisen pistetiheyden tulee olla yli 20 pistettä/neliometri. Tihey-den vaatimus riippuu täysin siitä, mihin pistepilveä ollaan käyttämässä, mitä tiheämpää aineistoa on käytettävissä, sen tarkemmin siitä voidaan mallintaa erilaisia kohteita. Ti-heästäkään pistepilvestä ei kuitenkaan ole hyötyä, jos sen pisteiden tarkkuus on heik-ko. Pistepilven tiheys heikkenee aina matkan kasvaessa. Vaihe-eromenetelmällä mit-taavat laitteet voivat mitata pisteitä 8 mm:n päähän toisistaan noin 50 metrin matkalla, pulssilaserit kykenevät mittaamaan pisteitä 2–3 kertaa tiheämmin. [2, s. 3.]

### 3.3 Ohjelmistot aineiston käsittelyä varten

Keilausdatan käsittelyyn on tarjolla suuri määrä erilaisia ohjelmistoja. Tavallista on, että laitevalmistajilla on tarjota omia ohjelmistojaan (esim. RiSCAN PRO Riegliltä tai Cyclone Leicalta). Laitevalmistajien ohjelmistot pystyvät useimmiten hyödyntämään mittauksen yhteydessä kerättyä tietoa tehokkaasti, näillä ohjelmistoilla ei kuitenkaan yleensä pystytä tekemään kaikkea haluttua, vaan aineiston käsittelyssä joudutaan käyttämään useampaa ohjelmistoa. Täten työn suunnittelussa kannattaa miettiä, mitkä toimenpiteet tehdään valmistajan ohjelmistossa ennen datan siirtoa jatkokäsittelyä varten. [4, s. 30.]

Sekä Helsingin kaupunkimittausosaston että liikennelaitoksen aineistoa on pääsääntöisesti käsitelty TerraSolid-ohjelmistoilla. TerraSolidin ohjelmistot eivät ole riippuvaisia laitevalmistajasta, ja ne lukevat useita eri tiedostomuotoja, kuten LAS-tai ASCII-formaattia. Ohjelmat toimivat MicroStation CAD ohjelman päällä. Ilma- sekä mobiililaserkeilauksesta kerätyn aineiston käsittelyyn TerraSolidilta on saatavilla TerraScan- sekä TerraModeler-ohjelmistot. TerraScan on pistepilvien käsittelyyn tarkoitettu ohjelmisto, jolla voi tehdä mm. pisteiden luokittelua, koordinaatistomuunnoksia, pisteiden väritystä eri menetelmin, pisteiden tunnistamista lentolinjoittain ja aineiston jakamista blokkeihin. [5, s.1–2.] TerraModelerillä voidaan tehdä mm. maastomalleja maanpinnaksi luokitelluista pisteistä sekä 3D-kaupunkimalleja vektoroiduista kohteista. Lisäksi ohjelmalla voidaan tehdä laskennallista sekä visuaalista vertailua eri mallien välillä mm. poikkileikkauksien avulla tai tilavuuslaskentana. [6, s. 1–2.]

### 3.4 Pistepilvien yhdistäminen

Useimmiten yhdeltä keilausasemalta ei saada kerättyä tarpeeksi kattavaa aineistoa keilattavasta kohteesta, vaan puiden, pensaiden tai rakennelmien taakse jää katvealueita. Tällöin tarvitaan useampia kojeasemia, jolloin saadaan katettua yhdestä kulmasta piiloon jääviä alueita. Tässä tapauksessa on myös pystyttävä yhdistämään eri keilausasemilta tuotettuja pistepilviä. Pistepilvien yhdistämiseen voidaan käyttää monia menetelmiä. Tarkin menetelmä yhdistämiseen on yhteisten tähysten tai signaalien mitaaminen. Tätä varten tarvitaan keilausalueelle sijoitettuja tähyksiä, joiden keskipisteet on pystyttävä erottamaan pistepilvestä. Jokaisesta yhdistettävästä pistepilvestä on pystyttävä erottamaan vähintään kolme yhteistä tähyistä. Näiden tähyksien keskipisteet kartoitetaan myös takymetrillä tai muulla riittävän tarkalla kartoitusmenetelmällä. Täten

pistepilvet yhdistetään yhteisten tähysten avulla suuremmaksi kokonaisuudeksi. Usein tähykset kartoitetaan kohdetta ympäröivään koordinaatistoon, joten pistepilvien yhdistämisen lisäksi koko keilausdata voidaan samalla siirtää haluttuun koordinaatistoon. Tätä menetelmää käyttämällä voidaan pistepilvien yhdistämisessä parhaimmillaan päästä 1–3 mm:n tarkkuuteen.

Toinen menetelmä on eri pistepilviltä näkyvien, yhteisten kohteiden mallintaminen. Tämä tarkoittaa sitä, että eri pistepilviltä mallinnetaan kohteita kuten pintoja, tasoja tai lieriöitä. Pistepilvet voidaan yhdistää yhteisten mallinnettujen kohteiden perusteella. Kohteiden mallintaminen ei kuitenkaan ole yhtä tarkkaa kuin tähysten keskipisteiden määrittäminen, ja täten mallinnukseen perustuva pistepilvien yhdistäminen tuottaa tarkkuuden kannalta heikomman tuloksen kuin tähyksien avulla yhdistettäessä.

Lisäksi pistepilviä voidaan yhdistää pistepilvien yhteisten alueiden avulla. Tällöin yhdistettävillä pistepilvillä tulisi olla ainakin kolmasosa yhteistä peittoa. Yhdistettäviltä pistepilviltä osoitetaan vähintään kolme yhteistä pistettä. Tämän jälkeen voidaan sovittaa mittaussovelluksella molemmat pistepilvet samaan koordinaatistoon.

Tavallista on, että isoissa projekteissa käytetään useampia edellä mainituista menetelmistä pistepilvien yhdistämiseen. [2, s. 4.]

### 3.5 Pistepilven väritys

Koska keilain tuottaa ympäristöstään pistepilven eikä varsinaista kuvaa, voi kohteiden tunnistaminen siitä olla hankalaa. Tästä johtuen pistepilviä pyritään useimmiten värittämään. Yksi käytetyistä menetelmistä on pisteiden värittäminen niiden intensiteettiarvon perusteella. Täten nähdään visuaalisesti, kuinka hyvin lasersäteet ovat heijastuneet takaisin keilaimeen. Koska eri materiaalit heijastavat lasersäteitä eri tavalla voidaan pistepilvestä helpommin erottaa kohteet toisistaan, esim. kasvillisuus ja rakenteet. [2, s. 3.] Usein keilaimiin sisältyy, tai niihin on saatavana erillinen kamerajärjestelmä, tällöin keilattu alue tulee samalla kuvattua, jolloin pistepilven värjäys voidaan tehdä suoraan kamerakuvilta. Tätä menetelmää käytettäessä jokaiselle pisteelle saadaan myös RGB- väriarvo, jolloin pistepilvi muistuttaa enemmän valokuvaa. Jälkikäsitelyssä pisteet väritetään usein niiden saaman pisteluokan mukaan, esim. kasvillisuus vihreänä, rakennukset punaisena ja maanpinta ruskeana.

### 3.6 Turhien pisteiden suodattaminen

Suodattamisella tarkoitetaan turhien pisteiden poistamista aineistosta. Täten jatkokäsittelyyn valikoituu alkuperäistä pienempi määrä pisteitä, ja virheelliset pisteet poistetaan. Suodatusmenetelmiä on useita, joista täytyy valita kyseiseen työhön sopiva tai sopivimmat. Pisteitä voidaan suodattaa mm. etäisyyden perusteella, monipisteheijastuksista tai intensiteetin perusteella. Tavallista on, että pisteitä joudutaan myös poistamaan käsin, visuaalisen tarkastelun perusteella. Varsinkin maanpinnalta tehtävässä keilauksessa havaintoja kertyy usein myös rakennusten sisältä, sillä laserpulssi läpäisee ikkunat hyvin. Nämä ovat kuitenkin turhia ja epäluotettavia pisteitä, sillä lasersäde taittuu ikkunan läpäistessään, joten ne on hyvä poistaa aineistosta. [4, s. 30.]

## 4 Vertailtavat aineistot

### 4.1 KMO:n aineiston tuottaminen

Kaupunkimittausosaston tilaama aineisto on tuotettu ilmasta käsin keilaamalla. Tällä menetelmällä saadaan katettua suuria alueita nopeasti ja tehokkaasti. Menetelmän hyötynä on myös hyvä satelliittinäkyvyys. Varjopuolena menetelmälle on pistetiheyden pientyminen, sillä keilain on suuremman etäisyyden päässä maanpinnasta kuin maanpäältä tapahtuvassa keilauksessa. Pistetiheys myös heikkenee liikkumisnopeuden kasvaessa. Toisaalta liikkumisnopeus saadaan helpommin pidettyä tasaisena kuin maanpinnalla liikuttaessa, jolloin pistetiheys on koko keilattavalla alueella tasaisempi. Kasvillisuudesta on usein haittaa, varsinkin silloin kun ollaan kiinnostuneita maanpinnalla sijaitsevista kohteista, sillä kasvillisuus peittää usein suuria osia maanpinnasta.

Kaupunkimittausosaston tilaama laserkeilausaineisto on sijaintitarkkuudeltaan noin 10 cm pistettä kohden. Aineiston pistetiheys on yksi piste viittä neliösenttimetriä kohden. Tämä selviää kaupunkimittausosaston keilausdatan metatiedoista (liite 1). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että neliömetrin kokoisella alueella on 20–30 pistettä. Alueilla, joilla lentoratojen läheisyyden takia on päällekkäispeittoa, pistemäärä luonnollisesti nousee kaksinkertaiseksi.

Kaupunkimittausosasto täydentää keilausaineistoaan aina vuosittain samaan aikaan tehtävien ilmakuvauksen yhteydessä. Koko kaupunkia ei kuvata tai keilata kerralla, vaan joka vuosi katetaan osa kaupungin alueesta. Helsingin kaupungin vuonna 2012 esittämästä julkisesta tarjouspyynnöstä selviää vuodelle 2012 tehtävän keilausalueen laajuus (liite 2). Kyseisenä vuonna keilattiin kaupungin lounaisosia keilausohjelman mukaisesti. Vuonna 2012 keilauksen teki Finnmap.

Koska ylivoimaisesti suurin osa raitioverkosta sijaitsee Helsingin lounaisilla alueilla, tämä aineisto sopii hyvin vertailuun rataverkon keilauksen kanssa, sillä ajallinen ero rataverkon keilaukseen on suhteellisen pieni (noin vuoden). Täten kaupungin rakenteessa ei ole tapahtunut suuria muutoksia, varsinkaan rataverkon kattavalla alueella, sen välittömässä läheisyydessä. Näin ollen aineistot ovat vertailukelpoisia keskenään. Raitioverkosta jää vuoden 2012 keilauksen ulkopuolelle joitakin rataverkon koillisimmista osista. Nämä alueet on kuitenkin keilattu kaupunkimittausosaston toimesta vuonna 2011, joten niiden ajallinen ero raitioverkon keilaukseen on vielä pienempi. Täten voidaan todeta, että kaupunkimittausosaston keilausaineisto on myös näiltä osin vertailukelpoinen liikennelaitoksen aineistoon.

#### 4.1.1 Keilaus vuonna 2011

Vuonna 2011 Helsingin kaupungin ilmakuvauksen yhteydessä tehdyn laserkeilauksen suoritti Blom Kartta Oy. Keilaus tehtiin 12.5.2011. Tässä tapauksessa käytetty keilain on ollut Leica ALS70. Pulssitaajuus on ollut 221 500 Hz ja lentokorkeus 610–670 metriä. Keilaimen avauskulma on ollut 27 astetta. Tällä tavoin on saatu pistepilvi, jonka keskimääräinen pistetiheys on noin 20 pistettä/m<sup>2</sup>. [7]

#### 4.1.2 Keilaus vuonna 2012

Vuonna 2012 kaupungin alueesta on ilmakuvattu ja keilattu lounaisimpia osia. Huomatavasti suurin osa raitioverkosta sijaitsee Helsingin lounaisimmilla osilla, joten tätä aineistoa tullaan vertailemaan liikennelaitoksen aineistoon kaikista eniten. Keilauksen suoritti Finnmap. Keilaus suoritettiin 2.5.2012. Keilaimena on käytetty Riegl ALS LMS-Q680i-mallista keilainta. Pulssitaajuutena on ollut 360 000 pulssia sekunnissa. Lentokorkeus on ollut 280 metriä ja keilaimen avauskulma 60 astetta. Pistetiheys on keskimäärin noin 20 pistettä neliometriä kohden. [7]

#### 4.1.3 Aineiston jälkikäsittely

Kaupunkimittausosasto ei tee itse aineiston varsinaista jälkikäsittelyä, vaan datan tuottaja huolehtii aineiston jälkikäsittelystä sekä luokittelusta. Kaupunkimittausosasto kuitenkin tekee luokittelua uudelleen omien tarpeidensa pohjalta. Lisäksi kaupunkimittausosasto tekee aineistosta erilaisia tuotteita omiin sekä tilauksesta muiden organisaatioiden tarpeisiin. [7]

#### 4.2 HKL:n aineiston tuottaminen

HKL:n tilaama keilausaineisto on tuotettu sijoittamalla keilainjärjestelmä raitiovaunun katolle, vaunun etuosaan noin kolmen ja puolen metrin korkeuteen maanpinnasta. Tällöin käytetyllä keilainjärjestelmällä saadaan maanpinnalle suurempi pistetiheys kuin ilmasta käsin tapahtuvalla keilauksella. Vaikka alemmas sijoitettu keilain tuottaisi suuremman pistetiheyden maanpinnasta, on suhteellisen korkea keilaimen asema perusteltu, sillä tällöin pisteaineistoa saadaan kerättyä myös näkyvyyttä rajoittavien kohteiden kuten autojen sekä matalan kasvillisuuden takaa.

HKL teetti rataverkon keilauksen 3D Laser Mapping -nimisellä yrityksellä, joka käyttää kahta Riegl vq250 -mallista keilainta omassa keilainjärjestelmässään. Tätä järjestelmää käyttämällä pistetiheys on vähimmilläänkin noin 1 000 pistettä neliömetrillä, kun se tiheimmillään on jopa 3 000 pistettä neliometriä kohden. Pistetiheyteen vaikuttaa se, kuinka suuri ajonopeus kyseisellä alueella on ollut. Tiheys on mitattu maanpinnasta raitiokiskojen tuntumasta, joka liikennelaitoksen näkökulmasta on tärkein alue kadusta. Pistetiheys on mitattu TerraScan-ohjelman measure point density -sovelluksen avulla.

Keilaus tehtiin kolmena päivänä vuoden 2011 toukokuussa. Keilaukset tehtiin 29.–31. toukokuuta. Samaan aikaan koko rataverkko myös kuvattiin keilainjärjestelmään asennetun kameran avulla. [8]

##### 4.2.1 Riegl VQ250 -laserkeilain

Riegl VQ250 on pääasiallisesti mobiilikeilaukseen tarkoitettu keilain. Laite kuuluu horisontaalisesti keilaaviin instrumentteihin, eli sen keilauskulma omaan pystyakseliinsa nähden on rajoittunut. Sitä vastoin se keilaa täysin oman vaaka-akselinsa ympäri. Kei-

lain käyttää etäisyydenmittaukseen laserpulssin kulkuajan mittaamiseen perustuvaa menetelmää ja kuuluu täten pulssilaserkeilaimiin. Valmistajan mukaan laitteen maksimikeilausetäisyys on 500 metriä, minimietäisyydeksi ilmoitetaan 1,5 metriä. Tästä johtuen laite sopii parhaiten maanpäältä tapahtuvaan mobiilikeilaukseen. Laitteen valmistajan ilmoittama maksimikeilausnopeus on 300 000 pistettä sekunnissa. Peilijärjestelmänä toimii pyörivä peili. [9]

#### 4.2.2 Aineiston jälkikäsittely

Aineiston jälkikäsittely on tuotettu TerraSolidilla. Terrasolidilla aineisto on orientoitu ulkoisesti raitiokiskoille maalattujen ja kartoitettujen signaalien avulla. Signaalit on kartoitettu paikasta riippuen satelliitti- tai takymetrikartoituksella. Avarammilla alueilla on käytetty satelliittipaikannusta, kun taas peitteisemmillä alueilla on turvauduttu takymetrikartoitukseen. Takymetrikartoituksen lähtöpisteinä on joissain tapauksissa käytetty satelliittipaikannuksella mitattuja pisteitä, sillä järkevästi käytettävissä olevia runkopisteitä ei aina ole ollut lähettyvillä. Signaaleja on kartoitettu 50–400 metrin välein riippuen siitä kuinka hyvä satelliittinäkyvyys alueella on. Alueilla, joilla on korkeita taloja, jotka estävät näkyvyyttä taivaalle, signaaleja on kartoitettu tiheämmin, kun taas harvemmin rakennetuilla alueilla on tyydytty harvempaan signalointiväliin. Yhteensä noin 97 kilometriä pitkällä rataverkolla on kartoitettu noin 700 signaalia. Lisäksi aineistolle on tehty luokittelu sekä raitiovaunun ja kiskojen väliin ajon aikana syntyvä geometrisen vääristymän korjaus. Aineistoa on myös siistitty muun muassa poistamalla pysähdysten aikana kerättyä dataa ja turhan kaukaa rata-alueesta kerättyä aineistoa. Jälkikäsittelyssä on myös poistettu pisteitä, joita on kerääntynyt, kun saman alueen läpi on ajettu useamman kerran; lisäksi pisteet on luokiteltu.

#### 4.3 Koordinaatistot

Kaupunkimittausosaston keilausaineisto on 1.1.2012 alkaen ETRS-GK25-tasokoordinaattijärjestelmässä, korkeusjärjestelmä on N2000. Aiemmin aineisto on ollut Helsingin omassa koordinaattijärjestelmässä ja NN-korkeusjärjestelmässä. Koordinaattijärjestelmän muuttaminen on osa pääkaupunkiseudun kuntien koordinaattijärjestelmien yhtenäistämiprojektia.

HKL:n tilaama aineisto on tuotettu alkukesästä vuonna 2011, eli ennen ETRS-GK25-järjestelmään siirtymistä, ja täten se on Helsingin kaupungin omassa tasokoordinaattisekä NN-korkeusjärjestelmässä. Tämä edellyttää sitä, että aineistolle on laskettava koordinaatistomuunnos, jotta sitä voidaan käyttää uudessa järjestelmässä, yhdessä kaupunkimittausosaston tuottaman aineiston kanssa.

Koordinaatistomuunnoksen tekemiseen on olemassa useita eri tapoja. Tässä työssä aineistoja verrattaessa käytetään Helmert-muunnosta. Helmert-muunnoksella voidaan vaikuttaa koordinaatiston sijaintiin, akselien suuntaukseen sekä mittakaavaan. [10, s. 75.] Kaupunkimittausosaston verkkosivuilla on dokumentti johon on kirjattu helmertmuunnoksessa käytettävät parametrit. [11, s. 4.] Koordinaatistomuunnos on tehty käsiteltävästä aineistosta riippuen 3D-Win- tai TerraSolid-ohjelmistoilla.

