

**OPINNÄYTETYÖ**

**JUHO TEPSA 2012**

**Pisteverkon simulointi ja mittaaminen  
Otaniemen metrotunneliin**



**Rovaniemen  
ammattikorkeakoulu**  
University of Applied Sciences  
LUC

**MAANMITTAUSTEKNIikka**

---

<b>Tekijä</b>	Juho Tepsa	Vuosi	2012
---------------	------------	-------	------

<b>Toimeksiantaja</b>	JT-Mittaus Oy
-----------------------	---------------

<b>Työn nimi</b>	Pisteverkon simulointi ja mittaaminen Otaniemen metrotunneliin
------------------	--

<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	27 + 4
----------------------------	--------

Tässä opinnäytetyössä perehdytään kolmiomittausverkon mittaamiseen tunneli-työmaalla sekä pisteverkon simulointiin.

Työ käsittelee tunnelirakentamista sekä kertoo Helsingin ja Espoon kaupunkien yhteisestä Länsimetro-hankkeesta. Työssä tuodaan esille pisteverkon mittaamiseen tunnelissa liittyviä haasteita sekä pisteverkon simuloinnista ja suunnittelusta tunnelityömaalle. Lisäksi opinnäytetyössä käsitellään pisteverkon tarkkuutta ja luotettavuutta.

Pisteverkon simulointi vaaditaan nykyään monella suurella rakennustyömaalla. Hyvin harva maanmittausinsinööri on pisteverkon simulointia kuitenkaan suorittanut. Nykyaikaiset mittausohjelmat mahdollistavat simulointilaskennan suorittamisen ja laskennasta saatava informaatio säästää aikaa ja rahaa.

Tavallisesti tunneleissa runkopisteet mitataan jonomittauksena. Länsimetron sekä Kehäradan vaativilla tunnelityömailla tilaaja on edellyttänyt pisteverkon mitattavan kolmiomittauksena.

Mittaus- sekä laskenta-aineisto opinnäytetyötä varten on kerätty Espoon Otaniemen metrotunnelityömaalla kesällä 2011.

<b>Avainsana(t)</b>	runkopiste, simulointi, Länsimetro Oy, JT-Mittaus Oy, kolmiomittaus, tunneli
---------------------	--

---

**Author** Juho Tepsa **Year** 2012

**Commissioned by** JT-Mittaus Oy

**Subject of thesis** Grid Reference System in the Otaniemi Metro Tunnel

**Number of pages** 27 + 4

This thesis dealt with triangulation network measuring at a tunnel construction site and network simulation.

This thesis also discussed tunnel construction and reports about the West Metro project in Helsinki and Espoo. This thesis discussed the challenges of a grid reference system measuring in a tunnel as well as a network simulation and preplanning at the tunnel construction site. It also discussed accuracy and a reliability of a grid reference system.

A triangulation network simulation is required at many major construction sites. However, very few land surveying engineers have completed network simulation. A modern land surveying software makes it possible to perform a simulation calculation and the information received from these calculations saves time and money.

The grid reference system is usually measured in tunnels by traversing. The West Metro as well as the ring railway tunnel construction site commissioner demanded that the grid reference system had to be measured using triangulation.

The measurement and the calculation material for this thesis was collected from the Otaniemi metro tunnel construction site in Espoo during the summer 2011.

**Keywords** reference point, simulation, Länsimetro Oy, JT-Mittaus Oy, triangulation, tunnel

# SISÄLTÖ

<b>1</b>	<b>JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Työn taustaa ja tavoitteet.....	1
1.2	Tunnelityömaat.....	1
1.3	Länsimetro .....	4
1.4	Otaniemen tunneliurakka .....	5
1.5	Tunnelien mittauksista .....	6
<b>2</b>	<b>JT-MITTAUS OY.....</b>	<b>7</b>
2.1	Kalusto .....	7
2.2	JT-Mittaus Oy tunnelityömailla.....	7
<b>3</b>	<b>RUNKOMITTAUKSET.....</b>	<b>9</b>
3.1	Mittausvirheet .....	11
3.2	Pienimmän neliösumman tasoitus ja tilastollinen testaus .....	11
<b>4</b>	<b>PISTEVERKON SIMULOINTI .....</b>	<b>13</b>
4.1	Simuloinnin vaiheet .....	13
4.2	Karkeiden virheiden simulointi .....	15
4.3	Simuloinnin ongelmat.....	16
4.4	Otaniemen pisteverkon simulointi .....	16
<b>5</b>	<b>VERKON LAATU .....</b>	<b>18</b>
5.1	Verkon tarkkuus.....	18
5.2	Verkon luotettavuus .....	18
<b>6</b>	<b>PISTEVERKON RAKENTAMINEN .....</b>	<b>20</b>
6.1	Pisteiden rakentaminen tunneliin .....	21
6.2	Kolmioverkon mittaaminen .....	22
6.3	Mittauksen ongelmat.....	23
6.4	Tuloksiin reagointi .....	24
6.5	Apupisteet .....	25
<b>7</b>	<b>YHTEENVETO .....</b>	<b>26</b>
<b>8</b>	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>27</b>
<b>9</b>	<b>LIITTEET .....</b>	<b>28</b>

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn taustaa ja tavoitteet

Tämän insinööriyön tarkoituksena on selventää vaativien tunnelityömaiden pisteverkkojen suunnittelua ja mittausta. Käsittelen insinööriyössäni piste-verkon simulointia ja haasteita, joita maanmittausinsinööri kohtaa tunnelityömailla. Piste-verkon simulointi on nykyään yleistynyt suurilla ja vaativilla työmailla, kuitenkin piste-verkon simulointi on usealle maanmittaajalle työtapana tuntematon.

Työssä käytän apuna Länsimetron Otaniemen metrotunnelityömaalta sekä JT-Mittaus Oy:ltä keräämääni aineistoa.

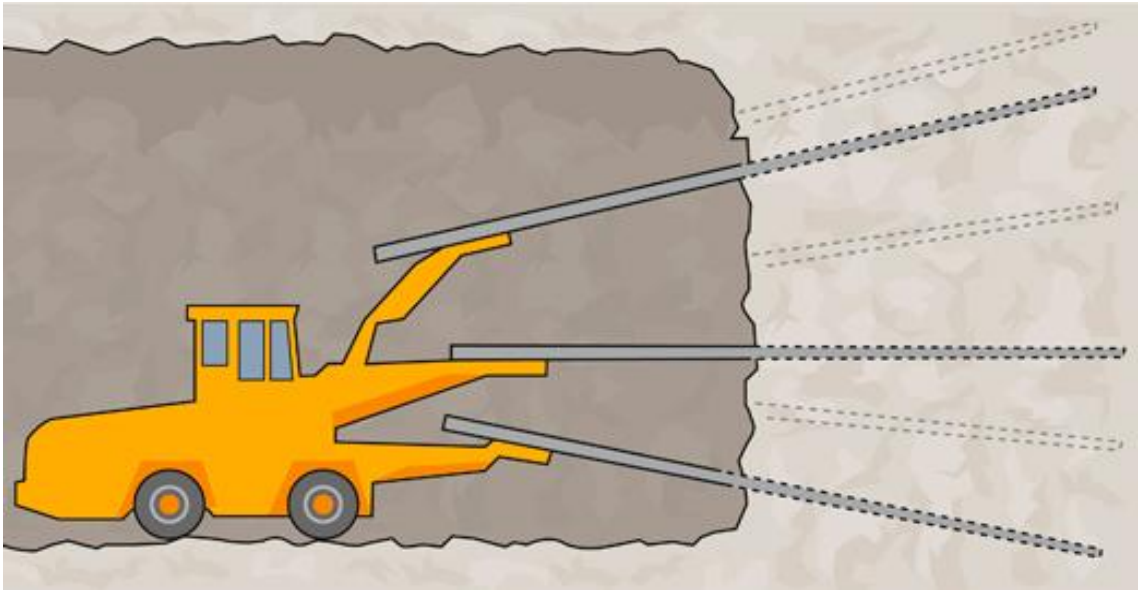
## 1.2 Tunnelityömaat

Tunnelityömaat sijaitsevat maan alla. Tunneleita tehdään yleensä alueilla, joilla rakentaminen maan päällä olisi kallista tai mahdotonta, kuten kaupungeissa ja vesialueilla. Tunnelityömaa voi olla esimerkiksi tietunneli, ratatunneli, parkkihalli, väestönsuoja tai kaivos. Tunneli louhitaan useimmiten kallioon, koska kallio on kestävä materiaalia ja ylimääräistä tukemista ei yleensä tarvitse tehdä. (Siven 2010, 7)