## **5 Keilausaineiston käyttö**

### **5.1 Kaupunkimittausosaston keilausaineistosta selviävät kohteet**

Koska aineiston pistetiheys on 20–30 pistettä neliometriä kohden, siitä saadaan selvästi näkyviin erilaisia kohteita, kuten yksittäisiä puita sekä rakennuksien ja vesialueiden rajat. Teiden reunakivetykset eivät erotu kovin selkeästi, mutta varsinkin jos käytävissä on muuta aineistoa tien poikkileikkauksesta, kuten suunnitelmapiirustuksia, tien geometria voidaan määrittellä kohtalaisesti. Tällä pistetiheydellä voidaan myös erottaa ilmassa olevia johtoja, kuten sähkölinjoja.

Näkyvyyttä maanpintaan rajoittavat mm. kasvillisuus sekä joissakin paikoissa korkeat rakennukset, joiden taakse jää katvealueita. Myös autot rajoittavat maanpinnan näkyvyyttä. Koska pistepilvi on tuotettu ilmasta käsin keilaamalla, eivät rakennusten pystysuorat seinät näy aineistossa kovinkaan hyvin. Luonnollisesti siltojen alle jää myös katvealueita.

### **5.2 KMO:n keilausaineiston käyttö**

Kaupunkimittausosaston laserkeilausaineisto on tilattavissa eri organisaatioiden käyttöön maksua vastaan. Aineistosta on valmiina tuotettuna mm. korkeusmalleja kol-

mioverkkona vektorimuodossa, ristikkoverkkona grid-muodossa sekä korkeuskäyrinä 0,10 metrin välein. Kaupungin omien organisaatioiden käytössä aineisto on maksuton. Aineistosta riippuen se on jaettu erisuuruiseksi alueiksi. Esimerkiksi 0,10 metrin välein tuotettujen korkeuskäyrien alueellinen laajuus on 2\*4 km tiedostoa kohden, kun aineiston, jossa kaikki keilauspisteet ovat mukana, alueellinen kattavuus on 500\*500 m tiedostoa kohden. Aineistosta saatavalla tiedolla voidaan myös tehdä mm. kolmiulotteisia kaupunkimalleja sekä valumamalleja hulevesien käsittelyn suunnittelua varten. Korkeusmalleista on myös tuotettu melumalleja liikennemelun seuraamista varten.

### 5.3 HKL:n aineistosta selviävät kohteet

Liikennelaitoksen tuottamasta aineistosta näkyy pitkälti samoja asioita kuin kaupunkimittausosaston aineistosta. Liikennelaitoksen aineisto ei ole läheskään yhtä kattavaa kuin kaupunkimittausosaston, sillä keilauksia on tehty ainoastaan raitiovaunulinjoja pitkin. Toisaalta suuremman pistetiheyden ansiosta aineistosta saadaan esille selvästi yksityiskohtaisempaa tietoa. Aineisto poikkeaa selvästi kaupunkimittausosaston vastaavasta, sillä keilaus on tehty maanpinnalla liikuttaessa ja täten näkymäperspektiivi on täysin erilainen. Tästä johtuen saadaan selville tietoa myös sellaisista kohteista, jotka kaupunkimittausosaston aineistossa jäävät puiden, siltojen tai rakennusten taakse. Myös rakennusten seinustat, jotka ovat ajettua keilauslinjaa kohden, näkyvät aineistossa hyvin. Teiden yllä roikkuvat johdot esim. raitiovaunujen ajolangat näkyvät aineistosta selkeästi. Koska aineisto on tiheämpää, siitä voidaan myös paremmin erotella tiettyjä kohteita kuten raitiovaunupysäkkejä, teiden poikkileikkauksia ja muita erilaisia rakennelmia kuten johto- sekä valaisinpylväitä. Rakennusten katot tai muuten korkealla sijaitsevat kohteet eivät näy aineistossa, sillä ne jäävät usein piiloon erilaisten esteiden kuten kasvillisuuden taakse. Maanpinnan näkyvyyttä rajoittavat erityisesti autot sekä muut ajoneuvot. Tästä on haittaa erityisesti, jos halutaan selvittää mm. reunakivien etäisyyttä raiteista. Aineistoa on myös rajattu niin, että pisteitä ei esitetä kovin kaukaa raiteista. Käytännössä aineiston pistetiheys pysyy hyvänä maksimissaan noin 50 metrin päähän raiteista. Tosin useimmiten erilaiset esteet kuten rakennukset tai kasvillisuus peittävät näkyvyyden jo huomattavasti lähempänä raitiotiekiskoja.

#### 5.4 HKL:n keilausaineiston käyttö

Liikennelaitoksen keilausaineisto on kaupungin organisaatioiden käytettävissä. Julkista saatavuutta sillä ei ainakaan vielä ole. Kirjoittamishetkellä keilausaineisto on vasta saapunut TerraSolidilta, joka on hoitanut raaka-aineiston jälkikäsitteilyä. Tästä johtuen aineistoa ei vielä ole juurikaan hyödynnetty käytännön työssä. Siitä on kuitenkin tuotettu joitakin aineistoja, jotka palvelevat HKL:n tarpeita. Aineistosta on mm. tehty vektorimuodossa oleva kartta, josta selviävät alueet, joilla päällysteen yläpinta on raitiovaunukiskoja korkeammalla. Tämän tiedon avulla voidaan määritellä kohteet joissa asfalttia mahdollisesti joudutaan jyrsimään. Kun jyrsimistarpeen määrä on selvillä, voidaan projektille laskea kustannusarvio ja täten selvittää, onko sen toteuttaminen ylipäättään järkevää. Aineistosta on myös vektoroitu raitiokiskot sekä pysäkit. Täten Helsingin raitioverkosta on saatu tarkka kartta, jonka tuottaminen perinteisillä menetelmillä olisi ollut hyvin työlästä. Karttatietoa on tarkoitus käyttää liikennelaitoksen kehittämisen Optram-ohjelman yhteydessä. Tarkoituksena on, että ohjelmaan saadaan tarkat paikkatiedot koko rataverkosta ylläpito-, huolto sekä muita toimintoja varten. Vektoroituihin kohteisiin kuuluvat myös raitiovaunujen ajolangat sekä niiden kannatinvaijerit. Näitä tarkastelemalla saadaan tärkeää tietoa kannatinlankojen kunnosta ja voidaan havaita mahdollisesti liian matalalla roikkuvat ajolangat.

Aineiston suuren pistetiheyden ansiosta sitä voitaisiin myös käyttää teiden poikkileikkauksien selvittämiseen ja teiden kunnan tarkasteluun. Poikkileikkauksia tutkiessa voidaan erottaa mm. tien kulumista, kaistojen leveys, reunakivetysten korkeus ja etäisyys raitiokiskoihin. Aineistosta saadaan selvästi näkyviin myös siltojen alle jäävä todellinen tila.

Mobiililaserkeilauksen kanssa työskennellessä on kerättyä aineistoa käytännössä lähes aina jaettava pienemmiksi kokonaisuuksiksi, sillä muuten datamäärä on liian suuri normaalikäytössä oleville tietokoneille. HKL:n pistepilviaineisto on jaettu tiedostoiksi, joiden maksimikoko on noin 650 megatavua, pienimmän tiedoston ollessa noin 280 megatavua. Yhden tiedoston alueellinen kattavuus on riippuvainen alueen pistetiheydestä, eli nopeammin ajetuilla alueilla yhden tiedoston alueellinen kattavuus on suurempi kuin hitaasti ajetuilla alueilla. Maksimissaan alue kattaa pituussuunnassa noin 350 metriä. Yksi tiedosto sisältää noin 10–24 miljoona pistettä.

## 6 Aineiston luokittelu

Käsitlemättömissä pistepilviaineistoissa ei ole suoraan tietoa siitä, mitä yksittäiset pisteet maastossa kuvaavat. Tämä tieto on kuitenkin tärkeää, jotta pistepilviä voitaisiin käyttää tehokkaasti. Siksi on hyvin tavallista, että pisteet luokitellaan sen perusteella mitä ne maastossa edustavat. Tällöin mm. maanpinta, kasvillisuus ja rakennukset erotetaan toisistaan annettujen parametrien avulla. Luokittelua tehdään, jotta aineistosta saadaan paremmin esille juuri ne osat joista ollaan kiinnostuneita. [4, s. 32.]

TerraScan luokittelee pisteitä maanpinnaksi valitsemalla ensin joitakin matalalla sijaitsevia pisteitä, jotka suurella todennäköisyydellä kuvaavat maanpintaa. Ohjelma tekee näistä pisteistä kolmioimalla pintamallin ja etsii lisää samaan pintamalliin kuuluvia pisteitä ennalta määrättyjen parametrien avulla. Parametreillä määritetään, kuinka lähellä yksittäisen pisteen on oltava kolmiopintaa, jotta se hyväksytään maanpintaan kuuluvaksi pisteeksi. Iteraatiokulmalla määritetään suurin mahdollinen kulma pisteen projektioista kolmiopinnan ja lähimmän kolmion kärjen välillä. Täten maastossa, jossa korkeuserot ovat suuret, täytyy antaa eri parametrit kuin tasaisilla alueilla. Pisteiden valintaa kontrolloidaan myös määrittelemällä rakennusten maksimikoko. Jos maksimikoko määritellään 100\*100, metriksi ohjelma olettaa, että suuremmilla tasomaisilla alueilla on oltava vähintään yksi maanpintaan kuuluva piste. Luokittelu vaatii myös visuaalisen tarkastelun, jolla varmistetaan luokittelun onnistuminen. Usein luokittelua joudutaan korjaamaan jälkeenpäin visuaalisen tarkastelun avulla. [12, s. 246.]

Tavallista on, että muita pisteitä luokitellaan maanpinnan pisteiden perusteella, kuten kasvillisuus. Tällöin ohjelma valitsee pisteet annettujen parametrien avulla vertaamalla pisteen projektiokorkeutta maanpintamalliin. [12, s. 250.]

Pisteitä voidaan luokitella myös monilla muilla tavoilla kuten intensiteettiarvon perusteella. Tällöin saapuvan pulssin intensiteettiarvolle annetaan minimi- ja maksimiarvo ja ohjelma luokittelee pisteet tämän perusteella. Intensiteettiarvoon perustuvaa luokittelua voidaan käyttää mm. raitiolinjojen luokitteluun, sillä metallipinnat heijastavat laserpulsseja voimakkaasti ympäröivään asfalttipintaan verrattuna. Myös valkoiset katumaalaukset heijastavat laserpulsseja hyvin, joten nekin voidaan luokitella intensiteettiarvon perusteella. [12, s. 254.]

Automaattista luokittelua käytettäessä ongelmaksi voi tulla se, että pisteet saavat väärän luokan. Esimerkiksi autot, muut liikennevälineet, rakennelmat, kuten erilaiset katokset ja pylvääät, sekä rakennuksien seinillä olevat pisteet luokittelevat yleensä kasvillisuudeksi. Automaattista luokittelua on hyvin vaikea toteuttaa niin, ettei kyseisiä virheitä syntyisi. Automaattisesti luokiteltuja pisteitä voidaan myös luokitella manuaalisesti uudestaan mutta laajoja alueita, ja suuria aineistoja käsitellessä tämä on hyvin työlästä.

## 6.1 Kaupunkimittausosaston luokittelu

Kaupunkimittausosasto vaatii keilausaineiston tuottajalta pisteet luokiteltaviksi 14:ään eri pisteluokkaan. Tämä on tarpeen, jotta aineistosta voidaan tutkia ja erottaa juuri ne kohteet, joista ollaan kiinnostuneita. Pisteluokat ovat

- 1 default – oletuspisteluokka
- 2 low point – maanpinnan alle jääviä pisteitä, lähinnä virheellisiä, monesta eri kohteesta heijastuneita laserpulsseja
- 3 ground – maanpinnalla olevat pisteet
- 4 low vegetation – matala, alle 25 senttimetriä korkea kasvillisuus
- 5 medium vegetation – keskikorkoinen, 0,25-2 metriä korkea kasvillisuus
- 6 high vegetation – korkea kasvillisuus, yli 2 metriä
- 7 building – rakennukset
- 8 keypoint – maanpinnasta irrotettuja pisteitä, käytetty tarkan maastomallin luomiseen
- 9 bridges – sillat
- 10 wires – johdot
- 11 water – vesialueet
- 15 first pulse
- 20 overlap – päällekkäisten lentolinjojen pisteet
- 50 unclassified – luokittelemattomia pisteitä

## 6.2 HKL:n luokittelu

Liikennelaitoksen aineiston luokittelun on tehnyt TerraSolid Oy. Kirjoitushetkellä aineisto on luokiteltu seuraavalla tavalla:

- 1 default – oletuspisteluookka
- 2 ground – maanpinnalla olevat pisteet
- 3 low vegetation – matala kasvillisuus
- 4 medium vegetation – keskikorkuinen kasvillisuus
- 5 high vegetation – korkea kasvillisuus
- 7 low point – maanpinnan alle jääviä pisteitä, lähinnä virheellisiä, monesta eri kohteesta heijastuneita laserpulseja
- 17 wire – johdot
- 23 traffic signs – liikennemerkkit.

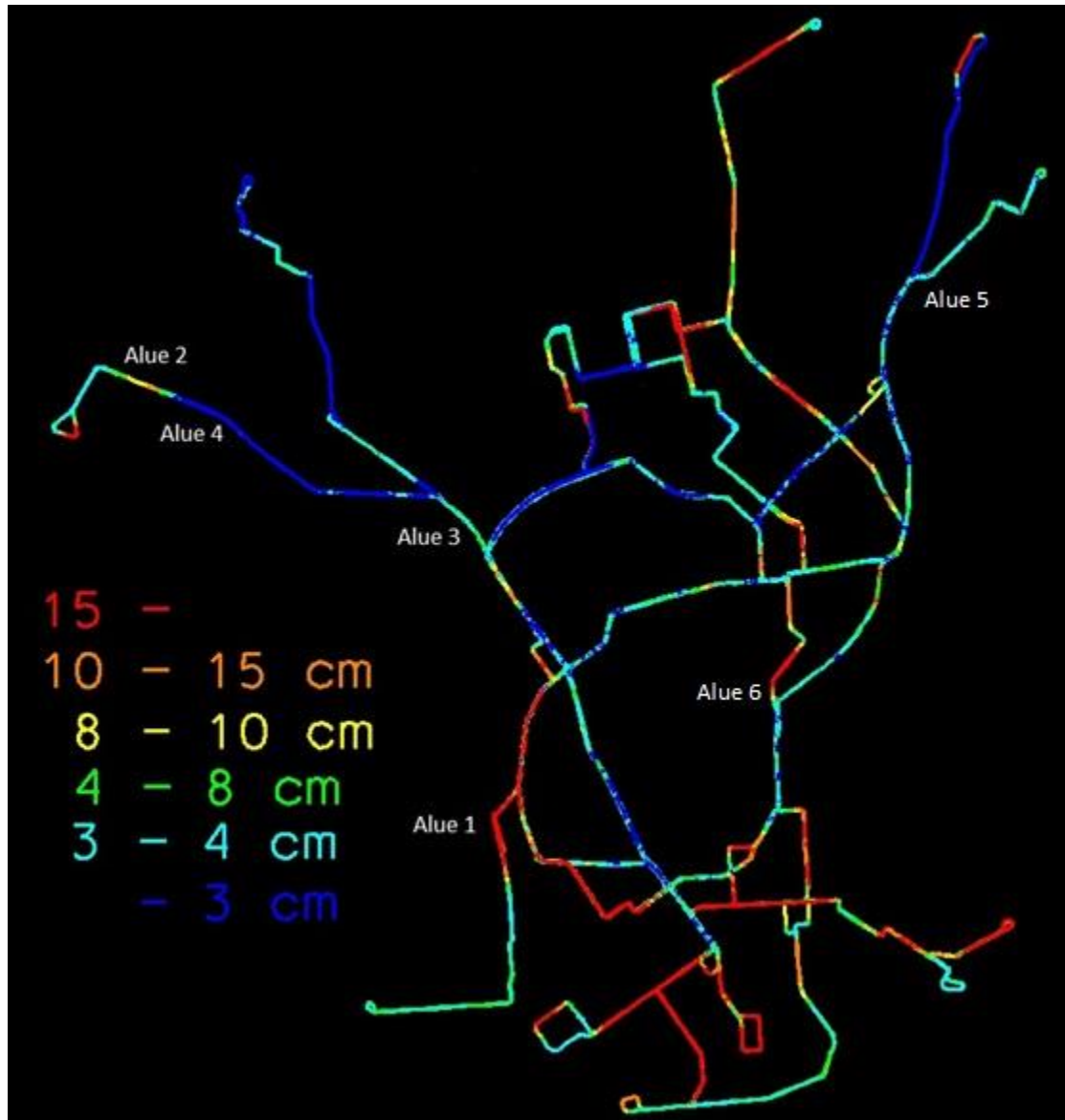
Yllä esitettyjen luokkien lisäksi pisteluokitustiedostossa on muitakin pisteluokkia joihin ei kuitenkaan kuulu yhtäkään pistettä.

## 7 Aineistojen vertailu

Aineistoja vertaillaan pääasiallisesti kahdella eri menetelmällä. Ensin aineistojen välillä suoritetaan visuaalista vertailua poikkileikkausten avulla. Vertailussa keskitytään maanpinnaksi sekä matalaksi kasvillisuudeksi luokiteltuihin pisteisiin, sillä maanpinnan tasolla on selvästi suurempi merkitys raitio- sekä katurakentamisessa kuin esim. kasvillisuudella. Matalaksi kasvillisuudeksi luokitellut pisteet otetaan mukaan visuaaliseen vertailuun, sillä hyvin suuri osa matalaksi kasvillisuudeksi luokitelluista pisteistä kuvastavat todellisuudessa maanpintaa. Tämä on helppo todeta tarkastelemalla päällystettyjä tieosuuksia, joilla on suuri määrä kasvillisuudeksi luokiteltuja pisteitä. Lisäksi aineistoista tehdään maastomallit maanpinnaksi luokitelluista pisteistä. Näitä maastomalleja verrataan keskenään sekä visuaalisesti että laskennallisesti.

Aineistojen hyvin suuren koon sekä suuren alueellisen kattavuuden vuoksi vertailua varten valitaan tiettyjä otanta-alueita. Vertailualueet valitaan sen mukaan, kuinka tiheää

signalointia kyseisellä alueella on käytetty. Tarkoituksena on valita mukaan alueita, joilla signalointi on ollut harvempaa ja tiheämpää. Koska alueilla, joilla satelliittinäkyvyys on heikompaa, on signaaleja kartoitettu tiheämmin, tulee otantaan samalla mukaan alueita, joilla on eritasoinen satelliittinäkyvyys.



Kuva 1. Keilauksen aikana vallinneen satelliittipaikannuksen tarkkuus.

Kuvassa 1 esitettyinä raitiotieverkon keilatut osat. Eri värit kertovat satelliittipaikannuksen tarkkuudesta keilaushetkellä. Lisäksi kuvaan on merkitty alueet, joilla tullaan tekemään vertailua laserkeilausaineistojen välillä. Tiedot perustuvat keilainjärjestelmän raportoimaan tarkkuuteen.

### 7.1 Aineistojen visuaalinen vertailu poikkileikkausten avulla

Aineistot luetaan samanaikaisesti kuvaruudulle ja ne värjätään toisistaan selvästi eri väreillä. Samalla myös kasvatetaan kaupunkimittausosaston aineiston pistekokoa, jotta pisteet saataisiin paremmin näkymään tiheämmän HKL:n pistepilviaineiston lomasta. Poikkileikkauksien visuaalista tarkastelua varten maanpinnaksi luokiteltujen pisteiden lisäksi mukaan tarkasteluun on otettu myös matalaksi kasvillisuudeksi luokitellut pisteet.