Suomessa sijaitsee maailman pisin yhtenäinen kalliotunneli, Päijänne-tunneli. Se on 120 kilometriä pitkä ja se kulkee 30 – 100 metrin syvyydessä maanpinnasta. Päijänne-tunnelin tarkoitus on turvata pääkaupunkiseudun raakaveden riittävyys. Tunneli alkaa Päijänteen Asikkalanselältä ja päättyy Helsingin Silvolan tekoaltaalle. Tunnelin rakentaminen kesti melkein kymmenen vuotta. (Pääkaupunkiseudun Vesi Oy)

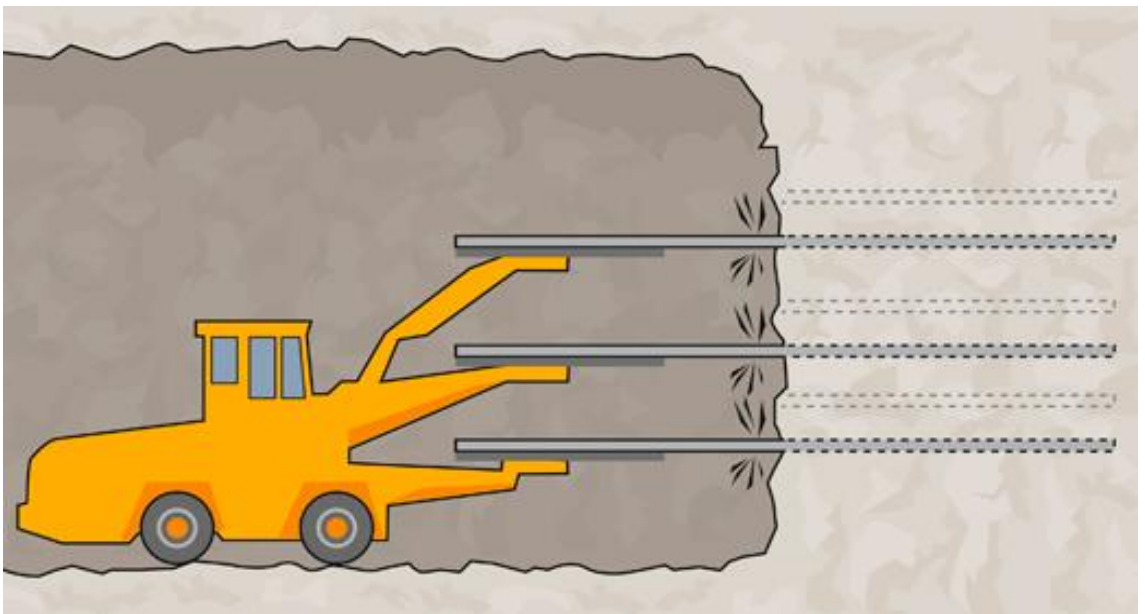
Tunneleita louhittaessa poraus-räjäytysmenetelmällä samat työvaiheet seuraavat toisiaan. Louhinnan ensimmäinen vaihe on esi-injektointi(Kuvio 1). Esi-injektoinnilla vahvistetaan huonolaatuista kalliota. Esi-injektoinnilla pysty-

tään vähentämään lujitustarvetta sekä helpottamaan panostusta. (Kalliotilojen injektointi 2006, 6)

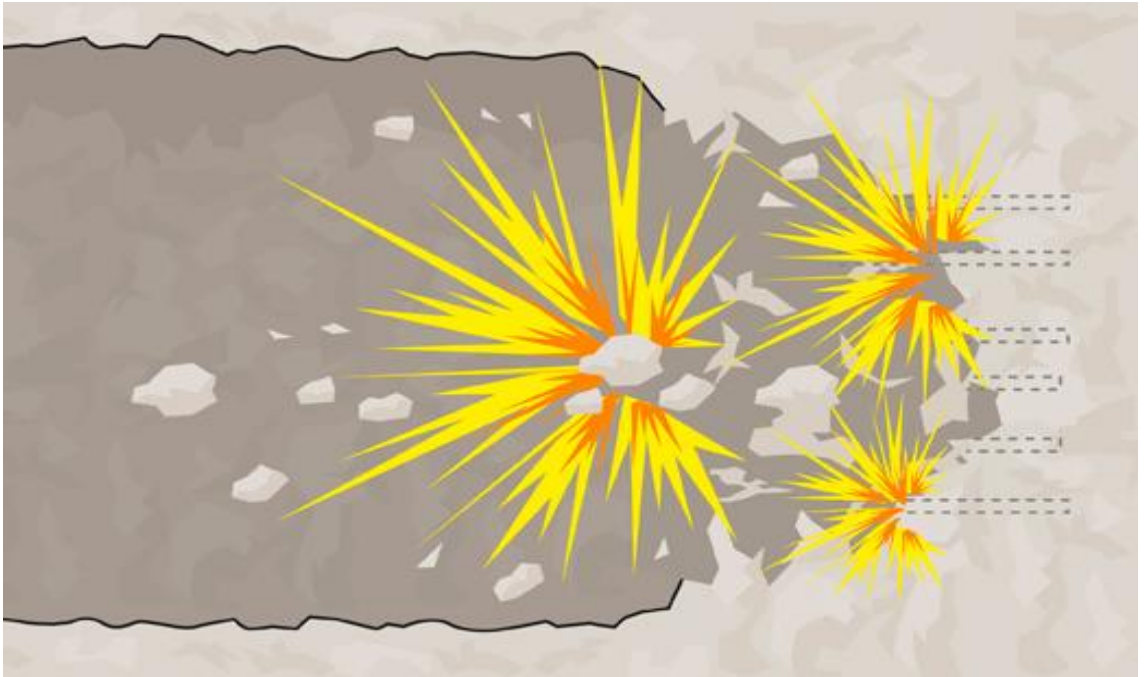


Kuvio1. Esi-injektointi. (Länsimetro Oy)

Toinen vaihe louhinnassa on poraus ja panostus(Kuvio 2). Porakone poraa tunneliin tarvittavan määrän reikiä oikeisiin kohtiin. Kun reiät on porattu suunnitelmien mukaan, voidaan räjäytysainetta käyttää pienempiä määriä. Räjäytyksen jälkeen tunneli tuuletetaan(Kuvio 3). (Länsimetro Oy)



Kuvio 2. Poraus ja panostus. (Länsimetro Oy)



Kuvio 3. Räjätys ja tuuletus. (Länsimetro Oy)

Räjätysvaiheen jälkeen louhe kuormataan ja kuljetetaan tunnelista pois (Kuvio 4). Lopuksi tunneli rusnataan. Rusnauksessa tunnelin katosta ja seinistä irrotetaan irtolohkareet, jotta tunnelissa työskenteleminen olisi turvallista (Kuvio 5). Kallion laadusta sekä työkoneista riippuen aika, joka kuluu yhteen louhintakatkoon, on kuudesta tunnista muutama vuorokautteen. (Länsimetro Oy)



Kuvio 4. Kuormaus. (Länsimetro Oy)



Kuvio 5. Rusnaus. (Länsimetro Oy)

### 1.3 Länsimetro

Länsimetro on vuonna 2011 Suomen suurin infrahanke, jossa rakennuttajana toimii Länsimetro Oy. Länsimetro Oy on yritys jonka toimenkuvaan kuuluu metrolinjan jatkaminen Helsingin Ruoholahdesta Espoon Matinkylään. Länsimetro Oy:n omistaa Helsingin ja Espoon kaupungit. Länsimetro Oy on perustettu vuonna 2007. (Länsimetro Oy)

Länsimetro jatkaa pääkaupunkiseudun metrolinjakennettä länteen, Helsingin Ruoholahdesta Lauttasaaren kautta Espoon Matinkylään. On arvioitu, että valmistuttuaan Länsimettoa käyttäisi noin 100 000 matkustajaa päivässä. (Länsimetro: Työmaaopas, 4)