### 7.2 Aineistojen vertailu pintamallien avulla

Jotta aineistojen eroavaisuuksista saataisiin kokonaisvaltaisempi kuva, niitä vertaillaan keskenään myös laskennallisesti. Tätä varten aineistoista tehdään pintamallit TerraModeler-ohjelmalla. Pintamallien tekemiseen käytetään ainoastaan maanpinnaksi luokiteltuja pisteitä. Pintamallien välistä vertailua suoritetaan samoilta alueilta kuin visuaalista vertailua pistepilvien poikkileikkausten avulla. Tarkoituksena on, että kummastakin aineistosta tehdään pintamalli, jonka jälkeen mallit yhdistetään TerraModelerin subtract surfaces sovelluksen avulla. Tämän laskennallisesti tuotetun pintamallin kolmiot väritytään korkeusasemansa mukaan. Tällöin varsinkin mallien väliset korkeuserot pitäisi pystyä erottamaan selkeästi. Pintamallien välisten poikkileikkausten vertailua varten korkeuserot esitetään 10 kertaa suurempina kuin erot vaakasuunnassa.

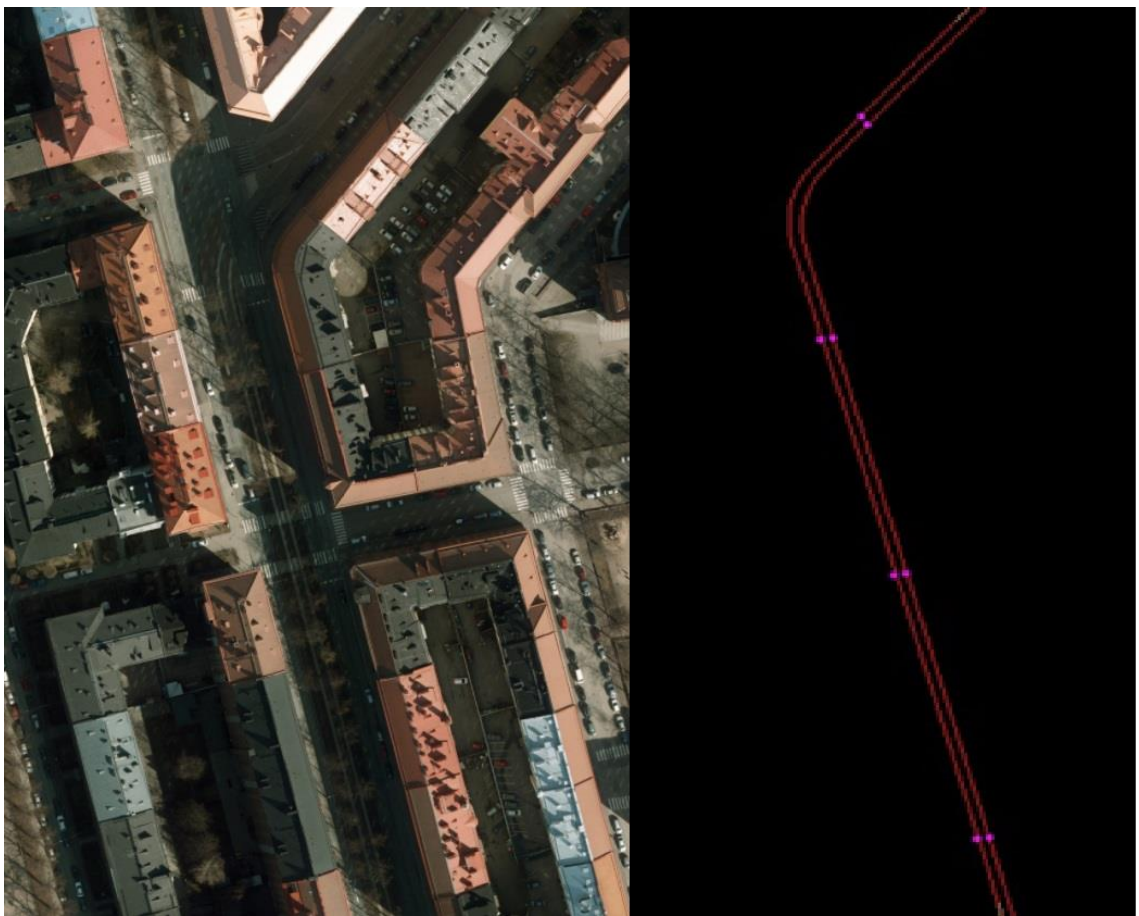
### 7.3 HKL:n aineiston vertailu takymetrimittauksiin

Sen lisäksi, että laserkeilausaineistoja vertaillaan keskenään, tullaan HKL:n keilausaineistoa vertailemaan takymetrimittauksella tehtyihin kartoituksiin. Mittaukset on tehty HKL:n toimeksiantoina. Vertailualueet on valittu sen mukaan, mistä takymetrikartoituksia on tehty, ja rataverkko on pysynyt muuttumattomana takymetrillä ja laserkeilaimella tehtyjen kartoitusten välissä. Vertailua takymetrikartoituksen ja laserkeilauksen välillä tehdään kuvassa 1 esitetyillä alueilla 1, 5 ja 6.

## 8 Otanta-alueet ja keilausaineistojen keskinäinen vertailu

### 8.1 Alue 1 (Mechelininkatu)

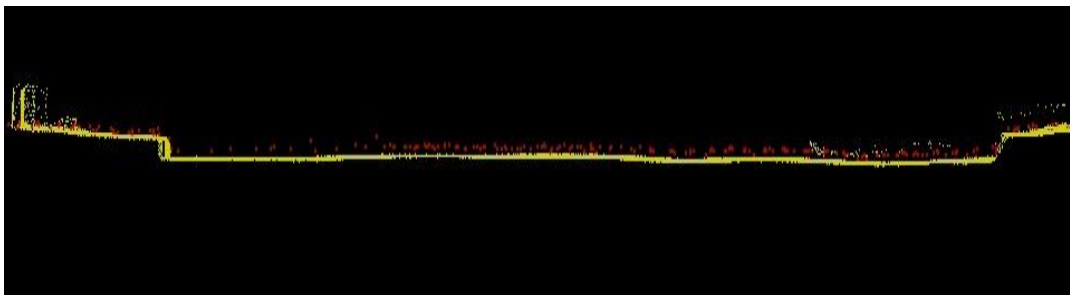
Alue (kuva 2) valikoitui mukaan vertailuun, sillä satelliittinäkyvyys on huono raitiokiskojen molemmin puolin kasvavien puiden vuoksi. Lisäksi kadun molemmilla puolilla on korkeita rakennuksia, jotka myös haittaavat satelliittinäkyvyyttä. Signaaleja vertailuun valitulla tieosuudella on noin 75–80 metrin välein. Yhteensä vertailtava tieosuus on noin 280 m pitkä.



Kuva 2. Mechelininkadun ja Caloniuksenkadun risteys. Vasemmalla ortokuva alueesta, oikealla satelliittipaikannuksen tarkkuutta kuvaava punainen viiva kertoo tarkkuuden olevan huonompi kuin 15 cm. Signaalipisteet näkyvät oikeanpuoleisessa kuvassa liilan värisenä.

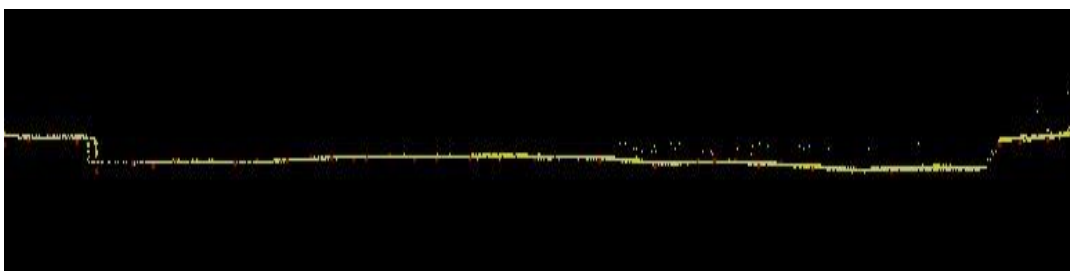
### 8.1.1 Visuaalinen vertailu poikkileikkausten avulla

Poikkileikkauksessa (kuva 3) nähdään, että maanpinta KMO:n aineistossa on korkeammalla kuin HKL:n aineistossa.



Kuva 3. Poikkileikkauksessa KMO:n aineiston pisteet värjätty punaisella.

Lähemmässä tarkastelussa voidaan mitata, että HKL:n aineistossa maanpinta on keskimäärin noin 3,5 cm alempana kuin KMO:n aineistossa. Tämä voi johtua mm. käytetyistä muunnosparametreistä. Sama ilmiö toistuu myös muualla tehdyissä poikkileikkauksissa.

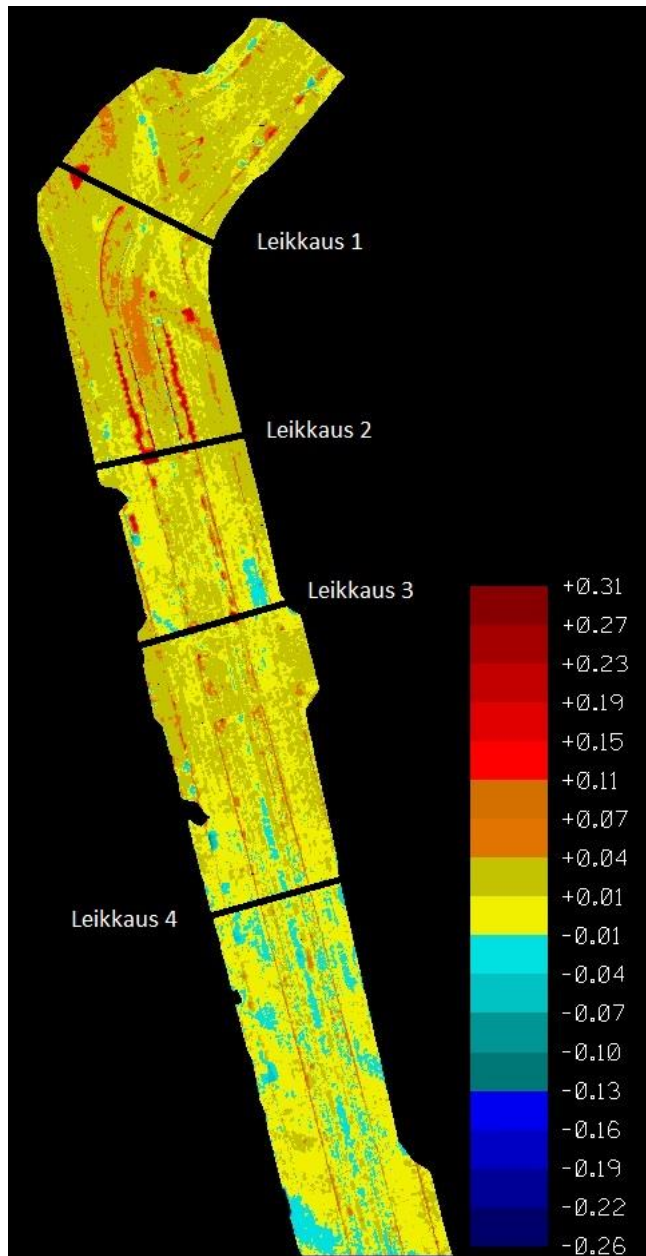


Kuva 4. HKL:n aineistoa nostettu 3,5 cm ylöspäin.

Kun HKL:n aineistoa on nostettu ylöspäin (kuva 4), nähdään, että pisteillä on sama korkeusasema. Aineistot ovat muutenkin hyvin yhteneväiset keskenään esim. reunakivien osalta. Tätä 3,5 cm nostettua aineistoa tullaan käyttämään myös pintamallin luomisessa, täten pyritään eliminoimaan aineistojen välillä oleva systemaattinen eroavaisuus.

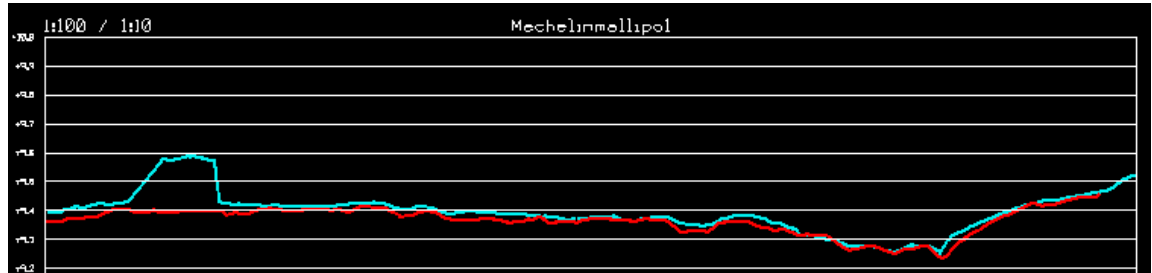
### 8.1.2 Vertailu pintamallien avulla

Pintamallien vertailussa käytetään KMO:n muuntamatonta maanpinnaksi luokiteltua pisteaineistoa. HKL:n aineistoa on edellä mainitulla tavalla nostettu 3,5 cm, jotta aineistoista poistuisi selvästi systemaattinen virhe ja aineistoista täten nähtäisiin paremmin eroavaisuuksia itse keilauksen tarkkuudessa.



Kuva 5. Molemmista aineistoista, maanpinnaksi luokitelluista pisteistä, laskennallisesti yhdistämällä tuotettu malli. Punaisella värillä esitetyissä kohdissa HKL:n aineistosta tuotettu malli on korkeammalla kuin KMO:n vastaava.

Yhdistetystä mallista (kuva 5) nähdään että suurin osa korkeuseroista kohdistuu -4...+4 cm:n alueelle. Maksimikorkeuserot mallien välillä ovat -26 ja +31 cm. Suurin osa korkeuseroista osuu raitiovaunupysäkkien reunakivien viereisille alueille. Tämä selittyy sillä, että pistetiheydeltään tarkemmassa HKL:n aineistossa reunakivien reunat näkyvät selkeästi, kun ne KMO:n aineistossa saavat pyöreämmän muodon.



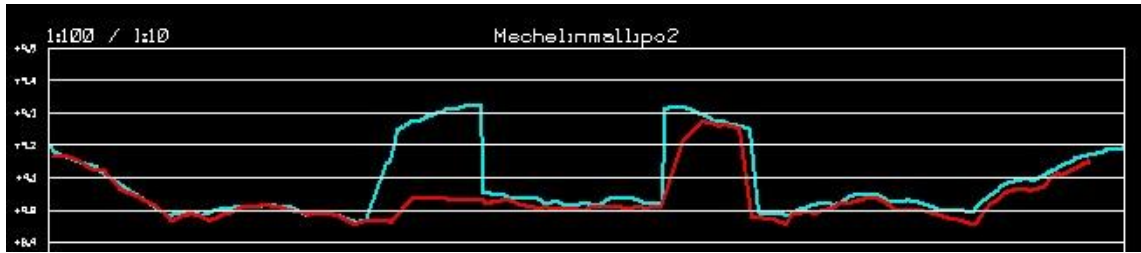
Kuva 6. Leikkaus 1. KMO:n aineistosta tehdyn pintamallin poikkileikkaus esitetty punaisella. HKL:n vastaava turkoosilla värillä. Vaakaviivat 10cm välein.

Poikkileikkauksessa 1 (kuva 6) nähdään selvästi kohouma HKL:n aineistossa. Kun laskennallista mallia tarkastellaan visuaalisesti, voidaan päätellä, että kyseessä on tien reunakivetyks, johon KMO:n aineistossa ei ole osunut riittävästi pisteitä, jotta se olisi luokitellut maanpinnaksi. Sama voidaan todentaa pistepilviaineistosta tehdyllä poikkileikkauksessa (Kuva 7)



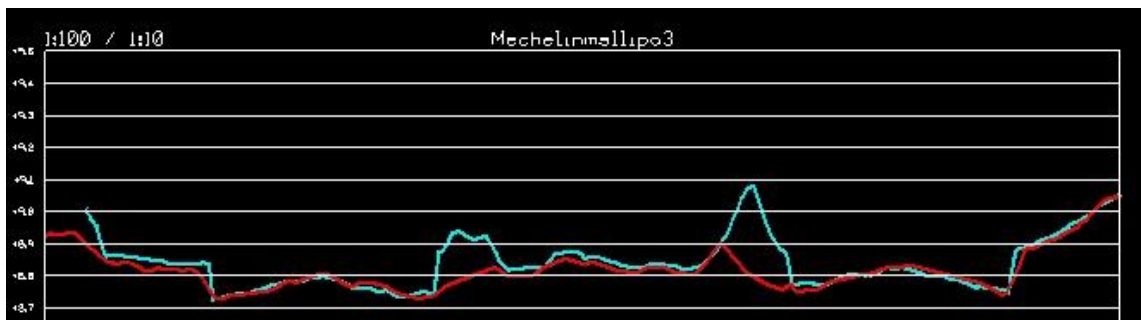
Kuva 7. Leikkaus 1 pistepilviaineistossa. Kuvassa HKL:n maanpinnaksi luokitellut pisteet keltaisella. KMO:n maanpinnaksi luokitellut pisteet on värjätty punaisiksi.

Poikkileikkauksessa 2 (kuva 8) voidaan havaita samankaltainen kohouma kuin poikkileikkauksessa 1; tässä tapauksessa kohouma on raitiovaunupysäkin reunakivetyksen kohdalla. Toisella puolella raiteita reunakivi näkyy myös KMO:n aineistossa. Syy eroavaisuuksiin on sama kuin poikkileikkauksessa 1.



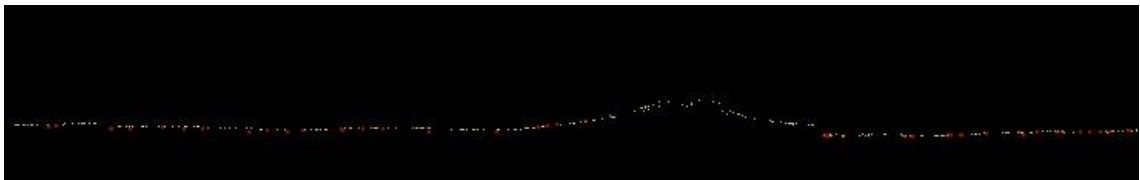
Kuva 8. Leikkaus 2. KMO:n aineistosta tehdyn pintamallin poikkileikkaus esitetty punaisella. HKL:n vastaava turkoosilla värillä. Vaakaviivat 10 cm:n välein.

Poikkileikkauksessa 3 (kuva 9) erot pintamallien välillä ovat hyvin samankaltaisia kuin kahdessa aiemmassa vertailukohtassa. Erot ovat suurimmillaan tien reunakivetyksen kohdilla sekä ajoratojen välissä olevien viherkaistaleiden kohdilla.



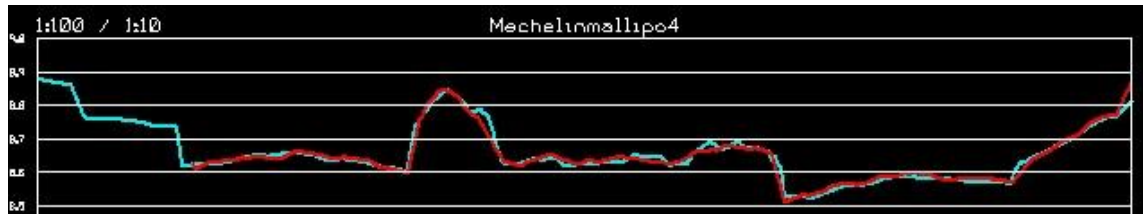
Kuva 9. Leikkaus 3. KMO:n aineistosta tehdyn pintamallin poikkileikkaus esitetty punaisella. HKL:n vastaava turkoosilla värillä. Vaakaviivat 10 cm:n välein.