Metrohanke sisältää 7 uutta asemaa, noin 14 kilometriä kaksoistunnelia, 15 pystykuilua ja yhdeksän ajotunnelia. Kallioulouhetta tunnelin louhinnoista syntyy noin 3 miljoonaa kuutiometriä. Metron rakentaminen työllistää tuhansia ihmisiä. (Länsimetro: Työmaaopas, 4)



Länsimetron kustannuksiksi on arvioitu noin 713,6 miljoonaa euroa. Tämä kustannusarvio on tehty vuoden 2007 lokakuun hintatason mukaan. Kustannukset on jaettu Helsingin ja Espoon kaupungeille siten, että Espoo osuus on 72 prosenttia ja Helsingin osuus on 28 prosenttia. Valtion osuus Länsimetron kustannuksista on 30 prosenttia, kuitenkin maksimissaan 200 miljoonaa euroa. (Länsimetro Oy)

Länsimetro-hanke on lähtenyt liikkeelle jo vuonna 2002 metron ympäristövaikutusten arvioinnilla. Vaikutusten arvioinnin jälkeen vuorossa oli geologiset tutkimukset, kustannusarvio sekä yksityiskohtainen hankesuunnitelma. Ensimmäiset louhinnat alkoivat Ruoholahdessa vuoden 2009 lopulla. Alkuvuodesta 2012 kaikkien tunneliurakoiden louhinnat olivat käynnistyneet. Kaikkien louhintojen on määrä olla valmista vuonna 2013. Jos kaikki menevät suunnitelmien mukaan, vuonna 2015 metro otetaan testiajojen jälkeen virallisesti käyttöön. (Länsimetro Oy)

#### **1.4 Otaniemen tunneliurakka**

Länsimetron Otaniemen tunneliurakassa urakoitsijana toimii SRV Rakennus Oy. Urakkaan kuuluu metrotunnelien louhinnat sekä asema, lisäksi 5 kuilua sekä Mäntäviidan raiteenvaihtohalli. Metrotunneleiden louhintaa urakkaan kuuluu yhteensä noin 3300 metriä, noin 260 000 kuutiometriä. (SRV:n esitys Otaniemen asukastilaisuudessa 27.4.2011)

Otaniemen louhintaurakka eroaa muista tunnelinlouhintatöistä. Työmaa-alue on sijainniltaan haastava, koska louhinnat suoritetaan alueella, jolla sijaitsee paljon herkkiä mittauslaitteita. Alueella sijaitsee esimerkiksi Aalto-yliopiston tekniikan kampusalue, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Mittatekniikan keskus sekä Micronova. Voidaankin sanoa, että Otaniemi on teknillisen tieteen keskus Suomessa. Tutkimuskalustoa alueella on satojen miljoonien eurojen arvosta. (Länsimetro-lehti 2/2010, 3)

Herkistä laitteista johtuen louhintaurakassa oli kiinnitettävä erityistä huomiota louhintojen aiheuttamiin värinäihin. Louhintojen aiheuttaman värinän vaikutuk-

sia voidaan vähentää louhimalla lyhyempiä katkoja, navigoimalla porakoneet erityisen tarkasti sekä toimimalla yhteistyössä alueella olevien toimijoiden kanssa. Poraamalla tarkasti sekä lyhentämällä porausmatkoja vähenee tarvittavan räjähdysaineen määrä ja näin vähenee myös louhinnasta johtuva tärinä. (SRV:n esitys Otaniemen asukastilaisuudessa 27.4.2011)

## **1.5 Tunnelien mittauksista**

Tunnelimittauksissa on erittäin tärkeää toimivat runkopisteet, joita käytetään mittauksia tehdessä. Jos mittauksissa on tapahtunut virhe, voi vahinko ehtiä kasvaa suureksi ennen kuin virhettä edes huomataan. Ainoa johon omia mittauksia voi tunnelissa tarkistaa, ovat runkopisteet. Näin ollen runkopisteiden suunnittelemisessa ja rakentamisessa on käytettävä erityistä tarkkuutta.

Tunnelin olosuhteet aiheuttavat useita eri ongelmia mittaamiseen. Tunneleissa ilmanlaatu voi olla välillä hyvinkin heikko. Pölyä ja kosteutta on paljon ilmassa, silloin takymetrillä voi olla mahdotonta mitata pidempiä matkoja, myös seinään kiinnitetyt mittapisteet tuhoutuvat helposti johtuen pölystä sekä työkoneiden kolhuista. Työkoneiden aiheuttama tärinä vaikuttaa myös mittaamiseen. Takymetrin kallistumista ja liikkumista on seurattava tiheästi. Pöly, kosteus sekä työkoneiden aiheuttama tärinä vaikuttaa myös takymetrin toimintaan. Takymetrin mittaustuloksia on seurattava joka päivä, ja jos herää epäily koneen mittamisesta, on se kalibroitava. (Mättö 2012)

Tunnelin pohjalla voi virrata paljonkin vettä. Vettä tulee tunneliin pohjavedestä sekä porakoneista. Tällaiseen paikkaan ei kannata kolmijalkoja asettaa, koska virtaava vesi voi viedä irtosoran koneen alta, jolloin kone saattaa kallistua.

## 2 JT-MITTAUS OY

JT-Mittaus Oy on maanmittausalan yritys, joka on perustettu vuonna 2004 Jyväskylässä kolmen maanmittausinsinöörin toimesta. JT-Mittaus Oy tarjoaa mittaus- ja laadunvalvontapalveluja. Yrityksen päätoimipiste sijaitsee nykyään Järvenpäässä. Kolmen omistajan lisäksi yrityksessä on töissä kymmenen työntekijää. (Mättö 2012)

Yritys toimii tie-, rautatie-, silta-, tunneli- sekä muilla rakennustyömailla. JT-Mittaus Oy:n asiakkaita ovat esimerkiksi SRV Rakennus Oy, VR-Rata, Ratahallintokeskus, Skanska, YIT sekä useat pienemmät rakennusalan toimijat. JT-Mittaus Oy on toiminut useilla suurilla rakennustyömailla, kuten Vuosaaren satama, E18-moottoritie, Kehä III:n perusparannus sekä Kouvolan rautatieaseman perusparannus. Lisäksi JT-Mittaus Oy on toiminut lukuisilla tunnelityömailla. (Mättö 2012)

### 2.1 Kalusto

JT-Mittaus Oy:n mittauskalusto koostuu Trimblen S6 -takymetreistä, S8 -takymetristä, Leican HDS6000 -laserskannerista sekä Leican TCRP 1205 -takymetristä. Lisäksi yrityksellä on levykuormituslaitteet sekä Nikonin tarkka-vaaituskoje. (Mättö 2012)

Käytössä olevat mittausohjelmistot ovat 3D-win, AutoCad 2010 LT, Leica Cyclone, Amberg TMS sekä Trimble Business Center. Cyclone- ja TMS-ohjelmat ovat laserkeilausaineiston käsittelyä varten. Lisäksi käytössä on Microsoft Office taulukkolaskenta- sekä tekstinkäsittelyohjelmat. (Mättö 2012)

### 2.2 JT-Mittaus Oy tunnelityömailla

JT-Mittaus Oy on erikoistunut vaativiin tunnelimittauksiin. Yritys on toiminut lukuisilla tunnelityömailla, kuten Kehäradan ja Länsimetron tunneleissa, Vuosaaren satamaan liittyvissä tunneleissa ja Turun moottoritien tunneleissa. Lisäksi JT-Mittaus Oy on ollut mittaamassa Kamppiparkkia Helsingin keskus-

taan, Viikin väestönsuojaa sekä pysäköintitilaa Eviralle ja Helsingin yliopistolle. (Mättö 2012)

### 3 RUNKOMITTAUKSET

Työmaalle tai mittauspaikalle luodaan koordinaatisto runkomittausten avulla. Käytettävä koordinaattijärjestelmä voi olla mikä tahansa.(Laurila 2008, 271.) Se voi olla vain työmaalla käytössä oleva erilliskoordinaatisto tai yleinen koordinaatisto.

Yleisimmät runkoverkon mittausmenetelmät, ovat staattinen satelliittimittaus, kolmiomittaus sekä jonomittaus. Nykyään yleisin runkomittausmenetelmä on staattinen satelliittimittaus. Lisäksi runkomittauksia voi suorittaa ilmakuvien avulla (Vermeer 2011).(Laurila 2008, 271)

GPS-satelliittien avulla tapahtuva runkomittaus muistuttaa ulkoisesti aiemmin käytössä ollutta takymetrilla tai teodoliitilla tehtyä kolmiomittausta. Siinä käytetään satelliittipaikannusta kolmion sivujen pituuksien mittaamiseen. Tällä menetelmällä mitattaessa runkoverkkoa, suurin työ tapahtuu mittauksen jälkeen käsiteltäessä mittausaineistoa. (Laurila 2008, 325-326)

Takymetrilla suoritettu kolmiomittaus on tasorunkomittausmenetelmistä luotettavin ja tarkin. Tarkkuus on parempi kuin satelliittimittauksella saavutettava tarkkuus. Kolmiomittaus perustuu kulmien ja etäisyyksien mittaamiseen. Satelliittimittauksien yleistymisen vuoksi Suomessa on luovuttu 1990-luvulla valtakunnallisista kolmiomittauksista. (Laurila 2008, 271)

Jonomittaus on myös yleisesti käytössä oleva tasorunkomittausmenetelmä. Jonomittauksessa koordinaatteja kuljetetaan asemapisteeltä toiselle havaitsemalla tähtäyssuuntia sekä sivujen pituuksia. Jonomittausta käytetään usein silloin kun rakennustyömaille tarvitaan käyttöpisteitä. Jonomittaus on runkomittausten epätarkin mittaustapa.(Laurila 2008, 271-272)

Jotta jonon tarkkuutta voidaan arvioida, täytyy jonon olla täydellisesti suljettu jono. Täydellisesti suljettu jono sisältää neljä tunnettua lähtöpistettä, kaksi aloituspistettä ja kaksi lopetuspistettä. Jonon aloitus tapahtuu tunnetulta lähtöpisteeltä, jolta otetaan lähtösuunta toiselle tunnetulle pisteelle. Jono lopete-

taan tunnetulle sulkupisteelle, jolta otetaan sulkusuuntahavainto sulkusuuntapisteeltä. Sulkusuuntapisteen avulla voidaan arvioida jonon suuntahavaintojen luotettavuutta. Sulkupisteen avulla jonon tarkkuutta voidaan arvioida. Jonomittauksella saatuja koordinaatteja verrataan sulkupisteen koordinaatteihin. Koordinaattien erotus on sulkuvirhe. (Laurila 2008, 272-273)

Kaivoksissa ja tunneleissa on yleisesti käytetty jonomittausta, mutta se ei ole niin tarkka mittaustekniikka kuin kolmiomittaus. Tunneleissa jonoa ei voi päättää sulkupisteelle. Tämänlaista jonoa kutsutaan piikiksi. Piikkijonon tarkkuutta ei ole mahdollista arvioida. (Laurila 2008, 273)

Kolmiomittaus on virheiden seuraamisen ja virheiden hallitsemisen kannalta kaikkein toimivin mittaustapa. Kolmiomittausta käytetään nykyään vaativilla rakennustyömailla, joilla satelliittipaikannusta ei voi käyttää tai joissa satelliittipaikannuksen tarkkuus ei ole riittävä. (Laurila 2008, 271)

Kun pisteverkkoa mitataan, on mitattava useampi piste kerralla. Näin toimittaessa mittaukset ovat luotettavimpia ja pisteverkosta tulee tarkkuuden osalta yhtenäinen. (Laurila 2008, 12.) Olosuhteet ovat mitattaessa samanlaiset, jolloin olosuhteiden muuttuminen ei pääse vaikuttamaan pisteverkon tarkkuuteen.

Kolmioverkon mittaamisessa ja laskemisessa on suurempi työ kuin jonomittauksessa. Havaintoja tulee moninkertainen määrä verrattuna jonomittaukseen.

Kolmioverkkoa mitattaessa tunneliin tulee eteen sama ongelma kuin piikkijonoa mitattaessa, eli verkon kontrollointi tunnelinperässä. Lähin tunnetuista lähtöpiste voi olla hyvinkin kaukana. Kuitenkin verkon rakenne heikentää virheiden vaikutusta, ja selvästi virheelliset havainnot huomaa verkkoa laskettaessa. (Mättö 2012)

### 3.1 Mittausvirheet

Mitattaessa ei voida välttyä virheiltä. Virhe voi olla satunnainen, karkea tai systemaattinen. Systemaattiselle virheelle on aina löydettävissä syy. Se ilmenee mittaushavainnoissa samansuuruuisena virheenä. Systemaattinen virhe voi johtua esimerkiksi väärästä mittaustavasta, sopimattomista tai kalibroimattomista mittausvälineistä. Karkea virhe koskee vain yksittäisiä havaintoja. Karkeille virheillekin on löydettävissä aina syy, kuten olosuhteiden muutos, inhimillinen erehdys tai laitevika. Karkeitä virheitä poistetaan mittausaineistosta tilastollisen testauksen avulla (Vermeer 2011.1 ). (Laurila 2008, 33)

Satunnainen virhe ilmenee havaintojen muuttumisena, vaikka olosuhteet ja mittausvälineet eivät muuttuisi. Satunnaisille virheille ei löydy syytä. Satunnaisvirheiden vaikutusta ei voi ennustaa. Mittauksissa pyritään siihen, että havainnoissa olisi vain satunnaisia virheitä. (Laurila 2008, 33-34)

Yleensä oletetaan, että satunnaiset virheet ovat normaalisti jakautuneet. Eli havaintoja toistettaessa havainnot jakautuvat Gaussin käyrän mukaan. Satunnaisvirheiden yhteisvaikutus lopullisiin koordinaatteihin voidaan minimoida käyttämällä pienimmän neliösumman tasoituslaskentaa. (Vermeer 2011.1)

### 3.2 Pienimmän neliösumman tasoitus ja tilastollinen testaus

Pienimmän neliösumman tasoitus on tilastomatemattinen optimointi menetelmä, jolla ratkaistaan tuntemattomat parametrit siten, että jäännösvirheiden neliöiden summa on minimissään (Kallio 1998, 6). Pienimmän neliösumman menetelmän käyttämiseen tarvitaan ylimääräisiä havaintoja. Ylimäärätetty mittaus eli redundanssi tarkoittaa sitä että tasoituksessa on käytössä tuntemattomien määrittämiseen enemmän havaintoja kuin välttämätön määrä (Local Xpositioning, 142). PNS-tasoituksessa arvioidaan havaintojen tarkkuutta painojen avulla. Painot laskentaa varten saadaan ylimäärätetyistä mittaustuksista. (Laurila 2008, 69-70)

Tilastollisen testauksen tarkoitus on etsiä virheitä. PNS-tasoituksen jälkeen on hyvä suorittaa referenssivarianssin testaus. Testattava varianssi on jännösvirheiden neliösumman funktio ja se saadaan pienimmän neliösumman tasoituksen yhteydessä. Tätä referenssivarianssia verrataan etukäteen arvioituun referenssivarianssiin. Jos varianssit eroavat tilastollisesti toisistaan voi siihen olla useita syitä, kuten mittauslaitteiden tai mittausmenetelmien sopimattomuus, havaintojen arvioitu tarkkuus on väärä tai havainnoissa on karkeita virheitä. (Local Xpositioning, 148)

Karkeiden virheiden tilastollinen testaaminen on tärkeä osa tasoituskasken laadunvalvontaa, koska vain hyvillä havainnoilla päästään hyviin lopputuloksiin. Karkeiden virheiden tilastollisen testauksen pääasiallinen tarkoitus on löytää ne havainnot jota eivät sovi tilastollisesti yhteen havaintojoukon keskiarvon kanssa. Tehokas tilastollisen testauksen menetelmä on testi jota kutsutaan nimellä "Data-Snooping". Tässä menetelmässä käytetään ennalta tunnettua tarkkuusarviota, näin ollen testisuureeseen ei pääse vaikuttamaan havaintojen virheet. (Local Xpositioning, 149)



## 4 PISTEVERKON SIMULOINTI

Simuloinnilla voidaan mitattavaa projektia käsitellä, ennen kuin maastossa suoritetaan mittauksia. Simuloinnissa voidaan luoda erilaisia vaihtoehtoja ja verkonrakenteita. Tarkoitus on, että simulointeja verrataan keskenään tai annettuihin vaatimuksiin, jotta itse mittausprosessi onnistuisi mahdollisimman hyvin, sekä verkon myöhäisempi laajennus ja käyttö onnistuisivat mahdollisimman vaivattomasti. (Local Xpositioning, 165-166)