Syy eroavaisuuksin selviää tarkastelemalla pistepilviaineiston poikkileikkausta (kuva 10). Tästä aineistosta nähdään, että syy eroavaisuuksiin on sama kuin aiemmissa esimerkeissä eli KMO:n aineiston harvempi pistetiheys, jolloin pisteitä ei ole osunut alla näkyvien kumpareiden laelle. Harvempi pistetiheys viherkaistaleen alueella selittyy kasvillisuuden peittäväällä vaikutuksella ilmasta keilattaessa.



Kuva 10. Pistepilviaineistosta tehty poikkileikkaus. Kuvassa HKL:n maanpinnaksi luokitellut pisteet keltaisella. KMO:n maanpinnaksi luokitellut pisteet on värjätty punaisiksi.

Kun verrataan kohdan 4 poikkileikkauksia pintamallien avulla (kuva 11), huomataan, että erot ovat huomattavasti pienempiä kuin aiemmissa kohdissa. Pintamallit ovat hyvinkin yhteneväisiä. Tämä näkyy myös laskennallisesti yhdistämällä tehdyssä mallissa, jota tarkastelemalla huomataan pintamallien korkeuserojen olevan noin  $\pm 1$ cm.

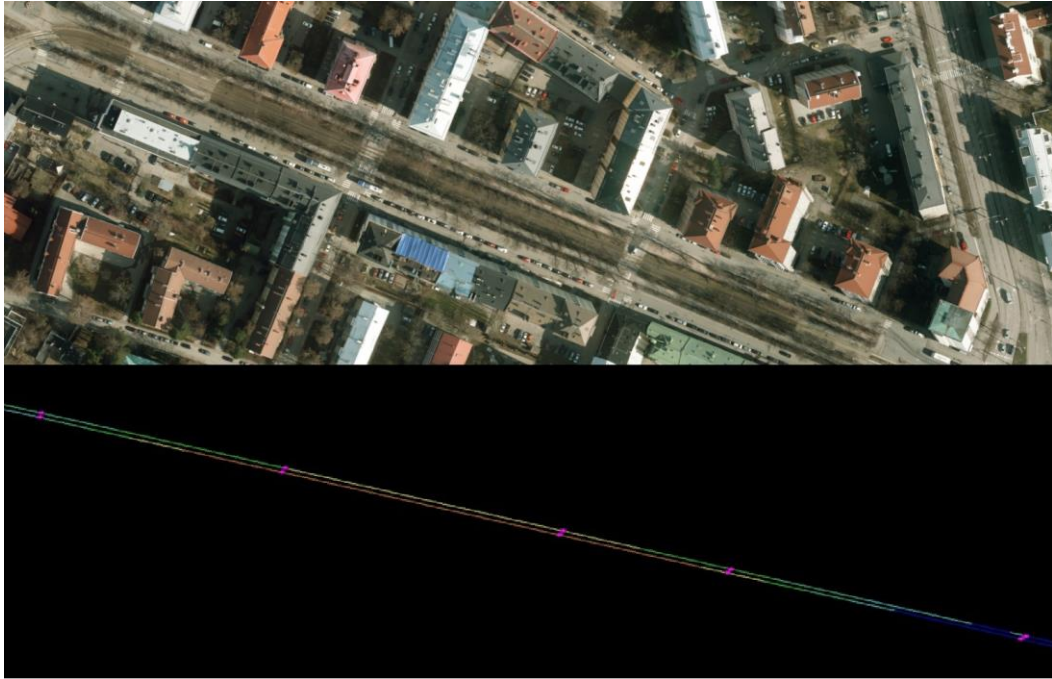


Kuva 11. Leikkaus 4. KMO:n aineistosta tehdyn pintamallin poikkileikkaus esitetty punaisella. HKL:n pintamallin leikkaus turkoosilla värillä. Vaakaviivat 10 cm:n välein.

Kaupunkimittausosaston aineistosta ei saada tehtyä poikkileikkausta koko tien leveydeltä korkeiden rakennusten tekemän katvealueen vuoksi.

## 8.2 Alue 2 (Munkkiniemi)

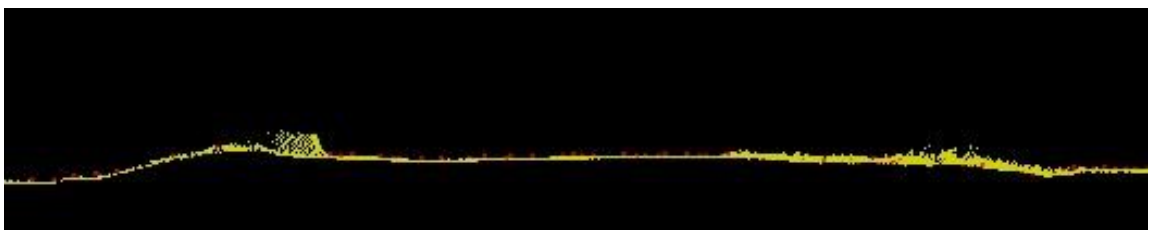
Alue (kuva 12) valikoitui mukaan vertailuun kohtuullisen satelliittigeometrian vuoksi. Tieosuudella satelliittinäkyvyys on myös ollut hyvin vaihtelevaa raitiokiskojen molemmin puolin kasvavien puiden vuoksi, joten vertailussa selviää myös, onko sillä suurta merkitystä tuloksiin. Tieosuudelle on maalattu signaaleja keskimäärin 119 metrin välein, joten samalla nähdään, onko harvemmillä signaloinnilla merkittävää vaikutusta tuloksiin. Yhteensä vertailtavan tieosuuden pituus on noin 477 metriä.



Kuva 12. Munkkiniemessä sijaitseva vertailuun valittu katuosuus, yllä ortokuva alueesta, alapuolella ajorataratkaisun tarkkuutta kuvaava viiva osoittaa satelliittipaikannuksen tarkkuuden olleen hyvinkin vaihteleva. Signaalipisteet näkyvät alemmassa kuvassa liilan värisenä.

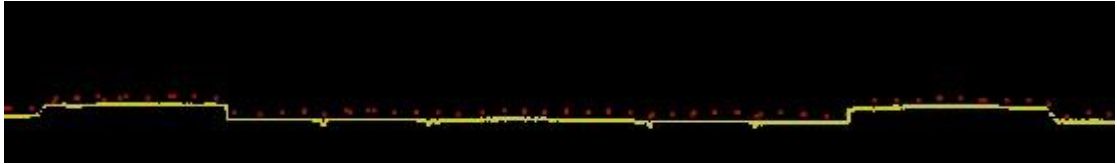
### 8.2.1 Visuaalinen vertailu poikkileikkausten avulla

Aineiston visuaalisessa vertailussa voidaan todeta, että pistepilvet vastaavat toisiaan kohtalaisen hyvin. Alueen luoteispuolella KMO:n pistepilviaineisto on keskimäärin noin 2 cm korkeammalla kuin HKL:n aineisto (kuva 13).



Kuva 13. Pistepilviaineistosta tehty poikkileikkaus vertailualueen luoteispuolelta. Kuvassa HKL:n maanpinnaksi luokitellut pisteet keltaisella. KMO:n maanpinnaksi luokitellut pisteet on värjätty punaisella. Poikkileikkaus raitiotiekiskojen kohdalta autokaistojen välistä.

Kun aineistojen poikkileikkauksia verrataan alueen kaakkoispuolelta (kuva 14), huomataan, että korkeusero aineistojen maanpintaa kuvaavien pisteiden välillä on suurempi. Poikkileikkauksia tarkastellessa voidaan mitata korkeuseron olevan keskimäärin noin 6 cm.

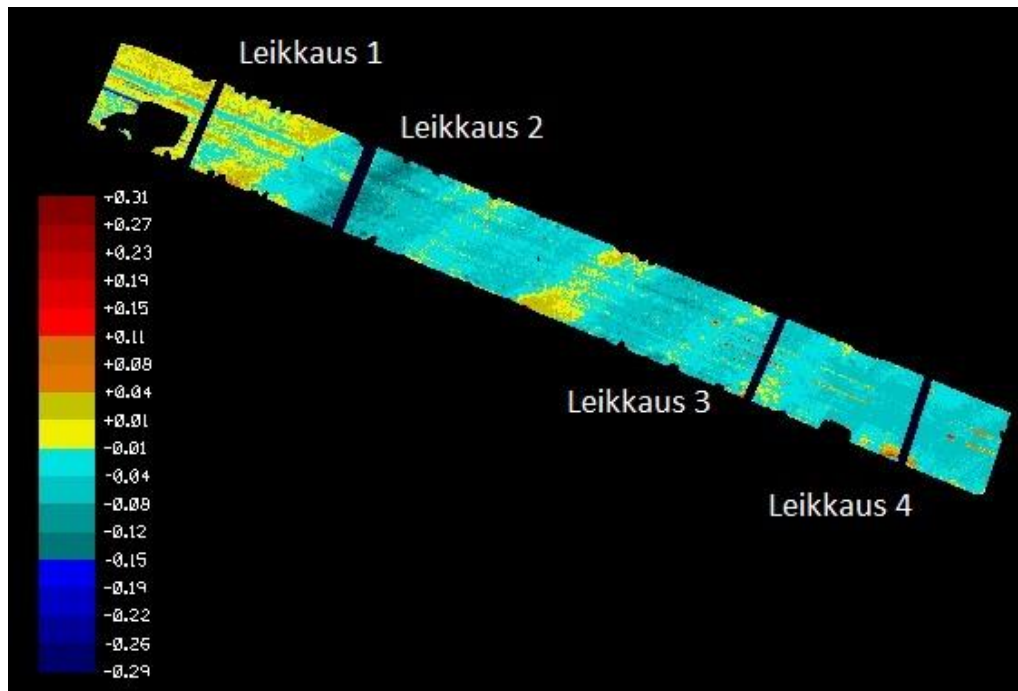


Kuva 14. Pistepilviaineistosta tehty poikkileikkaus vertailualueen kaakkoisosasta. Kuvassa HKL:n maanpinnaksi luokitellut pisteet keltaisella. KMO:n maanpinnaksi luokitellut pisteet on värjätty punaisella. Poikkileikkaus raitiotiekiskojen raitiopysäkkien välistä.

Poikkileikkauskuvassa voidaan todeta KMO:n pisteiden olevan selvästi korkeammalla kuin HKL:n pistepilviaineiston. Reunakiviä tarkastelemalla voidaan todeta pisteiden tasotarkkuuden vastaavan toisiaan varsin hyvin.

### 8.2.2 Aineistoista tuotettujen pintamallien vertailu

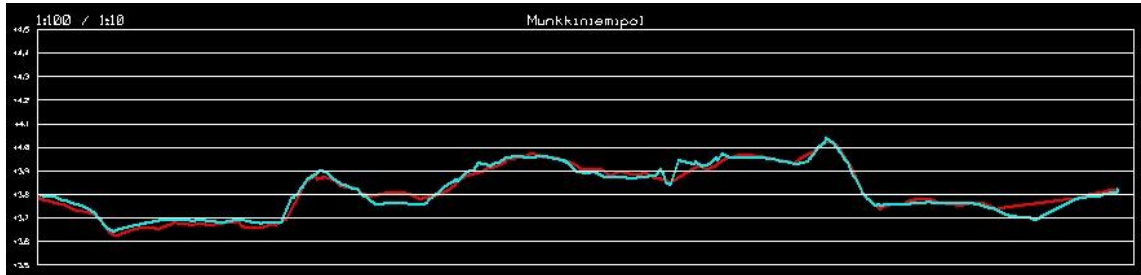
Koska korkeusero aineistojen välillä ei ole selvästi samansuuruinen koko vertailualueella, ei pisteiden korkeusasemaa muuteta kummassakaan aineistossa.



Kuva 15. Molemmista aineistoista, maanpinnaksi luokitelluista pisteistä, laskennallisesti yhdistämällä tuotettu malli. Punaisella värillä esitetyissä kohdissa HKL:n aineistosta tuotettu malli on korkeammalla kuin KMO:n vastaava.

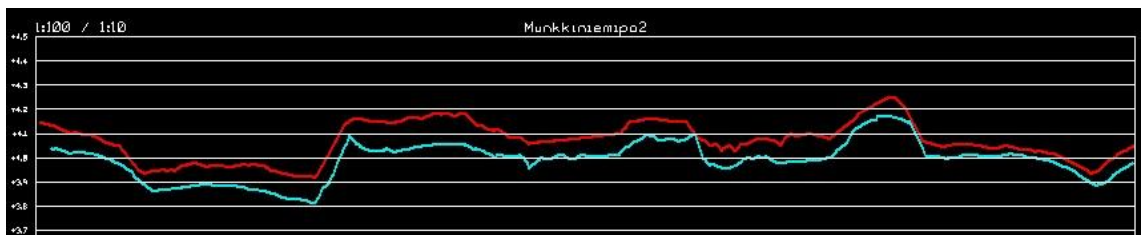
Laskennallisesti yhdistetystä mallista (kuva 15) voidaan todeta, että vertailualueen luoteispuolella korkeusero on pienempi kuin alueen kaakkoispuolella. Lisäksi mallista

nähdään selvästi, että alueen keskellä HKL:n aineistosta tuotettu malli on selvästi alempana kuin KMO:n aineistosta tuotettu malli. Lisäksi pintamallissa on selvä reikä alueen lounaisosassa, josta pintamallia ei ole pystytty tekemään liian harvan maanpinnan pistetiheyden vuoksi. Mustat viivat kuvastavat kohtia, joista pintamallien poikkileikkauksia verrataan keskenään.



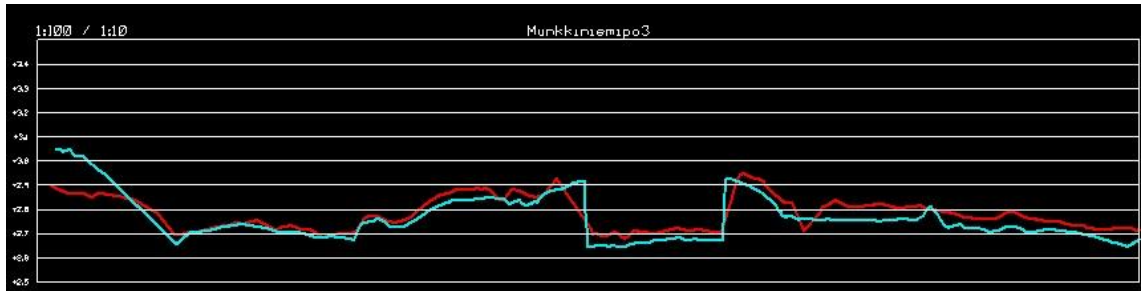
Kuva 16. Leikkaus 1. KMO:n aineistosta tehdyn pintamallin poikkileikkaus esitetty punaisella. HKL:n pintamallin leikkaus turkoosilla värillä. Vaakaviivat 10 cm; välein.

Kuvasta 16 voidaan nähdä, että aineistot ovat hyvin yhteneväiset keskenään. Korkeuserot ovat poikkileikkauksen alueella maksimissaan noin 5 cm tien reunakivien kohdalla.



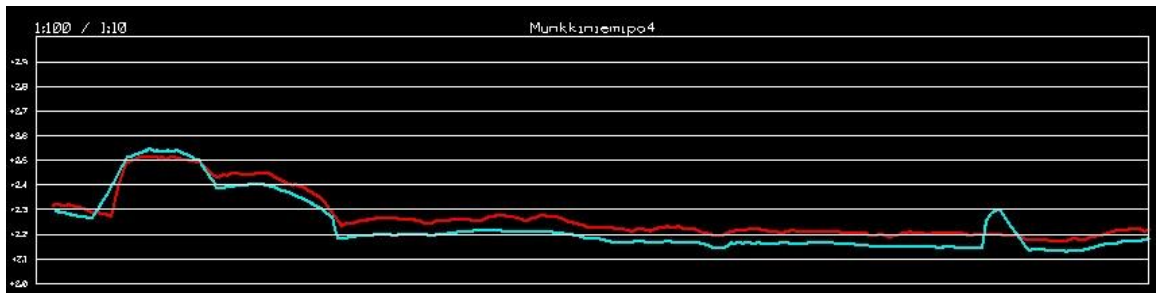
Kuva 17. Leikkaus 2. KMO:n aineistosta tehdyn pintamallin poikkileikkaus esitetty punaisella. HKL:n pintamallin leikkaus turkoosilla värillä. Vaakaviivat 10 cm; välein.

Leikkauksessa 2 (kuva 17) nähdään, miten korkeusero pintamallien välillä kasvaa vertailualueen keskiosassa. Sama voidaan todeta myös tarkastelemalla laskennallisesti yhdistämällä tuotettua mallia. Korkeusero mallien välillä ei ole koko tien leveydellä samansuuruinen vaan kasvaa tien toisessa reunassa. Suurimmillaan korkeusero on jopa yli 10 cm.



Kuva 18. Leikkaus 3. KMO:n aineistosta tehdyn pintamallin poikkileikkaus esitetty punaisella. HKL:n pintamallin leikkaus turkoosilla värillä. Vaakaviivat 10cm välein.

Poikkileikkauksessa 3 (kuva 18) nähdään selvästi, että korkeusero mallien välillä on jälleen supistunut. Ero on hieman suurempi tien toisessa reunassa mikä nähdään myös laskennallisesti yhdistetystä mallista. Lisäksi eroja mallien välillä syntyy korkeiden reunakivetyksien vieressä, raitiovaunupysäkin kohdalla tien keskellä.

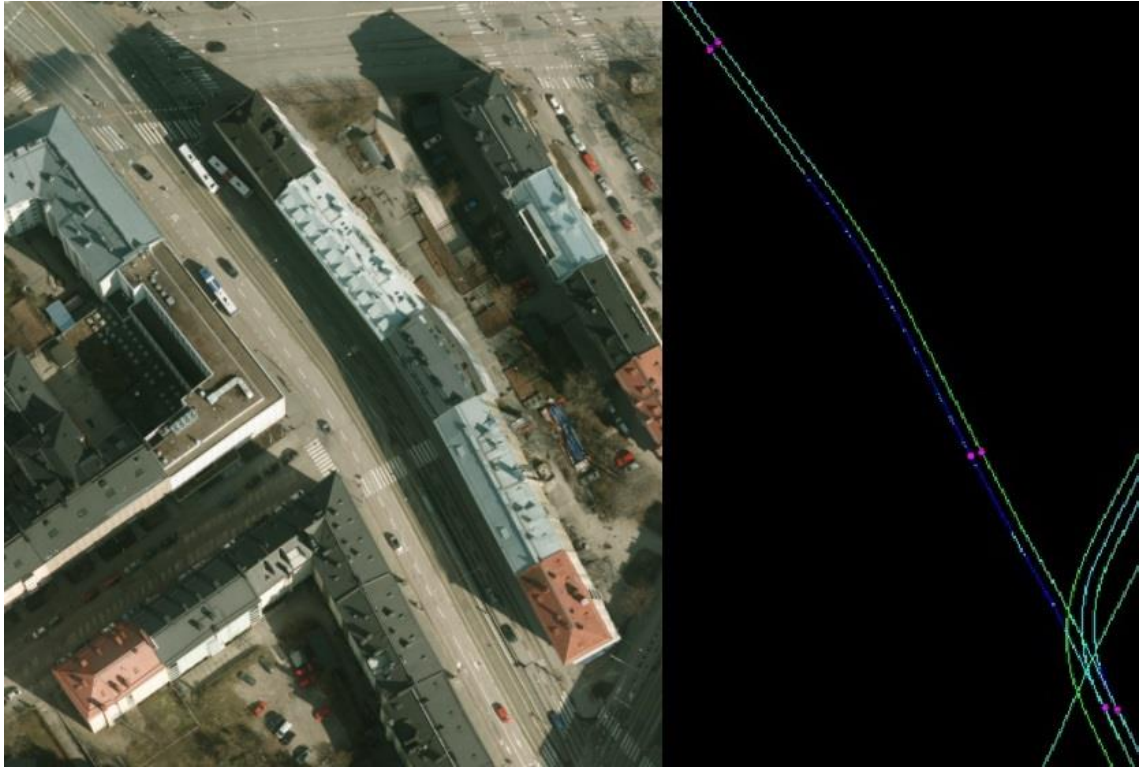


Kuva 19. Leikkaus 4. KMO:n aineistosta tehdyn pintamallin poikkileikkaus esitetty punaisella. HKL:n pintamallin leikkaus turkoosilla värillä. Vaakaviivat 10 cm:n välein.

Leikkauksessa 4 (kuva 19) nähdään, että korkeusero mallien välillä kasvaa jälleen vertailualueen kaakkoisosassa. Myös yhdistetystä pintamallista voidaan todeta, että varsinkin tien keskiosassa korkeusero on suurimmillaan. Kohdat, joissa HKL:n malli on korkeammalla, ovat reunakiviä, joihin KMO:n keilauksessa ei ole osunut riittävästi pisteitä, jotta ne olisivat luokittuneet maanpinnaksi.

### 8.3 Alue 3 (Mannerheimintie)

Alueella (kuva 20) tehdään vertailua visuaalisesti sekä laskennallisesti laserkeilausaineistoista.

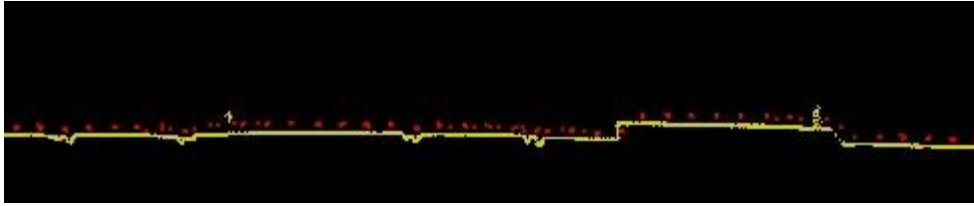


Kuva 20. Mannerheimintien vertailualue, vasemmalla ortokuva alueesta, oikeanpuoleisessa kuvassa ajorataratkaisun tarkkuutta kuvaava viiva kertoo tarkkuuden vaihdelleen hyvästä (> 3 cm) kohtalaiseen (> 8 cm). Signaalipisteet näkyvät kuvassa liilan värisenä.

Satelliittinäkyvyys alueella on ollut keilaushetkellä kohtalaisen hyvä, keilainjärjestelmän raportoinnin mukaan tarkkuus on ollut huonoimmillaankin parempi kuin 8 cm, keskimäärin tarkkuus on ollut 3–4 cm. Alueella on kartoitettu signaaleja noin 130–140 metrin välein.

### 8.3.1 Visuaalinen vertailu poikkileikkauksien avulla

Alueella tehdyissä poikkileikkauksissa huomataan, että sama ilmiö kuin aiemmissa vertailuissa toistuu. Tällä kertaa KMO:n aineisto on aiempaakin korkeammalla verrattuna HKL:n pistepilviaineistoon. Poikkeama ei myöskään ole yhtä tasasuuruinen kuin aiemmin, vaan vaihtelee reilustikin riippuen siitä, mistä kohtaa aluetta tarkastellaan.

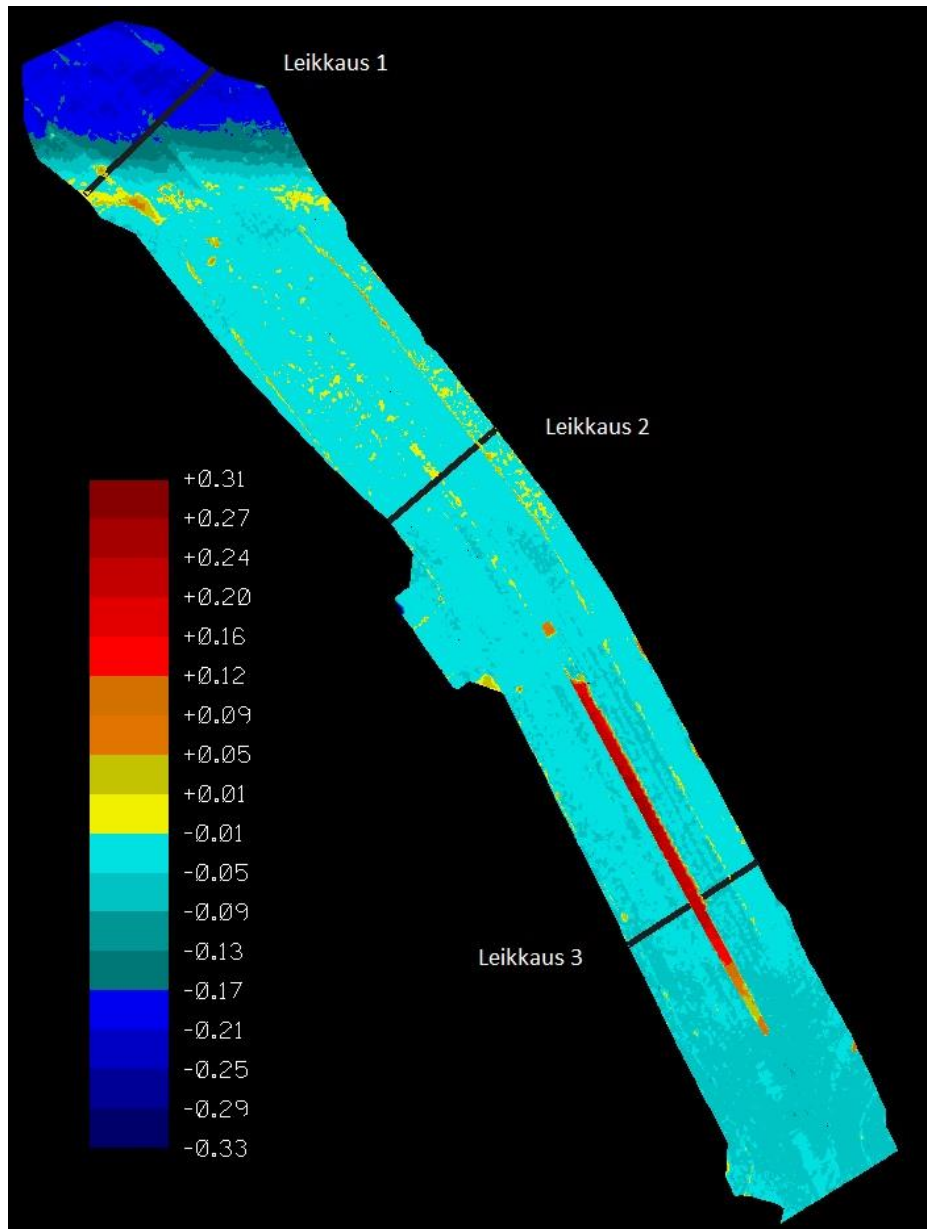


Kuva 21. Poikkileikkaus vertailtavan alueen eteläpuolelta, raitiovaunukiskojen ja pysäkin kohdalta. KMO:n pisteet värjätty punaisella.

Poikkileikkauksen (kuva 21) lähemmässä tarkastelussa voidaan mitata korkeuseron olevan keskimäärin noin 7 cm. Alueen pohjoisimmassa osassa maanpintaa kuvaavien pisteiden korkeusero on suurimmillaan jopa yli 20 cm.

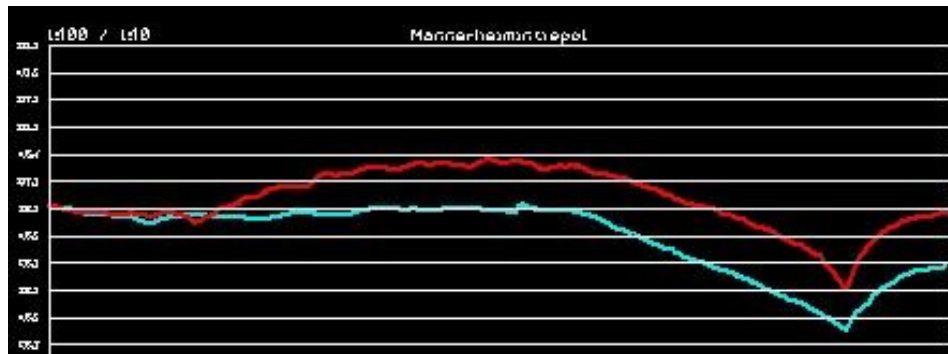
### 8.3.2 Pintamallien vertailu

Koska pistepilvien korkeuspoikkeama ei vertailtavalla alueella ole yhdensuuruinen, on aineistoista tehty pintamallit muuntamattomilla pisteillä. Tämän jälkeen pintamallit on laskennallisesti yhdistetty. Pintamallien tekemiseen on käytetty ainoastaan maanpinnaksi luokiteltuja pisteitä.



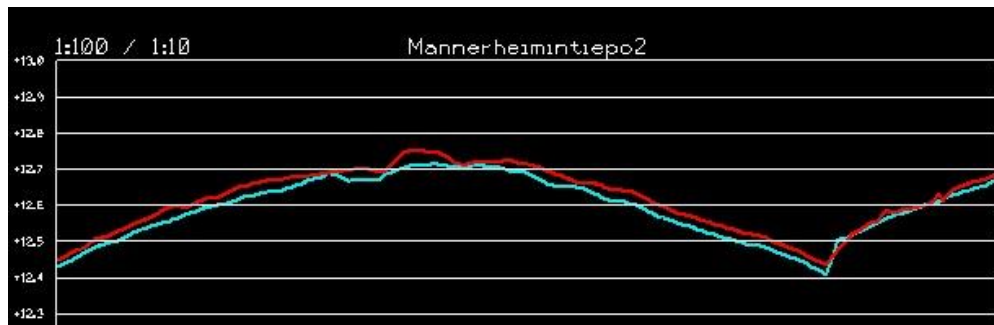
Kuva 22. Laskennallisesti yhdistämällä tuotettu pintamalli. Punaisella värillä esitetyissä kohdissa HKL:n aineistosta tuotettu malli on korkeammalla kuin KMO:n vastaava.

Yhdistetystä pintamallista (kuva 22) nähdään, että korkeuspoikkeama kasvaa selvästi alueen pohjoisosassa. Alueen keskiosassa poikkeama on suurimmalta osin 1–5 cm, kun se taas alueen eteläosassa kasvaa 5–9 senttimetriin. Virhe on todennäköisesti syntynyt vierekkäisiltä lentolinjoilta kerätyn pisteaineiston yhteensovittamisessa. Alimmillaan HKL:n aineistosta tuotettu malli on 32,9 cm matalammalla ja ylimmillään 26,2 cm korkeammalla kuin KMO:n aineistosta tuotettu malli.



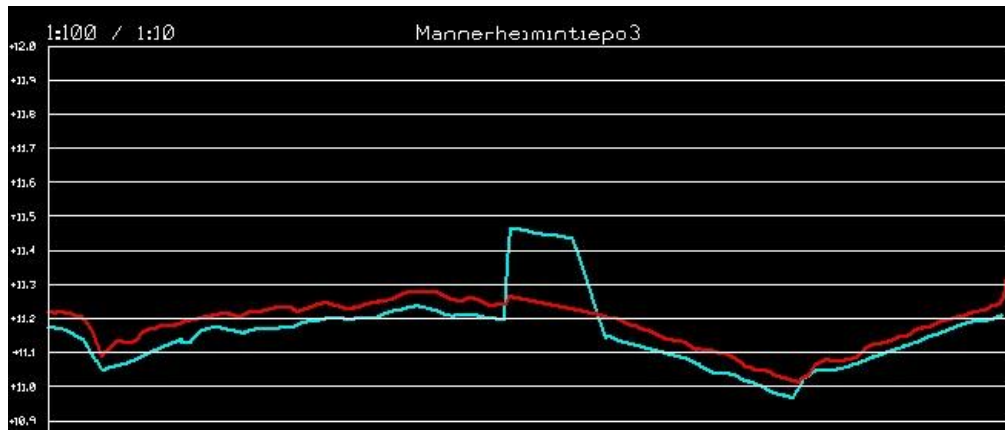
Kuva 23. Leikkaus 1. KMO:n aineistosta tehdyn pintamallin poikkileikkaus esitetty punaisella. HKL:n pintamallin leikkaus turkoosilla värillä. Vaakaviivat 10 cm:n välein.

Leikkauksessa 1 (kuva 23) nähdään selvästi miten korkeusero aineistojen välillä kasvaa vertailualueen pohjoisimmassa laidassa, tien toisessa reunassa.



Kuva 24. Leikkaus 2. KMO:n aineistosta tehdyn pintamallin poikkileikkaus esitetty punaisella. HKL:n pintamallin leikkaus turkoosilla värillä. Vaakaviivat 10 cm:n välein.

Leikkauksessa 2 (kuva 24) nähdään, että vertailualueen keskiosassa korkeusero on vähentynyt. Sama ilmiö nähdään myös yhdistetystä pintamallista (kuva 22). Poikkileikkauksessa nähdään myös, että aineistot ovat varsin yhteneväiset lukuun ottamatta poikkeamaa korkeusasemassa.



Kuva 25. Leikkaus 3. KMO:n aineistosta tehdyn pintamallin poikkileikkaus esitetty punaisella. HKL:n pintamallin leikkaus turkoosilla värillä. Vaakaviivat 10 cm:n välein.

Kuten yhdistetystä pintamallista nähdään (kuva 22), on HKL:n aineisto selvästi korkeammalla kuin KMO:n tien keskikohdalla. Sama voidaan myös todeta poikkileikkauksesta 3 (kuva 25). Visuaalisessa tarkastelussa voidaan todeta, että kyseessä on luultavasti korotettu raitiovaunupysäkki, johon ei KMO:n keilausaineistossa ole osunut riittävästi pisteitä, jotta se olisi luokiteltu maanpinnaksi. Leikkauksesta 3 nähdään myös, että systemaattinen korkeusero mallien välillä on kasvanut hieman.

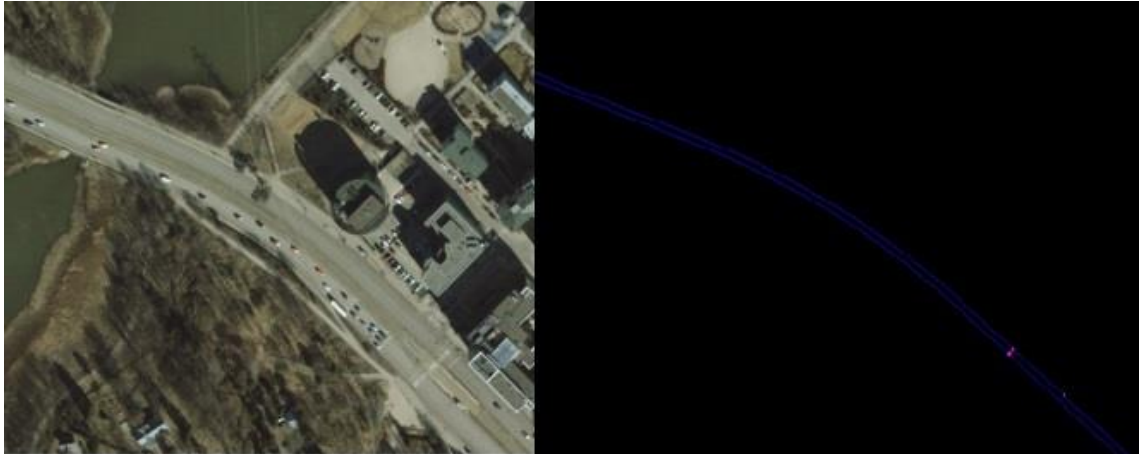


Kuva 26. Poikkileikkaus 3 pistepilviaineisosta. KMO:n pisteet värjätty punaisella HKL:n pisteet keltaisella.

Kuvassa 26 nähdään, että raitiovaunupysäkin kohdalla ei KMO:n pistepilviaineistossa ole maanpinnaksi luokiteltuja pisteitä.

#### 8.4 Alue 4 (Paciuksenkatu)

Pistepilviaineistojen välillä tehdään alueellisesti visuaalista vertailua. Lisäksi alueen maanpinnaksi luokitelluista pisteistä tehdään pintamallit, joita verrataan keskenään sekä visuaalisesti poikkileikkausten avulla että laskennallisesti yhdistämällä.

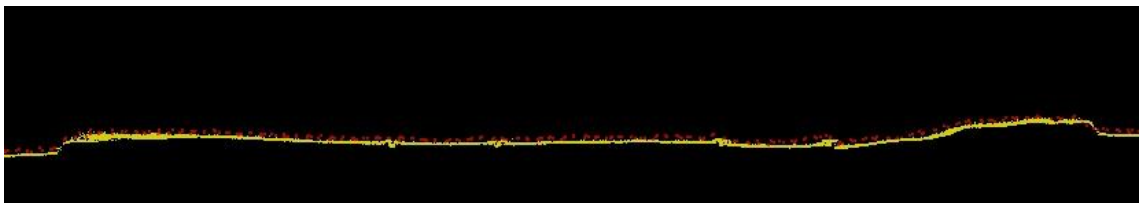


Kuva 27. Paciuksenkadun vertailualue, vasemmalla puolella ortokuva alueesta, oikealla puolella ajorataratkaisun tarkkuutta kuvaava sininen viiva kertoo tarkkuuden olleen koko alueella hyvä (> 3 cm). Signaalipisteet näkyvät kuvassa liilan värisenä.

Alue 4 (kuva 27) on valittu mukaan vertailuun, sillä satelliittinäkyvyys on ollut hyvä. Tarkkuus on paikannusjärjestelmän mukaan ollut koko alueella parempi kuin 3 cm. Tämän vuoksi alueella on käytetty harvaa signalointia. Signaalipisteiden välimatka on noin 400 metriä, eikä alueelle osu kuin yksi pistepari. Yhteensä vertailtavan katuosuiden pituus on noin 350 metriä.

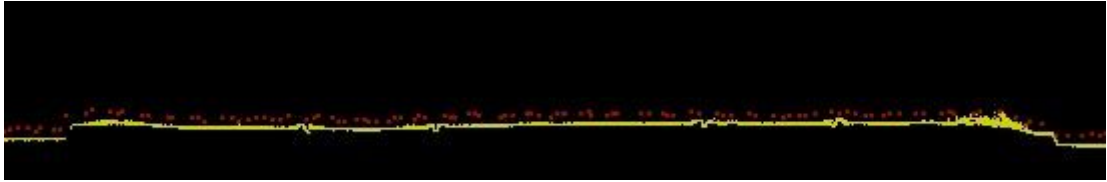
#### 8.4.1 Visuaalinen vertailu poikkileikkausten avulla

Vertailuun valitun alueen kaakkoisimmassa osassa nähdään, että sama ilmiö kuin aiemmissa vertailussa toistuu. KMO:n maanpintaa kuvaava pistepilviaineisto on selvästi korkeammalla kuin HKL:n pistepilviaineisto (kuva 28).