Korkealaatuista verkkoa suunnitellessa on otettava useita laskennallisia asioita huomioon, kuten käytössä olevan mittauskaluston suorituskyky, verkon rakenne, havaintojen määrä ja mitattavan alueen laajuus. Verkon simulointi vaatii suunnittelijalta ammattitaitoa ja kokemusta. Ennen simulointia on suunnittelijan tutustuttava alueeseen, jonne simulointi kohdistuu. Suunnittelijan on kiinnitettävä huomiota alueen topologiaan. Alueen pinnanmuodot ja rakennukset sekä verkon tavoitteet vaikuttavat verkon rakenteeseen. (Local Xpositioning, 166)

### 4.1 Simuloinnin vaiheet

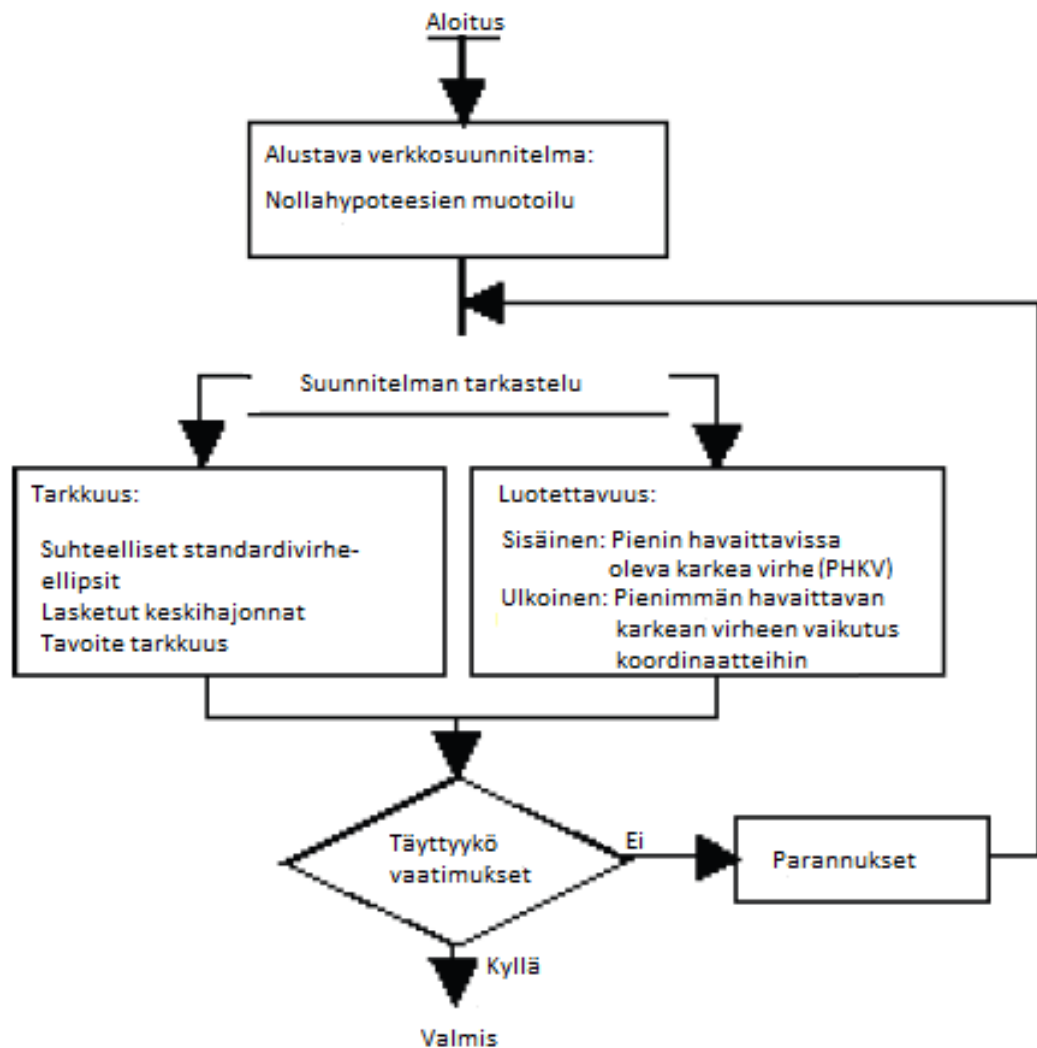
Simulointi suoritetaan iteratiivisesti eli samoja vaiheita toistetaan, kunnes verkko on vaatimusten mukainen. Kokemattomalle suunnittelijalle toimivin tapa verkon suunnitteluun on usein yrityksen ja erehdyksen kautta. Simulointi aloitetaan luomalla maksimaalinen verkon rakenne. Tässä vaiheessa ei oteta taloudellisia eikä teknisiä asioita huomioon. Ennen suunnittelun aloittamista kannattaa alueeseen tutustua, jotta selvästi mahdottomat pistevälit tietää karsia verkosta pois. Alustavasti verkko kuitenkin kannattaa suunnitella paperille, ei kartalle, siten että mukana suunnitelmassa on kaikki maastossa mitattavissa olevat havainnot. Suunnittelussa kannattaa pyrkiä siihen, että asemapisteet jakautuvat alueelle tasaisesti (Leica Geo office, 592). (Local Xpositioning, 166)

Seuraavaksi suoritetaan simulointilaskenta ja verrataan laskennasta saatuja tarkkuus- ja luotettavuuslukuja vaatimuksiin. Jos vaatimukset eivät täyty, eli

tarkkuus- ja luotettavuusindikaattorit ovat huonoja, on joko parannettava verkon rakennetta tai muutettava havaintotarkkuutta. Verkon rakennetta voidaan parantaa lisäämällä kolmioiden määrää tai lisäämällä lähtöpisteitä. Verkkoomainen rakenne on parempi kuin jonomainen rakenne. Havaintojen tarkkuutta voidaan parantaa lisäämällä havaintosarjoja tai mittaamalla tarkemmalla mittauskalustolla. (Local Xpositioning, 166-167)

Aina verkon rakenteen muuttaminen ei ole mahdollista, kuten esimerkiksi tunnelissa tai tunnelin suuaukolla. Verkon rakenteen heikot kohdat on laitettava muistiin ja maastossa mitattaessa on kyseisissä paikoissa oltava erityisen huolellinen (Local Xpositioning, 167).

Tarkkuus- ja luotettavuusindikaattorien ollessa huomattavasti vaatimuksia paremmat, voidaan säästää mittauskustannuksissa vähentämällä ylimääräisiä havaintoja tai lähtöpisteitä. Jokaisen muutoksen jälkeen suoritetaan laskenta uudestaan. Mittaussuunnitelma voidaan hyväksyä vasta kun vaatimukset alitetaan. (Local Xpositioning, 167)



Kuvio 6. Simuloinnin vaiheet. (Leica Geosystems)

## 4.2 Karkeiden virheiden simulointi

Simulointiin voidaan lisätä tarkoituksella virheitä, karkeita sekä satunnaisia. Näiden virheiden vaikutusta pisteverkkoon voidaan tutkia. Kun verkon heikkoon kohtaan sijoittaa karkean virheen, saadaan jonkinlainen kuva siitä mitä todellisessa mittaustilanteessa voi tapahtua. (Local Xpositioning, 169)

Jäännösvirheiden keskinäinen riippuvuus aiheuttaa sen, että simuloinnissa vaikuttaisi olevan useita virheellisiä havaintoja, vaikka olisi lisätty vain yksi karkea virhe. Karkean virheen vaikutus kasautuu myös naapurihavaintoihin. Keskinäisen riippuvuuden vuoksi myös viereisille havainnoille ilmestyy suuret standardoidut jäännösvirheet. (Local Xpositioning, 170)

### 4.3 Simuloinnin ongelmat

Maaston muodot ja rakennukset aiheuttavat suurimman ongelman verkon simuloinnille. Tunnelissa tunnelin geometria sekä profiili vaikuttavat verkon rakenteeseen. Verkosta saadaan luotettava, kun kolmion jokainen sivu on lähestulkoon yhtä pitkä (Leica Geo Office, 592). Kuitenkin tunnelissa tasasivuisten kolmioiden mittaaminen on turhaa, koska pisteiden ja siten havaintojen määrä kasvaisi todella suureksi. Kolmioista on tehtävä kapeakan- taisia, jotta pisteverkko etenisi tunnelissa pitkillä havainnoilla.