Kuva 28. Pistepilviaineistosta tehty poikkileikkaus vertailualueen kaakkoisosasta. Poikkileikkaus raitiotiekiskojen kohdalta tien keskeltä, ajokaistojen välistä. KMO:n pisteet värjätty punaisella HKL:n pisteet keltaisella.

Tarkemmassa vertailussa voidaan mitata korkeuseron olevan keskimäärin noin 4,5 cm.

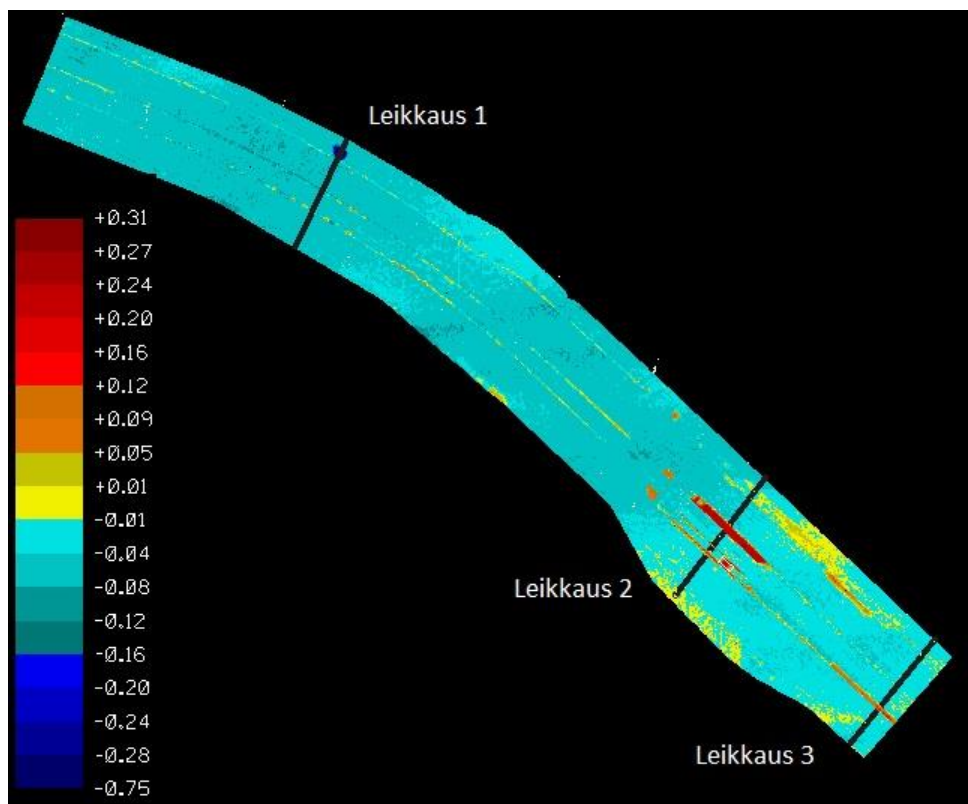


Kuva 29. Pistepilviaineistosta tehty poikkileikkaus alueen luoteisosasta. Poikkileikkaus raitiokis-kojen tuntumasta tien keskeltä, ajokaistojen välistä. KMO:n pisteet värjätty punaisella HKL:n pisteet keltaisella.

Alueen luoteisosassa korkeusero aineistojen välillä on suurentunut keskimäärin noin 8 senttimetriin (kuva 29).

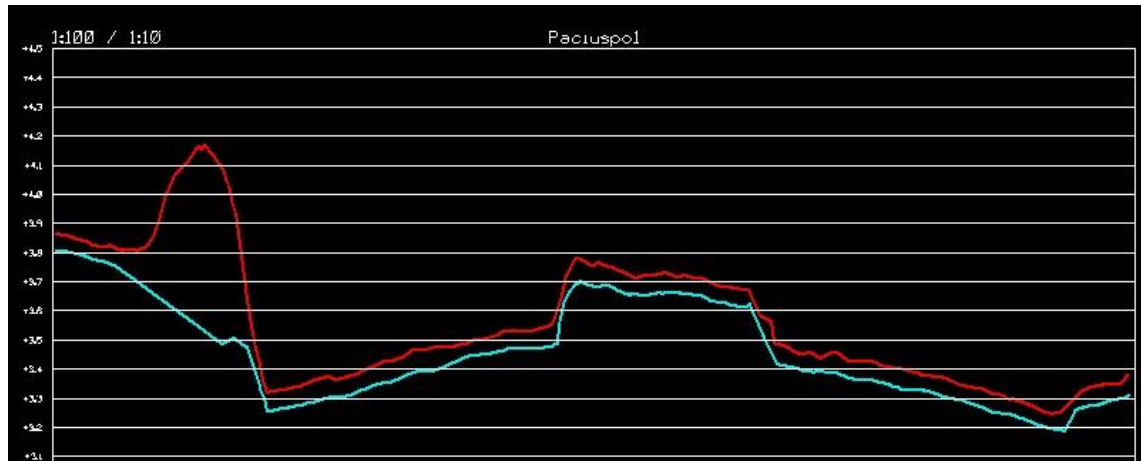
#### 8.4.2 Vertailu pintamallien avulla

Koska pistepilvien korkeuspoikkeama ei vertailtavalla alueella ole yhdensuuruinen, on aineistoista tehty pintamallit muuntamattomilla pisteillä. Tämän jälkeen pintamallit on laskennallisesti yhdistetty (kuva 30). Pintamallien tekemiseen on käytetty ainoastaan maanpinnaksi luokiteltuja pisteitä.



Kuva 30. Laskennallisesti yhdistämällä tuotettu pintamalli. Punaisella värillä esitetyissä kohdissa HKL:n aineistosta tuotettu malli on korkeammalla kuin KMO:n vastaava.

Laskennallisesti yhdistämällä tuotetusta mallista nähdään, että korkeuspoikkeama pintamallien välillä on hyvin samanlaista kuin aiemmillä vertailualueilla. Suurimmalla osalla vertailtavasta alueesta HKL:n maanpinnaksi luokitellut pisteet ovat 4–8 cm alempana kuin KMO:n aineiston maanpinnan pisteet. Aivan alueen kaakkoisosassa korkeuspoikkeama on pienempi.



Kuva 31. Leikkaus 1. KMO:n aineistosta tehdyn pintamallin poikkileikkaus esitetty punaisella. HKL:n pintamallin leikkaus turkoosilla värillä. Vaakaviivat 10 cm:n välein.

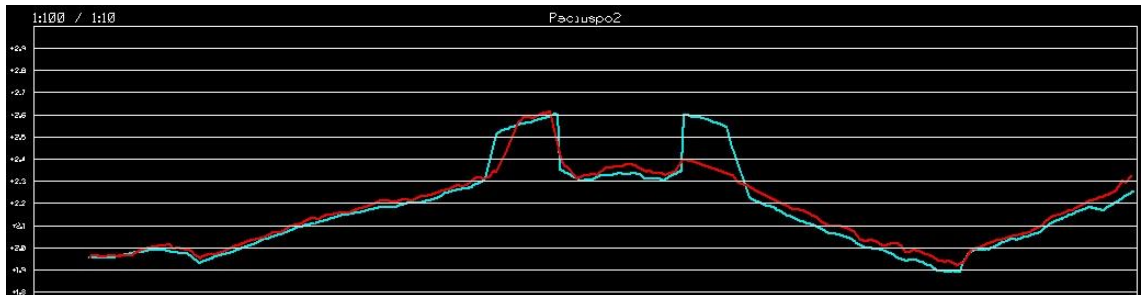
Leikkauksessa 1 (kuva 31) nähdään selvästi, että korkeuspoikkeama on koko leikkauksen alueella samansuuruinen. Poikkeuksena samansuuruiseen virheeseen on hyvin suuri ero kävelytien puolella, jossa KMO:n aineisto on enimmillään noin 60 cm korkeammalla HKL:n aineistoon verrattuna.



Kuva 32. Pistepilviaineistosta tehty poikkileikkaus korkeuspoikkeaman kohdalta leikkauskohdasta 1. KMO:n pisteet värjätty punaisella HKL:n pisteet keltaisella.

Kun korkeuspoikkeamaa tarkastellaan poikkileikkauksella pistepilviaineistosta (kuva 32), huomataan että HKL:n aineistossa on selvästi reikä samassa kohdassa. Täten

maanpinnan kumpare ei näy aineistossa lainkaan ja pintamallien korkeustasoon tulee suuri ero.



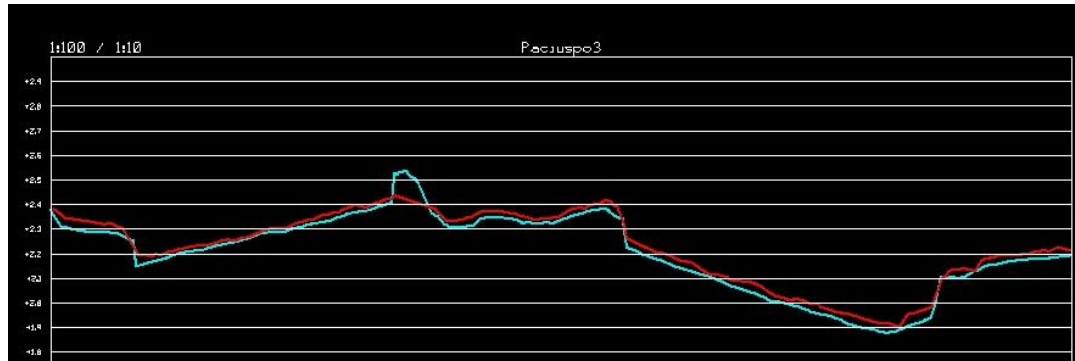
Kuva 33. Leikkaus 2. KMO:n aineistosta tehdyn pintamallin poikkileikkaus esitetty punaisella. HKL:n pintamallin leikkaus turkoosilla värillä. Vaakaviivat 10 cm:n välein.

Leikkauksessa 2 (kuva 33) voidaan havaita, että ero pintamallien korkeusasemassa on suurimmalta osin pienentynyt. Poikkileikkaus on tehty raitiovaunupysäkin kohdalta, ja toisen puolen pysäkkikorotus on jäänyt KMO:n aineistossa kokonaan pois.



Kuva 34. Pistepilviaineistosta tehty poikkileikkaus raitiovaunupysäkkien kohdalta leikkauskohdassa 2. KMO:n pisteet värjätty punaisella HKL:n pisteet keltaisella.

Kuvasta 34 voidaan todeta, että kuvassa oikealla puolella näkyvällä pysäkkikorotuksella ei ole KMO:n pistepilviaineistossa yhtäkään maanpinnaksi luokiteltua pistettä. Lisäksi reunakivien rajat eivät ole yhtä selkeät kuin HKL:n aineistossa, joten myös pintamalleihin tulee korkeuseroa pysäkkikorotuksien reunojen osalta.



Kuva 35. Leikkaus 3. KMO:n aineistosta tehdyn pintamallin poikkileikkaus esitetty punaisella. HKL:n pintamallin leikkaus turkoosilla värillä. Vaakaviivat 10 cm:n välein.

Leikkauskohdassa 3 systemaattinen korkeusero mallien välillä on 1–4 cm. Suuremmat korkeuspoikkeamat osuvat reunakivien kohdalle. Syy korkeuseroihin on sama kuin aiemmissa tapauksissa. Tiheämmässä HKL:n pistepilviaineistossa katukivetyksien reunat näkyvät paremmin, joten tien korotus reunakivetyksen kohdalla näkyy tarkemmin, kun se vastaavasti KMO:n aineistosta tehdyssä pintamallissa pyöristyy.

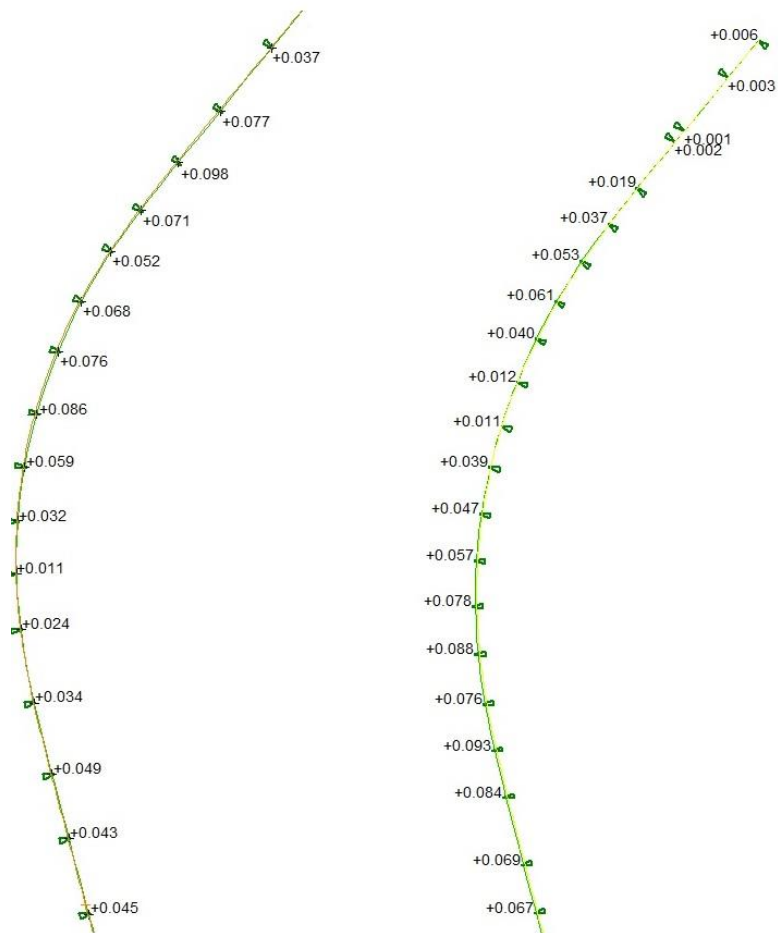
## 9 HKL:n aineiston vertailu takymetrimittauksiin

Laserkeilausaineiston vertailu takymetrillä kartoitettuihin kohteisiin on tehty vertaamalla keilausaineistosta tuotettua raitioverkon vektorikarttaa takymetrillä mitattuihin raiteisiin. Tarkastelu tullaan suorittamaan 3D-Win-ohjelmalla. Takymetrillä kartoitettaessa mitataan kartoituspiste aina kiskon ajopintaan. Laserkeilausaineistosta tehdyllä vektoroidulla kartalla raidetta kuvaavat pisteet sijaitsevat kiskojen ulkoreunassa. Tämän vuoksi raideleveys näyttää erilaiselta takymetrillä kartoitettujen ja laserkeilauksesta tuotetun aineiston välillä. HKL käyttää raiteiden suunnitteluun raiteen keskilinjan sijaintia, joten eroavaisuus raideleveydessä ei ole ongelma keskilinjan ollessa sama raideleveydestä riippumatta. Vertailu takymetrikartoituksella mitattuihin ja vektoroituihin kiskoihin tullaan myös tekemään raiteiden keskilinjan mukaan. Keskilinja on laskettu Bentley'n Power Rail Track-ohjelmalla, joka on MicroStation-ohjelman päällä toimiva rataverkkojen suunnitteluun ja hallintaan kehitetty ohjelmisto.

## 9.1 Vertailualue 1 (Mechelininkatu)

Vertailu tehdään mittamaalla etäisyys takymetrillä kartoitettujen kiskojen keskilinjasta laserkeilauksesta tuotetun vektorikartan keskilinjaan. Etäisyydenmittaus tehdään 3D-Win-ohjelmalla 3–4 metrin välein raiteiden keskilinjaa pitkin.

Erot keskilinjojen välillä esitetään ainoastaan tasossa eikä korkeuseroa huomioida. Tämä johtuu siitä, että kiskon ajopinta, joka mitataan takymetrillä, on aina alempana kuin keilauksessa raitiokiskoja kuvaavat kiskojen yläpinnan pisteet.

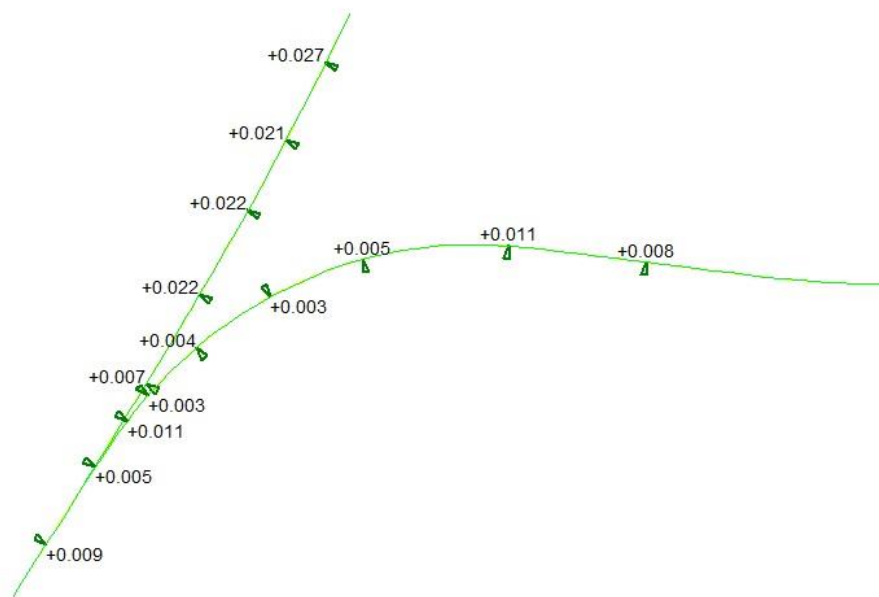


Kuva 36. Kuvassa vasemmalla puolella Mechelininkadun lännenpuoleisen raiteen keskilinja, oikealla puolella idänpuoleisen raiteen keskilinja.

Kuvasta 36 nähdään, että erot raiteiden keskilinjassa ovat varsin suuret eri aineistojen välillä. Ero on esitetty vertaamalla takymetrimittausta laserkeilausaineistoon. Aineistojen eroavaisuus ei myöskään ole samansuuruinen, vaan vaihtelee selvästi eri kohdissa vertailualueella. Virheiden suunta samalla raiteella on koko vertailtavalla osuudella samansuuntainen, mikä viittaa keilauksessa syntyneeseen systemaattiseen virheeseen. Tätä tukee myös se, että virhe on vastakkaisen suuntainen eri ajosuuntiin.

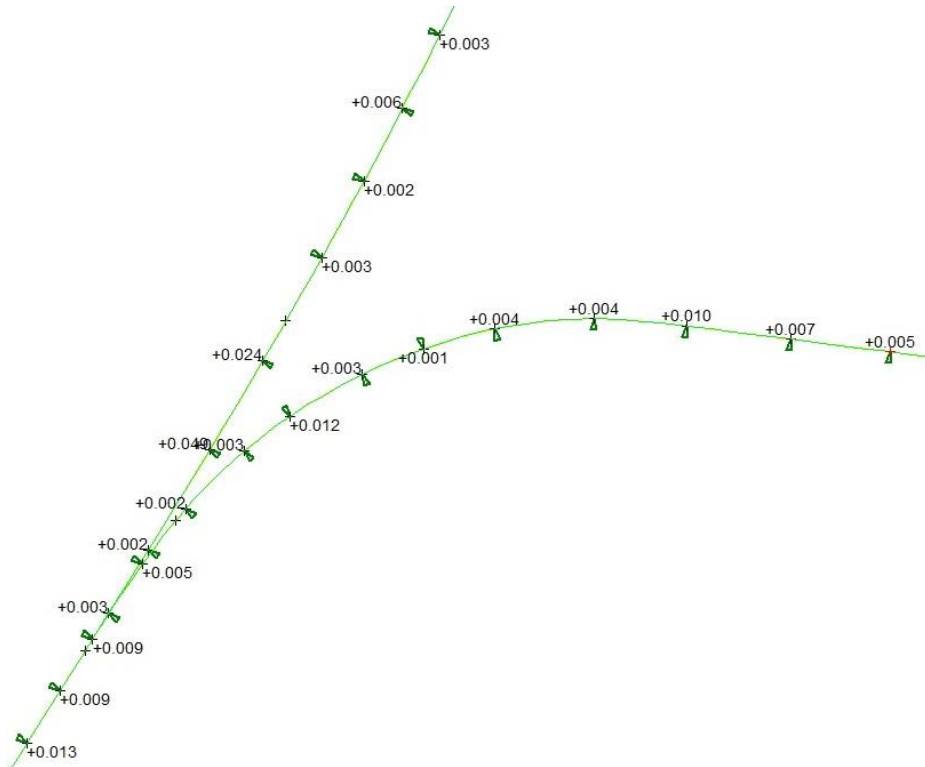
## 9.2 Vertailualue 5 (Kustaa Vaasan tie–Hämeentie)

Vertailu tehdään mittamalla etäisyys takymetrillä kartoitettujen kiskojen keskilinjasta laserkeilauksesta tuotetun vektorikartan keskilinjaan. Etäisyydenmittaus tehdään 3D-Win-ohjelmalla raiteiden keskilinjaa pitkin.



Kuva 37. Kustaa Vaasan tien ja Hämeentien risteyksen lännenpuoleisten raiteiden keskilinja

Kuvassa 37 nähdään, että erot raiteiden keskilinjojen tasosijainnissa ovat selvästi pienemmät kuin aiemmassa vertailussa. Virheet ovat myös samaa suuruusluokkaa koko vertailtavalla alueella. Virheiden suunta myös vaihtelee, mikä viittaa siihen, että virhe on satunnaista eikä systemaattista.

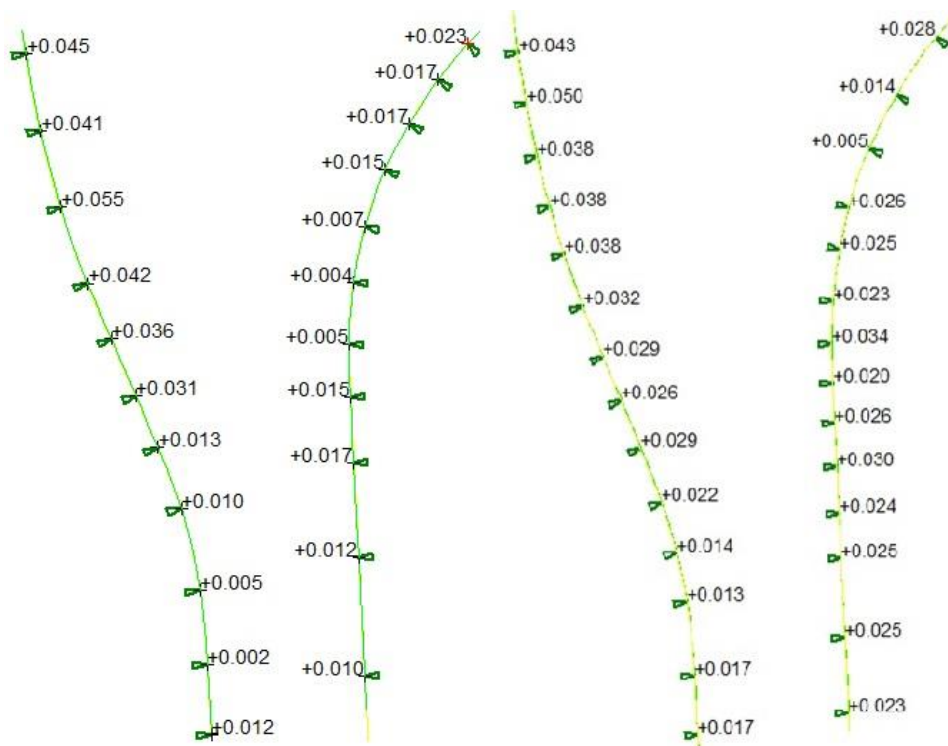


Kuva 38. Kustaa Vaasan tien ja Hämeentien risteyksen idänpuoleisten raiteiden keskilinja.

Idänpuoleisten raiteiden tarkkuus on lähes sama kuin kuvassa 37 näkyvien lännenpuoleisten raiteiden. Erot takymetrimittauksiin ovat hyvin pieniä ja virheiden suunta vaihtelee, täten voidaan päätellä, että kyse on satunnaisesta virheestä (kuva 38).

### 9.3 Alue 6 (Hakaniemi)

Vertailu tehdään mittamaalla etäisyys takymetrillä kartoitettujen kiskojen keskilinjasta laserkeilauksesta tuotetun vektorikartan keskilinjaan. Etäisyydenmittaus tehdään 3D-Win-ohjelmalla raiteiden keskilinjaa pitkin.



Kuva 39. Kuvassa vasemmalla puolella Hakaniemen torille kääntyvien lännenpuoleisten raiteiden keskilinja, oikealla puolella idänpuoleisten raiteiden keskilinja.

Kuvasta 39 voidaan todeta, että erot raiteiden keskilinjoissa takymetrikartoituksella ja laserkeilauksella tuotetuista vektoriaineistoista ovat vaihtelevia. Virheet pysyvät suurimmilta osin alle 5 senttimetrissä. Virheet ovat suurimmilta osin samansuuntaisia, mikä vaikuttaa systemaattiselta virheeltä keilausaineistossa. Virhe myös selvästi kasvaa, kun liikutaan alueella, jolla on satelliittinäkyvyyttä heikentäviä korkeita rakennuksia.

## 10 Yhteenveto

Aineistojen vertailussa saatiin selville niin yhtäläisyyksiä kuin eroavaisuuksiakin eri aineistojen välillä. Pistepilviaineistoja tarkastelemalla voitiin todeta raitiovaunukeilauksen antavan hyvinkin kattavaa tietoa rataverkon eri osa-alueilta. Tarkastelussa todettiin myös että KMO:n aineiston harvempi pistetiheys ei riitä yksityiskohtaiseen katujen kun-

non tarkasteluun, vaan pistetiheyden on oltava suurempi kuin kaupunkimittausosaston aineistossa. Aineistoissa myös löydettiin selvästi systemaattista eroavaisuutta korkeustasossa. Kaupunkimittausosaston tuottama pistepilviaineisto oli kaikilla vertailtavilla alueilla korkeammalla kuin liikennelaitoksen tuottama aineisto. Tämä voi olla ongelmallista varsinkin, jos aineistoja aiotaan käyttää yhdessä, jolloin tarkasteltavalla alueella vallitseva korkeusero tulisi selvittää ja pyrkiä eliminoimaan aineistojen yhteiskäyttöä varten. Korkeusaseman poikkeamaa lukuunottamatta aineistot vastaavat toisiaan kohdalaisen hyvin. Työssä huomattiin myös pistepilvien käsittelyn vaikutus tuloksiin. Varsinkin pisteiden luokittelussa syntyvät virheet vaikuttavat olevan melko tavallisia, ja ne aiheuttavat osaltaan vääristymiä mm. pintamalleja tehdessä.

Haasteena laserkeilausaineistojen keskinäisessä vertailussa oli aineistojen hyvin suuri koko. Ongelmia tulee varsinkin pintamallien vertailussa, sillä käytössä olleiden tietokoneiden teho ei riittänyt kuin pienien alueiden vertailemiseen keskenään. Laajamittaisempi aineistojen keskinäinen vertailu vaatisi selvästi tehokkaamman tietokoneen. Oman epävarmuutensa aineistojen väliseen vertailuun tuo aineistojen keräyshetken välinen aikaero, jolloin ympäristö voi jossain määrin muuttua. Ongelmana on lähinnä muun, kuin rakennetun ympäristön muuttuminen, sillä sitä on vaikeampi havainnoida jälkeinpäin eikä siitä jää yhtä selviä dokumentteja. Oman haasteensa laserkeilausaineistojen keskinäiseen vertailuun tuo myös vaadittava koordinaatistomuunnos, joka tuo vertailutuloksiin pientä epävarmuutta.

HKL:n aineiston vertailussa takymetrimittauksiin huomattiin, että alueelliset poikkeamat aineistojen välillä ovat suuria. Parhaimmillaan tarkkuudessa päästään noin kahden senttimetrin eroavaisuuksiin kun huonoimmillaan erot aineistojen välillä olivat lähemmäs 10 senttimetriä. Keilauksen aikana vallinneella satelliittinäkyvyydellä vaikuttaa olevan ainakin jonkin verran vaikutusta tarkkuuteen. Tarkkuutta voitaisiin parantaa tehokkaammalla signaaloinnilla, varsinkin peitteisillä alueilla, jolloin satelliittigeometrian vaikutus tulosten tarkkuuteen pienenesi.

Ongelmana vertailussa takymetrimittauksiin on mittauksessa tapahtuva systemaattinen korkeusvirhe, joka johtuu mitattavan kiskon geometriasta. Virhe vaihtelee tavallisesti noin 1,5–2,5 senttimetrin välillä riippuen mm. kiskon kuluneisuudesta.

Työtä voisi jatkaa laajamittaisemmalla tarkastelulla laserkeilausaineistojen sekä takymetrimittausten välillä. Vertailua voisi tehdä mm. kartoittamalla takymetrimittauksella

raitiovaunupysäkkejä ja vertaamalla niitä laserkeilausaineistosta vektoroituihin pysäkkeihin. Myös raitiokiskojen vektorikarttaa voisi vertailla edelleen takymetrikartoituksella tuotettuihin kiskokarttoihin.

Samankaltaiset keilaukset voivat olla ajankohtaisia myös jatkossa varsinkin uusien raitiotieratojen osalta, ja niissä kannattaisi tämän työn tulosten perusteella erityisesti kiinnittää huomiota tehokkaaseen ja tarkoituksenmukaiseen signalointiin. Mittaukset kannattaisi myös toteuttaa suoraan nykyisin käytössä olevaan ETRSGK-25-tasokoordinaatistoon ja N2000-korkeusjärjestelmään, jolloin koordinaatistomuunnoksilta jatkossa vältyttäisiin.

## Lähteet

- 1 Heiska, Nina. Universaaliskanneria etsimässä eli miten valita maalaserkeilain?. Maankäyttö 1/2009, s 31.
- 2 Joala, Vahur. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Verkkodokumentti. Leica Nilomark. < <https://docs.google.com/file/d/0B3MfAq-wXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGM5LTlkOWUtNTQzMdIwZTI3NDVm/edit?hl=en&pli=1>>. Luettu 9.5.2013
- 3 Heiska, Nina. 2010. Maalaserkeilaimet ovat kehittyneet geodeettisiksi mittauslaitteiksi. Maankäyttö 4/2010, s. 14.
- 4 Cronvall, Timo , Kråknäs, Pasi ja Turkka, Tommi. 2012. Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa. Verkkodokumentti. Liikennevirasto.< [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts\\_2012-41\\_laserkeilauksen\\_kaytto\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-41_laserkeilauksen_kaytto_web.pdf)>. Luettu 10.4.2013.
- 5 TerraScan – esite. Ei päivätty. Verkkodokumentti. TerraSolid Oy. <[http://www.terrasolid.fi/system/files/TerraScan\\_eng\\_1.pdf](http://www.terrasolid.fi/system/files/TerraScan_eng_1.pdf)> Luettu 11.4.2013
- 6 TerraModeler – esite. Ei päivätty. Verkkodokumentti. TerraSolid Oy. <[http://www.terrasolid.fi/system/files/TerraModeler\\_eng\\_1.pdf](http://www.terrasolid.fi/system/files/TerraModeler_eng_1.pdf)> Luettu 11.4.2013
- 7 Tesfaye, Gabriel. 2013. Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto Kaupunkimittausosasto. Sähköpostikeskustelu. 5.4.2013.
- 8 Kostamo, Miika. 2012. Digitaalinen fotogrammetria. Kurssimateriaali. Maanmittaustekniikka, Metropolia Ammattikorkeakoulu. Luettu 1.4.2013.
- 9 Riegl VQ250.Esite. Ei päivätty. Verkkodokumentti. Riegl. <[http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxpriegl/downloads/10\\_DataSheet\\_VQ-250\\_rund\\_25-09-2012.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegl/downloads/10_DataSheet_VQ-250_rund_25-09-2012.pdf)> Luettu 2.4.2013
- 10 Laurila, Pasi. 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D 3.
- 11 Euref-Fin/N2000-muunnokset Helsingin kaupungissa. 2012. Verkkodokumentti. Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto. <[http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/ae5f39804b310e8e87bb9fb5828cdf07/EUREF-FIN\\_N2000\\_muunnokset\\_Helsingin\\_kaupungissa.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ae5f39804b310e8e87bb9fb5828cdf07](http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/ae5f39804b310e8e87bb9fb5828cdf07/EUREF-FIN_N2000_muunnokset_Helsingin_kaupungissa.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ae5f39804b310e8e87bb9fb5828cdf07)>. Luettu 5.4.2013

- 12 Soininen Arttu. 2011. TerraScan User's Guide. Verkkodokumentti. TerraSolid Oy. < [http://www.terrasolid.fi/system/files/tscan\\_2.pdf](http://www.terrasolid.fi/system/files/tscan_2.pdf)>. Luettu 4.4.2013.

**KMO-laserkeilausaineiston metatiedot**

nimi suomeksi	Helsingin laserkeilausaineistot
nimi ruotsiksi	Helsingfors Lidar-material
nimi englanniksi	Lidar materials of the City of Helsinki
kuvaus	Helsingin laserkeilausaineisto on maanpintaa ja maanpinnalla olevia kohteita kuvaava kolmiulotteinen pistemäinen pistejoukko, jonka avulla voidaan tuottaa tarkka korkeusmalli maanpinnasta. Laserkeilauksia on viime vuosina tehty järjestelmällisesti ilmakuvauksien yhteydessä. Koko kaupungin alueelta on saatavissa yhtenäinen laserkeilausaineisto.
mittakaava	1:500
erotuskyky	Laserkeilauksien keilaustarkkuus yksi piste kutakin viittä neliösenttimetriä kohden. Käytännössä yhden keilauspisteen sijaintitarkkuus on noin 10 cm.
koordinaatisto	ETRS-GK25
vaihtoehtoinen koordinaatisto	Helsingin kaupungin erilliskoordinaatisto
korkeusjärjestelmä	N2000
alueellinen kattavuus	Koko Helsingin alue
käyttötarkoitus	Kartoituksen pohja-aineistoksi. Tarkan korkeusmallin ja kaupunkimallin luomiseksi.
jakelutapa	Tiedostoina tilauksesta eri tiedostomuodoissa. Aineisto on saatavilla kaupungin sisäverkossa KMO-palvelulevyllä.
tallennusmuoto	Las-tiedostoina sekä erityistilauksena TerraSolid Oy:n tiedostomuodoissa.

vakioitu tuloste	Las-tiedostoina
käyttöehdot	Maksullinen julkinen Helsingin kaupungin tuottama ja ylläpitämä kartta- ja paikkatietoaineisto. Kaupunki-organisaation tehtävissä maksuton.
julkinen saatavuus	Julkista saatavuutta ei rajoitettu.
hinta	Aineiston kustannukset koostuvat aineistokorvauksista, mahdollisista julkaisukorvauksista, aineiston irroituskustannuksista, tulostuskuluista, toimituskuluista sekä mahdollisista muista kuluista. Maksut määräytyvät kulloinkin voimassa olevan hinnaston mukaisesti. Lisätietoja: <a href="http://www.hel.fi/kv/kmo">http://www.hel.fi/kv/kmo</a> .
ylläpitävä organisaatio	Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto, kaupunkimittausosasto
omistava organisaatio	Kaupunkimittausosasto
aineiston julkaisupäivämäärä	1.1.1999
ylläpitotiheys	Vuosittain aina osa kaupungista.
ajantasaisuus	Jatkuva ylläpito, vuosittain kuvataan aina osa kaupungin pinta-alasta kuvausohjelman mukaisesti.
ajantasaisuuspäivämäärä	2012-12-01 00:00:00
historiatieto	Laserkeilaisaineistoja on tuotettu Helsingissä vuodesta 1999 lähtien.
ylläpitomenetelmät	Ilmakuvaus ja samanaikaiset laserkeilaukset. Aineiston tuottaja luokittelee aineiston ennen sen luovuttamista tilaajalle. Tämän jälkeen kaupunkimittausosasto tuottaa aineistosta erilaisia versioita eri käyttötar-

	koituksiin.
tietolähde	Ilmakuvaukset ja samanaikaiset laserkeilaukset.
tiedonkeruumenetelmä	Ilmakuvaukset ja samanaikaiset laserkeilaukset.
tiedonkeruvaihe	Valmis
tiedonkeruutila	Jatkuva ylläpito
yhteyshenkilö 1	Jorma Gröhn (Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto, kaupunkimittausosasto)
yhteyshenkilö 2	Tapio Linna (Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto, kaupunkimittausosasto)
resurssin tyyppi	Paikkatietoaineisto
liitännäisresurssi	-
paikkatietopalvelutyyppi	Muu palvelu
teema 1	Paikannus
teema 2	Luonto
aiheluokka 1	Korkeus
aiheluokka 2	Ympäristö
aiheluokka 3	Sijainti
inspire-tunnus	-
avainsanat	ilmakuva, laserkeilaus, korkeuskäyrä, korkeusmalli, kaupunkimalli, maastomalli
avainsanat (GEMET)	-
julkaisuajankohta	1.1.1999
aineiston päivityspäivämäärä	1.1.2012
sääntöjenmukaisuus	Ei arvioitu
metadatan vastuutaho	Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto, kaupunkimittausosasto
verkko-osoite	-

metatietojen päivitys	2013-02-12 15:51:58
muut tiedot	Ylläpito on muutettu 1.1.2012 alkaen ETRS-GK25 koordinaattijärjestelmään ja N2000 korkeusjärjestelmään. Aineistot saatavilla vuosien 1999-2012 ajalta sekä ETRS-GK25 (N2000-korkeusjärjestelmä) että Helsingin erilliskoordinaatistossa (NN-korkeusjärjestelmä).

Tarjouspyyntö/hintatiedustelu  
Kaupunkimittausosasto  
Maastomittaustoimisto  
20.2.2012 / Kari Ingberg

## TARJOUSPYYNTÖ/HINTATIEDUSTELU LASERKEILAUKSESTA

Kaupunkimittausosasto pyytää tarjousta/hintatietoja kansallisen kilpailutuskyynnysarvon alittavasta ilmasta tehtävästä laserkeilauksesta Helsingin kaupungin alueelta jäljempänä esitettävän karttakuvan alueelta.