### 4.4 Otaniemen pisteverkon simulointi

Simulointi aloitettiin tekemällä alustava suunnitelma tunneliin sisälle Autocad-piirto-ohjelmalla, pohjakuvana toimi Otaniemen tunnelisuunnitelma dwg-tiedostomuodossa. Tässä vaiheessa ei maastoon eikä pisteiden välisiin näköyhteyksiin kiinnitetty huomiota. Simulointilaskennan helpottamiseksi pisteverkko suunnitelma tehtiin metrotunnelissa vain lännen suuntaan lähtien huoltotunnelin ja metrotunnelin risteyksestä. Tällä alustavalla suunnitelmalla saatiin selville arvio pisteiden määrästä tunnelissa sekä pisteiden teoreettinen tasosijainti. (liite 1) Teoreettisia pisteiden koordinaatteja käytettiin sitten simuloinnin laskennassa.

Seuraava vaihe oli laskennan suorittaminen. Autocad-piirto-ohjelmalla tehdystä suunnitelmasta vietiin teoreettisten pisteiden koordinaatit Leica Geo Office 7.0-ohjelmaan. Laskennaksi valittiin pakotettu verkkotasointus. Pakotetussa tasointuksessa lähtöpisteet otetaan mukaan laskentaan. Laskenta suoritettiin pelkästään tasokoordinaateille eli korkeus jätettiin simuloinnista pois.

Simuloinnin laskennasta saadaan virhe-ellipsit kullekin pisteelle, havaintojen suunnat ja etäisyydet sekä jäännösvirheet ja redundanssit eli ylimääritykset. Virhe-ellipseille simulointilaskenta antaa A- ja B-arvot sekä ellipsin suunnan.

Laskenta-asetuksiin laitettiin mittauskojeen tarkkuus, käytettävä koordinaatista ja mahdolliset mittakaavakertoimet sekä tilaajalta saadut virherajat. Tilaa- jalta saatavien virherajojen tilalla voi käyttää aikaisempien simulointien perus-

teella saatuja virherajoja. Koska laskennassa ei otettu korkeutta mukaan oli muistettava poistaa käytöstä oletuksena ollut geoidi-malli. (Mättö 2012)

## 5 VERKON LAATU

Tarkkuutta on yleisesti käytetty pisteverkkojen laadun kriteerinä. Kuitenkaan pelkkä tarkkuuden huomiointi ei ole riittävä laatumittari. Verkon geometrinen rakenne määrittää mittaustulosten tarkkuutta ja oikeellisuutta. (Local Xpositioning, 167)

Vaikka mittauskoje olisi hyvinkin tarkka, ei mittaustulokseen voi olla tyytyväinen, jos mitattu havainto on rakenteeltaan kapeakantainen kolmio. Toisin sanoen, mitattaessa eteenpäinleikkaus kahdelta toisistaan läheltä olevalta pisteeltä, ei tulosta voi pitää riittävänä. Tällaisessa tapauksessa pienikin suuntahavainnon virhe siirtää laskettua pisteen sijaintia huomattavasti. Tarkkuusluvut voivat näyttää hyviltä, mutta tulos ei ole luotettava. Luotettavuusluvut ovat tärkeitä arvioitaessa verkon todellista laatua. (Local Xpositioning, 167)

### 5.1 Verkon tarkkuus

Verkon tarkkuutta voidaan arvioida kahdella eri tavalla. Voidaan arvioida verkon sisäistä ja ulkoista tarkkuutta. Sisäinen tarkkuus osoittaa satunnaisvirheiden kasautumisen vaikutusta havaintoihin. Satunnaisvirheet johtuvat mittauslaitteesta tai mittausmenetelmästä. Satunnaisvirheitä kontrolloidaan mitaamalla useampia havaintoja ja käyttämällä laskennassa havaintojen keskiarvoja. Sisäinen tarkkuus tarkoittaa sitä, kuinka havainnot sopivat havaintojen keskiarvoihin. Laskennan jälkeen virheiden kasautumisesta johtuneet virheet esitetään virhe-ellipseillä ja koordinaattikeskivirheillä. Ulkoinen tarkkuus osoittaa kuinka havainnoista lasketut arvot sopivat keskenään yhteen. (Local Xpositioning, 167)

### 5.2 Verkon luotettavuus

Luotettavuus kertoo virheiden vaikutukset laskettuihin koordinaatteihin. Luotettavuusluvuilla saadaan selville verkon vahvuus. Kuinka verkko vastustaa karkeiden virheiden vääristäviä vaikutuksia tasoitettuihin koordinaatteihin. (Local Xpositioning, 167)

Sisäisen luotettavuuden tunnusluvut kuvaavat sitä kuinka verkko erottaa karkeat virheet oikeista havainnoista pienimmän neliösumman tasoituksessa. Pienimmän neliösumman tasoituksessa karkeat virheet häviävät helposti. Ne eivät kuitenkaan katoa, vaan ne siirtyvät koordinaatteihin. Jos verkon rakenne on heikko, karkeat virheet vääristävät tasoituksen yhteydessä koordinaatteja. Ulkoinen luotettavuus näyttää pienimmän havaittavan karkean virheen maksimivaikutuksen tasoitettuihin koordinaatteihin. (Local Xpositioning, 167-169)

## 6 PISTEVERKON RAKENTAMINEN

Pisteverkon rakentaminen Otaniemen tunneliin aloitettiin tarkastamalla lähtöpisteet. Länsimetro Oy:ltä saadut pistetiedot syötettiin takymetriin, sekä tarkistettiin että pisteeltä toiselle on näköyhteys. Samassa yhteydessä oli suunniteltava se, kuinka pisteverkko saadaan mitattua tunneliin sisälle. Otaniemen huoltotunnelin suuaukko sijaitsi paikassa johon oli vaikea saada sijoitettua pisteitä. Heti suuaukon vieressä sijaitsee VTT:n tunneli sekä tunnelinsuuta vastapäätä on Tietotie 6 talon parkkihalli (Kuvio7).



Kuvio 7. Otaniemen maanpäällinen työmaa-alue. Kuvassa keskellä sijaitsee Otaniemen tunnelin suuaukko. Tunnelin suuaukon oikealla puolella on VTT:n tutkimushallin suuaukko. Kuvassa näkyy myös kahden lähtöpisteen sijainti. Piste 5008 sijaitsee kuvassa ylhäällä keskellä olevan vesitornin päällä ja piste 5005 kuvassa oikealla olevan Kehä 1:n sillan päällä. (Länsimetro Oy)

Lähtöpisteiksi valikoitui pisteet 5004, 5005, ja 5008. Pisteet sijaitsivat Kehä 1 varressa sekä Otaniemen vesitornin päällä. Välimatkaa pisteillä oli 300 - 900 metriä. Alustavasta verkkosuunnitelmasta oli poikettava pisteen 4004 osalta. Alkuperäinen tarkoitus oli että lähtösuunta olisi otettu pisteelle 5008, joka sijaitsee Otaniemen vesitornin päällä, pisteeltä 4004, joka sijaitsi Tapiolassa. Tämä havainto ei ollut mahdollinen kesällä mitattavaksi. Pisteiden välillä oli tiheä lehtipuumetsä, joka esti havainnon.



<b>Pistenumero</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>H</b>
5004	74831.388	45388.989	8.719
5005	75305.146	45045.068	0.000
5008	74694.493	45674.870	0.000

Taulukko 1. Otaniemessä käytettyjen lähtöpisteiden koordinaatit.

Kolmioverkon mittaus oli aloitettava aamuyöllä, jotta lämpötila ei olisi ehtinyt nousta eikä Kehä 1:llä olisi liikaa liikennettä. Lämpötila voi aiheuttaa haitallista lämpöväreilyä, joka vaikuttaa mittaustuloksiin varsinkin pitkissä havainnoissa. Lisäksi ulkoilman ja tunnelin lämpötilaero ei kasva kovin suureksi, kun mitataan viileässä säässä.

Verkkoa mitattaessa kiinnitettiin huomiota vain tasokoordinaatteihin, eli ei korkeuteen. Tunneliin vietiin pisteille korkeus myöhemmin tarkkavaaitsemalla.

## **6.1 Pisteiden rakentaminen tunneliin**

Ennen mittausten aloittamista oli tunneliin sijoitettu putkipisteitä (Kuvio 8). Jo etukäteen oli tunneliin suunniteltu verkko, jonka mukaan tunnelin seiniin oli porattu reikiä, joihin putkipisteitä voitiin asettaa.

Pisteiden sijoitteluun tunnelissa vaikuttaa tunnelin geometria sekä profiili. Jos tunnelissa on mutka tai tunnelin profiili pienenee, on pisteiden välistä matkaa lyhennettävä. Kuitenkin kolmiomaisesta rakenteesta on pidettävä kiinni. Missään vaiheessa havainnot eivät voi olla rakenteeltaan jonomaisia. Jokaiselta pisteeltä on kyettävä havaitsemaan vähintään kaksi pistettä eteenpäin sekä kaksi taaksepäin.

Pistenumero 4 oli kolmijalkojen päällä sijainnut piste, joka oli käytössä vain runkoverkon mittaamista varten. Ylimääräinen piste oli sijoitettava huoltotunnelin mutkaan. Laskennassa piste oli mukana, mutta lopullisesta pistelistasta piste jätettiin pois.



Kuvio 8. Putkipiste, jonka päällä pakkokeskistysalusta sekä prisma. (Siven 2010)

Otaniemessä metrotunnelit ovat profiililtaan kapeita, vain 6,2 metriä leveitä. Kapeuden lisäksi tunnelin vaakageometria on Otaniemen kohdalla kaarretta lähestulkoon koko urakka-alueen matkan. (Liite 2. Otaniemen työmaa-alue)

## 6.2 Kolmioverkon mittaaminen

Mittaamisessa käytettiin Leican pyöröprismoja, jotka aseteltiin kolmijalkojen sekä putkipisteiden päälle pakkokeskistysperiaatteella. Pakkokeskistysalustat tasattiin käyttäen takymetrin elektronista tasainta. Tasaukseen käytettiin Trimblen S8-takymetriä, eli samaa takymetriä, jolla pisteverkko mitattiin.

Mittaus suoritettiin siten, että jokaisella kojeasemalla mitattiin viisi sarjaa. Havainnot otettiin molemmissa asennoissa, samoin etäisyys mitattiin molemmissa asennoissa. Kojeeasemilta otettiin havainnot kaikkiin tähyksiin, jotka olivat näkyvissä.

Pisteverkon mittauksessa on käytettävä mittauskalustoa joka on laadukas. Käytettävät prismat, kolmijalat ja takymetri on pelkästään runkopisteiden mit-

taamista varten. Ennen mittausten aloittamista takymetri on kalibroitava. (Mättö 2012)

Tähtäykseen käytettiin Trimblen autolock-ominaisuutta. Siinä takymetri tunnistaa prisman ja tarttuu automaattisesti siihen kiinni. Autolock-ominaisuus toimii maahantuojaan ilmoittamien tietojen mukaan 700 metriin asti (Geotrim Oy). Optimaalisissa olosuhteissa, pitemmilläkin havaintomatkoilla autolock-ominaisuutta on kuitenkin onnistuttu käyttämään.

Verkkoa mitattaessa yksi pisteväli oli noin 900 metriä. Tällä pistevälillä oli käytettävä manuaalista tähtäystä. Ei ole kuitenkaan suositeltua, että manuaalista tähtäystä ja autolock tähtäystä käytettäisiin molempia verkkoa mitattaessa. Autolockin käyttö kuitenkin helpottaa mittausta huomattavasti. Takymetriin ei tarvitse enää orientoinnin jälkeen koskea, kun voi käyttää robottimittausta sekä autolock-ominaisuutta yhdessä. Mitä vähemmän koneen vieressä tarvitsee liikkua ja käsitellä konetta, sitä pienempi on koneen liikahtamisen riski. Osa tunnelissa olevista pisteistä sijaitsi korkealla tunnelin seinässä, joten manuaalinen tähtäys tikapuiden päältä olisi ollut todella vaikeaa.

Tunnelissa osa mitattavista pisteväleistä voi olla todella lyhyitä. Tällaisissa havainnoissa on lisättävä havaintosarjojen määrää. Sarjojen määrää kannattaa lisätä myös silloin, jos mitattavan pisteen lähellä porataan tai alueella on liikennettä. (Mättö 2012)

### **6.3 Mittauksen ongelmat**

Tunnelin ulkopuolella vaikeuksia tuotti lämpöväreily sekä kojeasemien sijainti tunnelinsuun ulkopuolella. Kaikkia pitkiä havaintoja ei ehtinyt mitata, ennen kuin ilma alkoi lämmetä. Lämpöväreily estää takymetrin autolock-ominaisuuden käytön, eli tähtäys ei "tartu" prismaan. Silloin on otettava autolock pois käytöstä ja tehtävä tähtäys manuaalisesti.

Tunnelinsuulla oli ongelmana se, että kojeasemat olivat kovin lähellä toisiinsa. Tällöin kolmioverkon kriittiseen kohtaan olisi muodostunut hyvin ka-

peakantainen kolmio. Tilanne selvitettiin siten, että yksi kojeasema tehtiin parkkihallin katolle ja toinen kojeasema työmaa-alueen portin viereen. Näin välimatkaa saatiin mahdollisimman suureksi. Tällä kohtaa lisättiin myös havaintosarjojen määrää.

Etukäteen oli jo tiedossa, että havainnoissa, jotka ovat tunneliin sisälle tai tunnelista ulos, on suurempaa poikkeamaa kuin muissa havainnoissa. Tähän vaikuttaa olosuhteiden muuttuminen siirryttäessä ulkoilmasta tunneliin.

#### **6.4 Tuloksiin reagointi**

Jos laskentatulokset ovat heikot, voidaan havaintoja käsitellä. Ensimmäisenä on tarkistettava havainnoissa käytetyt prismavakiot sekä prismakorkeudet. Selvästi huonoja havaintoja voidaan poistaa yksitellen aloittaen selvimmästä virheellisestä havainnosta. Virheellisiä havaintoja voidaan etsiä esimerkiksi vertaamalla havaittuja etäisyyksiä. Jokaisen tehdyn muutoksen jälkeen arvioidaan lukuja uudelleen. Koska karkea virhe vääristää viereisiä havaintoja, muuttuivat viereisetkin havainnot, kun virheellinen havainto poistettiin.

Jos verkkoa ei ole mahdollista saada tarpeeksi vahvaksi silloin kun se mitataan tunneliin sisälle yhdestä suuaukosta, on sitä vahvistettava toisesta tunnelinaukosta lisähavainnoin heti kun mahdollista. Verkon tarkistusmittauksen voi suorittaa esimerkiksi luotaamalla kuilun kautta. (Mättö 2012)

Lasketun verkon ja simulointi laskennan välistä vertailua voidaan tehdä vain virhe-ellipsien osalta. Koordinaatteja ei voida verrata keskenään, koska mitattaessa maastonmuodot määrittävät pisteiden sijainnin ja verkon lopullisen rakenteen. Suunnitellun pisteen sijainnin ero verrattuna mitatun pisteen sijaintiin voi olla hyvinkin suuri. Virhe-ellipsien kokoa voidaan verrata toisiinsa, on kuitenkin hyvä huomata, että vertaa keskenään suunnilleen samoissa paikoissa sijaitsevia pisteitä keskenään(liite3).

## 6.5 Apupisteet

Tunnelissa mitattaessa kartoitusmittauksia, merkintämittauksia tai navigoitaessa porakoneita käytettiin orientointiin apupisteitä, jotka olivat pienempiä ja helpommin seinään kiinnitettäviä kuin suuret ja painavat putkipisteet. Apupisteinä käytettiin pieniä peilipisteitä. Apupisteillä myös täydennettiin pisteverkkoa sellaisiin tunnelinperiin joihin runkoverkkoa ei ollut tarpeellista mitata, kuten pumppaamoperä sekä ajotunnelin ja metrotunneleiden välisiin huolto-tunneleihin.