Laserkeilausaineistosta on tarkoitus valmistaa maasto- ja kaupunkimallia Terra-ohjelmistolla eri virastojen käyttöön sekä käyttää aineistoa kantakartan 1:500 ajantasaistuksessa ja 3D-mallinnuksessa MicroStation-ohjelmistoilla

Kaupunkimittausosaston paikkatiedonkeruu ja kartoitusmittaukset tehdään kaavoitusmittausohjeiden mukaisesti mittausluokassa 1e.

### 1. Laserkeilaus

Laserkeilaukselta edellytetään, että maasto- ja kaupunkimallien muodostus sekä näiltä tehtävät kartoitukset voidaan suorittaa 1e -mittausluokkaa vastaavalla tarkkuudella, huomioiden laserkeilauksen ominaispiirteet tiedonkeruumenetelmänä.

Pistepilven pistetiheys on n. 20 pistettä/m<sup>2</sup>.

Pistepilvien luokittelu tehdään kaupunkimittausosaston käytössä olevan luokituksen mukaisesti:

- 1 default
- 2 low point
- 3 ground
- 4 low vegetation
- 5 medium vegetation
- 6 high vegetation
- 7 building
- 8 keypoint
- 9 bridges
- 10 wires
- 11 water
- 15 first pulse
- 20 overlap
- 50 unclassified

Pisteaineiston tarkistus ja eri lentolinjojen sekä mahdollisten mittauserien harmonisointi on tehtävä TerraMatch-ohjelmistolla.

Päällekkäisten lentolinjojen pistepilvien pisteet luokitellaan siten, että päällekkäisellä osalla on ainoastaan yhden lentolinjan pisteitä.

Postiosoite / Postadress  
PL 2205 / PB 2205  
00099 HELSINGIN KAUPUNKI /  
00099 HELSINGFORS STAD  
kmo@hel.fi

Käyntiosoite / Besöksadress  
Kaupunkimittausosasto  
Vilpurinkatu 2 /  
Viborgsgatan 2  
www.hel.fi/kv/kmo

Puh. / Tfn (09) 310 31930  
Fax (09) 310 31986

Y-tunnus 0201256-6



Helsingin kaupunki  
Kiinteistövirasto

Tarjouspyyntö/hintatiedustelu  
Kaupunkimittausosasto  
Maastomittaustoimisto  
20.2.2012 / Kari Ingberg

Päällekkäiset pisteet luokitellaan omaan luokkaansa.

Keilausjonojen on oltava suorina, tilattavaan alueeseen ei saa sisältyä kaaroksissa syntyneitä pisteistöjä, eikä pisteaineistossa saa olla rakoja keilausjonojen välillä.

GPS/GNSS:n ja IMU:n, lennon ja keilauksen tulosten, sekä kuvajonon harmonisoinnin (TerraMatch) tarkkuusraportointi on toimitettava aineistojen luovutuksen yhteydessä. Alueellinen keilausaika tulisi myös olla helposti luettavissa.

Laserkeilauksen laadunvarmistus tehdään noin kymmenellä alueellisesti tasaisesti jakautuneena noin kymmenen pisteen referenssirypäinä, jotka mitataan maastossa kaupunkimittausosaston toimesta tarjoajan alustavassa keilaus- ja laadunvarmistussuunnitelmassa esitettävällä tavalla.

Kaupunkimittausosasto tarjoaa käyttöön keilaajan tarpeen mukaan hallussaan olevan kartta-, kiintopiste- ja koordinaattitiedon luokitteluun ja laadunvarmistukseen.

Keilausajankohta kevät 2012, lumien sulettua, aluskasvillisuus vielä painuneena, ennen lehtien puhkeamista puihin, yksi yhtenäinen keilausblokki.

Lopputuotteena tilaajalle toimitetaan sekä luokittelematon että kaupunkimittausosaston luokituksen mukainen pistepilvi Terra-ohjelmistotuoteperheeseen sopivassa muodossa (mahdollisuuksien mukaan LAS -formaatti, GPS standard time, kaiun pituus) Helsingin kaupungin koordinaatistossa ja korkeusjärjestelmässä.

Lopputuotteet on toimitettava tilaajalle 31.8.2012 mennessä keilausolosuhteet huomioiden. Lisäksi toimittajalla on oltava valmius yksittäisten pienehköjen keilausalueiden pistepilvien nopeaan toimitukseen tarvittaessa.

Tarjouksessa on esitettävä alustava keilaus- ja laadunvarmistussuunnitelma (referenssialueet/pisteet) jäljempänä esitettävän kartan mukaisesti.

## 2. Muut ehdot

Tarjouksesta on käytävä ilmi, että Kaupunkimittausosastolle luovutetaan täydellinen tekijänoikeus keilaustuotteisiin, joka kattaa myös näiden oikeuksien luovuttamisen kolmannelle osapuolelle.

Maksuehto 21 päivää tavarantoimituksesta tilaajalle. Hankinnassa noudatetaan Helsingin kaupungin hankintasääntöä.

Tarjoukseen on liitettävä lääninveroviraston todistus maksetuista veroista ja sosiaaliturvamaksuista sekä vakuutusyhtiöiden todistukset lakisääteisten vakuutusmaksujen suorittamisesta.

Postiosoite / Postadress  
PL 2205 / PB 2205  
00099 HELSINGIN KAUPUNKI /  
00099 HELSINGFORS STAD  
kmo@hel.fi

Käyntiosoite / Besöksadress  
Kaupunkimittausosasto  
Vilpurinkatu 2 /  
Viborgsgatan 2  
www.hel.fi/kw/kmo

Puh. / Tfn (09) 310 31930  
Fax (09) 310 31986

Y-tunnus 0201256-6



Helsingin kaupunki  
Kiinteistövirasto

Tarjouspyyntö/hintatiedustelu  
Kaupunkimittausosasto  
Maastomittaustoimisto  
20.2.2012 / Kari Ingberg

Hankintapäätös ja sen liitteet ovat julkisia päätöksen allekirjoituksen jälkeen. Muut hankinta-asiakirjat ovat julkisia sopimuksen tekemisen jälkeen. Tarjoajalla on oikeus saada tieto hankinta-asiakirjoista päätöksen allekirjoituksen jälkeen.

Tarjouksen ei tule sisältää liikesalaisuuksia eikä hintoja liikesalaisuutena pidetä.

Laskutus toimittajan mahdollisuuksien mukaan sähköisenä verkkolaskuna toimittajan laskutusjärjestelmästä tai kaupunkimittausosaston tarjoamasta Internet-pohjaisesta verkkolaskutuspalvelusta.

### 3. Valintaperusteet

Tarjotun laserkeilauksen tulee täyttää kohdassa 1 esitetyt vaatimukset. Valintaperusteena laserkeilauksen kokonaistaloudellinen edullisuus.

### 4. Tarjouksen voimassaolo

Tarjouksen tulee olla voimassa vähintään 2 kk.

Tarjoajat voivat halutessaan sopia tarjottavan laserkeilauksen esittelytilaisuuden.

Kaupunki pidättää oikeuden olla tilaamatta laserkeilausta keneltäkään tarjoajalta.

Yhteyshenkilöinä kaupunkimittausosastolla:  
Toimistopäällikkö Kari Ingberg (09) 310 64895  
Mittausteknikko Jorma Gröhn (09) 310 31886

Tarjoukset on toimitettava sähköisesti osoitteeseen [kari.ingberg@hel.fi](mailto:kari.ingberg@hel.fi) torstaihin 15.3.2012 klo 12:00 mennessä.

Kari Ingberg  
toimistopäällikkö

Postiosoite / Postadress  
PL 2205 / PB 2205  
00099 HELSINGIN KAUPUNKI /  
00099 HELSINGFORS STAD  
kmo@hel.fi

Käyntiosoite / Besöksadress  
Kaupunkimittausosasto  
Viipurinkatu 2 /  
Viborgsgatan 2  
www.hel.fi/kv/kmo

Puh. / Tfn (09) 310 31930  
Fax (09) 310 31986

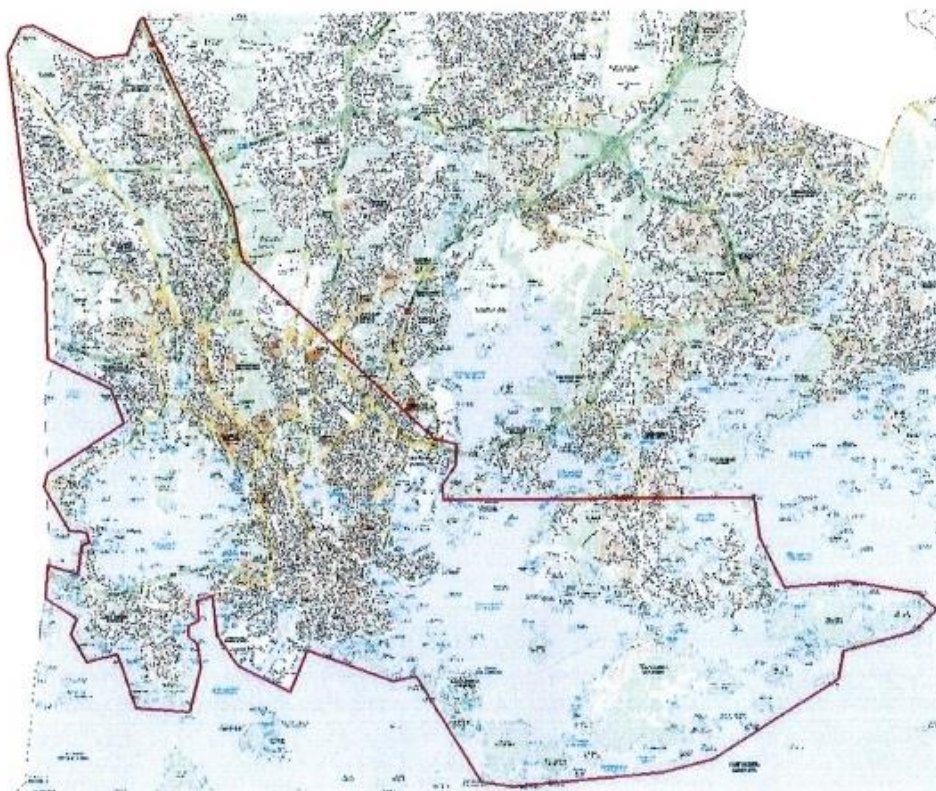
Y-tunnus 0201256-6



Helsingin kaupunki  
Kiinteistövirasto

Tarjouspyyntö/hintatiedustelu  
Kaupunkimittausosasto  
Maastomittaustoimisto  
20.2.2012 / Kari Ingberg

**Yleiskuva keilattavasta alueesta 2012**



**Postiosoite / Postadress**  
PL 2205 / PB 2205  
00099 HELSINGIN KAUPUNKI /  
00099 HELSINGFORS STAD  
kmo@hel.fi

**Käyntiosoite / Besöksadress**  
Kaupunkimittausosasto  
Vipurinkatu 2 /  
Viborgsgatan 2  
www.hel.fi/kw/kmo

**Puh. / Tfn (09) 310 31930**  
**Fax (09) 310 31986**

**Y-tunnus 0201256-6**



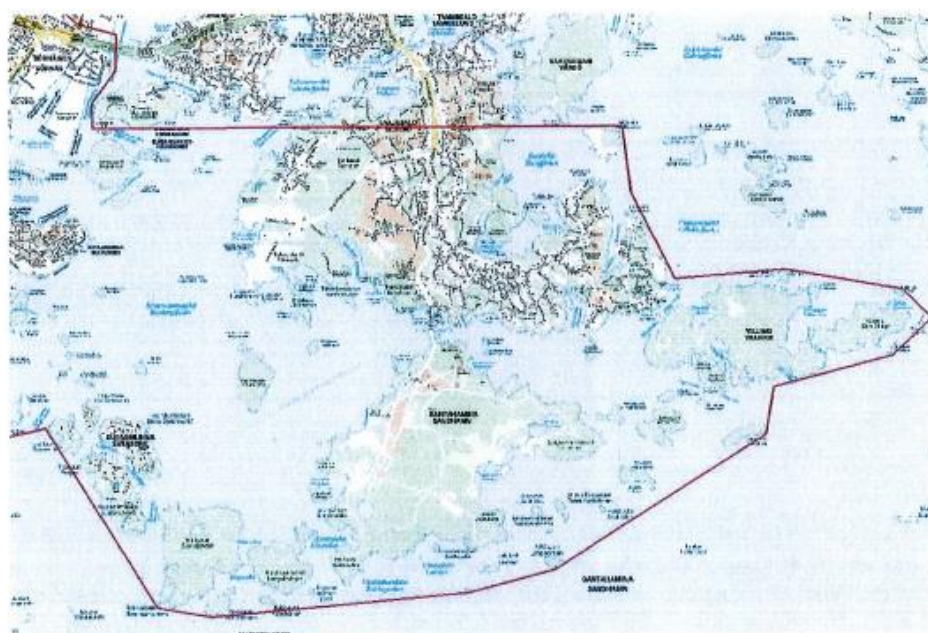
Helsingin kaupunki  
**Kiinteistövirasto**

LIITE 2.

Tarjouspyyntö/hintatiedustelu  
Kaupunkimittausosasto  
Maastomittaustoimisto  
20.2.2012 / Kari Ingberg

5 (7)

**Osasuurenokset koko keilausaluekartasta**



**Postiosoite / Postadress**  
PL 2205 / PB 2205  
00099 HELSINGIN KAUPUNKI /  
00099 HELSINGFORS STAD  
kmo@hel.fi

**Käyntiosoite / Besöksadress**  
Kaupunkimittausosasto  
Viipurinkatu 2 /  
Viborgsgatan 2  
www.hel.fi/kv/kmo

**Puh. / Tfn (09) 310 31930**  
**Fax (09) 310 31986**

**Y-tunnus 0201256-6**

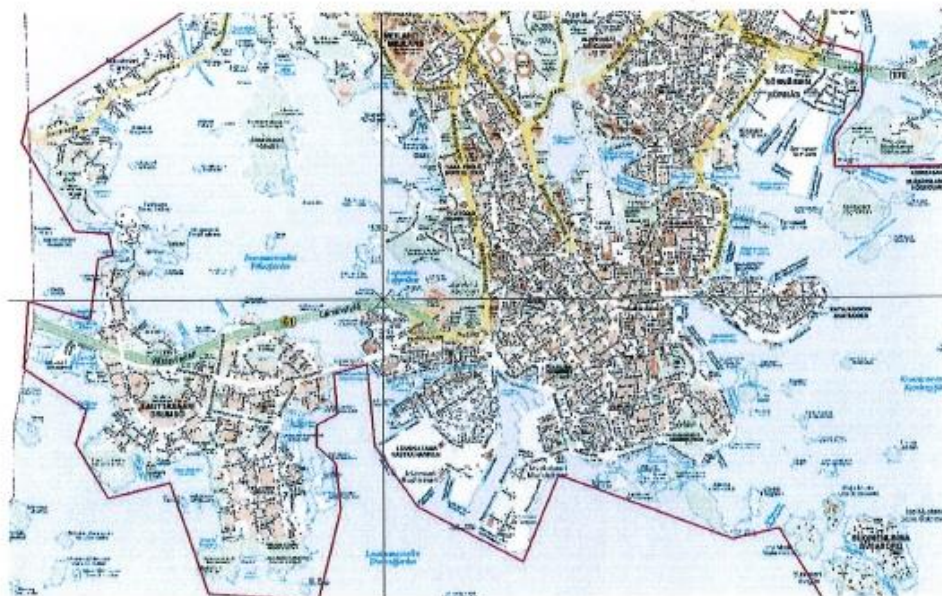


Helsingin kaupunki  
**Kiinteistövirasto**

LIITE 2.

Tarjouspyyntö/hintatiedustelu  
Kaupunkimittaosasto  
Maastomittaustoimisto  
20.2.2012 / Kari Ingberg

6 (7)



**Postiosoite / Postadress**  
PL 2205 / PB 2205  
00099 HELSINGIN KAUPUNKI /  
00099 HELSINGFORS STAD  
kmo@hel.fi

**Käyntiosoite / Besöksadress**  
Kaupunkimittaosasto  
Viipurinkatu 2 /  
Viborgsgatan 2  
www.hel.fi/kwkm

**Puh. / Tfn (09) 310 31930**  
**Fax (09) 310 31986**  
**Y-tunnus 0201256-6**

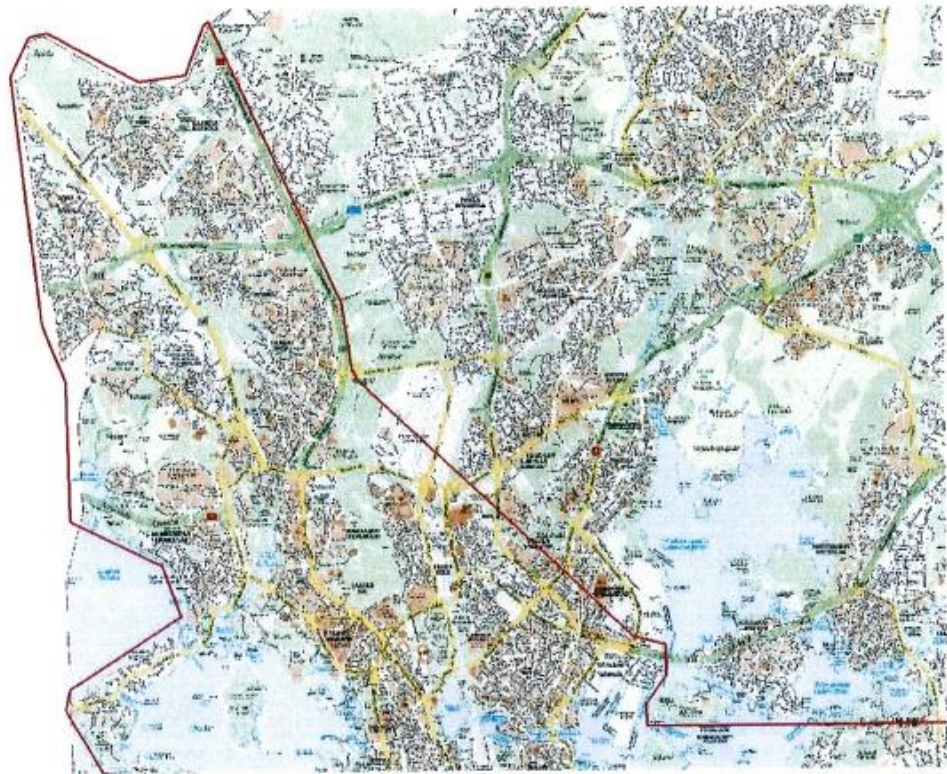


Helsingin kaupunki  
**Kiinteistövirasto**

LIITE 2.

Tarjouspyyntö/hintatiedustelu  
Kaupunkimittausosasto  
Maastomittaustoimisto  
20.2.2012 / Kari Ingberg

7 (7)



**Postiosoite / Postadress**  
PL 2205 / PB 2205  
00099 HELSINGIN KAUPUNKI /  
00099 HELSINGFORS STAD  
kmo@hel.fi

**Käyntiosoite / Besöksadress**  
Kaupunkimittausosasto  
Viipurinkatu 2 /  
Viborgsgatan 2  
www.hel.fi/kv/kmo

**Puh. / Tfn (09) 310 31930**  
**Fax (09) 310 31986**

**Y-tunnus 0201256-6**



Helsingin kaupunki  
**Kiinteistövirasto**