Apupisteet mitattiin käyttöön siten, että takymetrin orientointi otettiin putkipisteistä, jonka jälkeen apupiste mitattiin kolmeen kertaan molemmissa asennoissa. Näistä havainnoista laskettiin kullekin pisteelle keskiarvo.

Apupisteet on mitattava uudelleen jos orientointitulokset sellaista edellyttävät. Tunnelin seinissä olevat pisteet liikkuvat ajan kuluessa. Porauksesta ja räjäytyksistä johtuva värinä liikuttaa tunnelinseiniä. Jos tunneli kulkee syvällä maan alla, vaikuttaa myös vuoripaine tunnelin seiniin ja näin ollen myös apupisteisiin. (Mättö 2012)

## 7 YHTEENVETO

Tunnelimittaukset ovat haastavia ja tunneleissa työskentelevät mittaajat ovat lukuisten mittausten sekä kerääntyneen kokemuksen myötä oman alansa asiantuntijoita.

Jotta vaativa tunnelityö valmistuisi suunnitellusti, on runkoverkon oltava toimiva ja luotettava. Mittaajalla on oltava tukeva ranka johon sitoo kaikki mittauksensa. Pisteverkon rakentamiseen on kiinnitettävä alusta alkaen suurta huomiota. Jo suunnitteluvaiheessa voidaan verkosta poimia riskikohdat, ja joko muuttaa verkon rakennetta vahvemmaksi ennen mittausta tai mittausvaiheessa olla kyseisessä kohdassa erityisen tarkkana.

Tietokoneohjelmien kehittyminen on mahdollistanut sen, että pisteverkon simulointi ei vaadi enää monimutkaisten tietokoneohjelmien erikoisosaamista. Nykyään on saatavilla laskentaohjelmistopaketteja, joissa on simulointimahdollisuus mukana. Simulointi on ehdottomasti hyvä hallita, koska hyvin suunniteltu pisteverkko säästää aikaa sekä rahaa.

Pisteitä rakennettaessa tunneliin on pisteiden sijainti valittava huolellisesti. Pisteiden pitää näkyä selvästi, jotta siitä olisi mittausten kannalta hyötyä. Mittapisteen on oltava myös tukevasti kiinni seinässä sekä suojassa liikenteeltä ja työkoneilta, jotta se pysyisi ehjänä ja luotettavana.

Tunnelissa mittaamista suosittelen varauksetta aloitteleville tai vasta opiskeleville maanmittaajille. Jokaiseen mittaukseen on keskityttävä ja oltava erityisen huolellinen. Vaikka työmaa olisi alueena suuri, pysyy tunnelin mittaaminen helposti hyppysissä, koska louhinnan eteneminen rytmittää työpäivää.

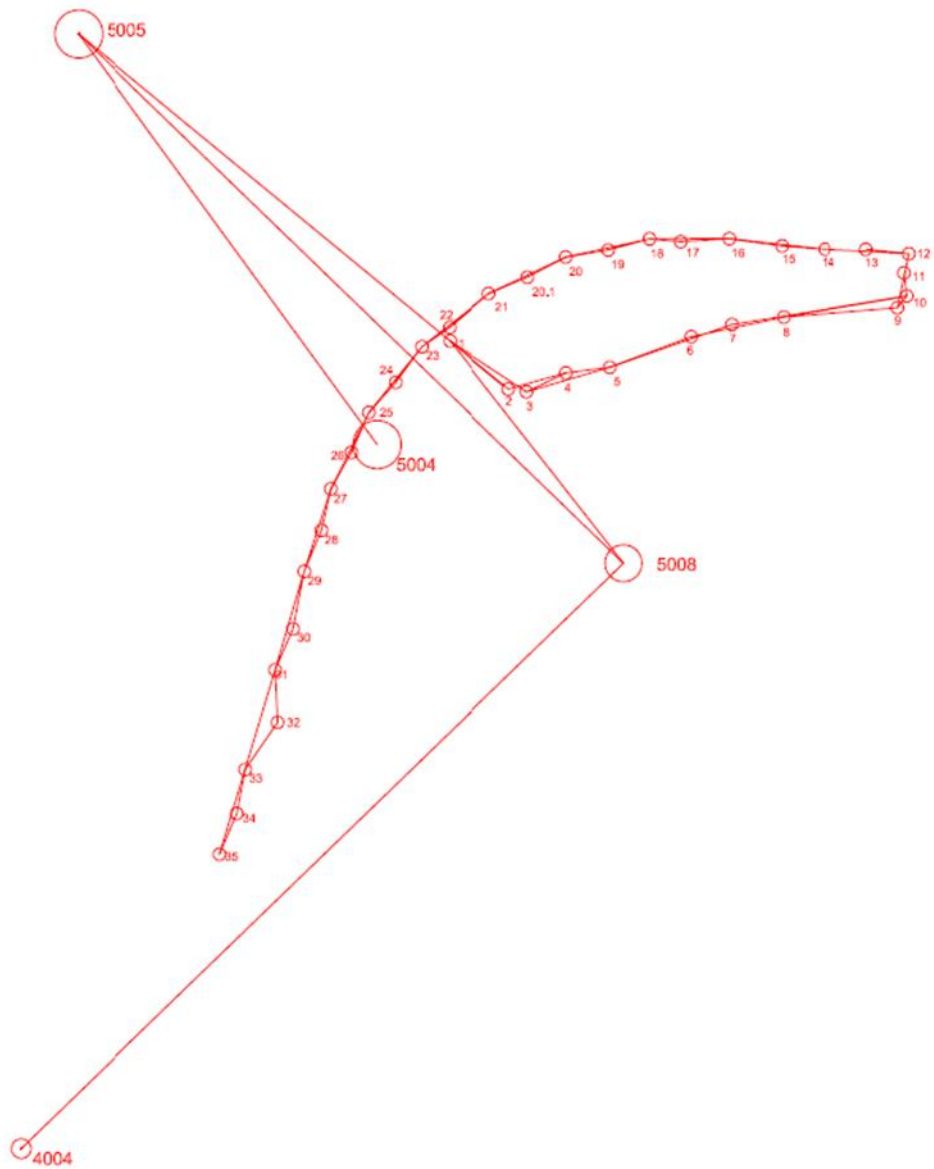
## 8 LÄHTEET

- Geotrim Oy. Trimble S8-robottitakymetrin tekniset tiedot. Osoitteessa <http://www.geotrim.fi/shop/trimble-s8-robottitakymetri/?navdisp=955>. 15.2.2012.
- Kallio, U. 1998. Tasoituslasku. Otatiето. Helsinki
- Laurila, P.2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
- Leica Geosystems. Leica Geo Office Online Help Versio 8.0. Osoitteessa [http://www.surveyequipment.com/PDFs/LGO\\_80\\_Help\\_en.pdf](http://www.surveyequipment.com/PDFs/LGO_80_Help_en.pdf). 15.2.2012
- Länsimetro Oy. Osoitteessa <http://www.lansimetro.fi>. 15.2.2012
- Malin, K. 2010. Louhinnat keskellä kaupunkia. Länsimetro-lehti 2/2010, 3.
- Pääkaupunkiseudun Vesi Oy. Osoitteessa <http://www.psv-hrv.fi/paijanne.phtml?lang=fi>. 15.2.2012.
- Siven, J. 2010. Viikin uuden väestönsuojan mittaukset. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu: Maanmittaustekniikan koulutusohjelma
- SRV Oy 2011. Urakoitsijan esitelmä Otaniemen asukastilaisuudessa 27.4.2011. Osoitteessa [http://www.lansimetro.fi/images/stories/ota\\_ken\\_srv\\_toimijatilaisuus\\_27\\_4\\_11.pdf](http://www.lansimetro.fi/images/stories/ota_ken_srv_toimijatilaisuus_27_4_11.pdf). 15.2.2012
- Suomen betoniyhdistys 2006. Kalliotilojen injektointi. Helsinki
- Vermeer, M. 2011. Johdanto geodesiaan. Osoitteessa <http://users.tkk.fi/mvermeer/johd.pdf>. 25.2.2012
- Vermeer, M. 2011. Moderni Geodesia. Osoitteessa <http://users.tkk.fi/mvermeer/mod.pdf>. 28.2.2012
- X Position Oy. Local Xpositioning System v 2.01.02 Käyttöohje

## 9 LIITTEET

### Liite 1

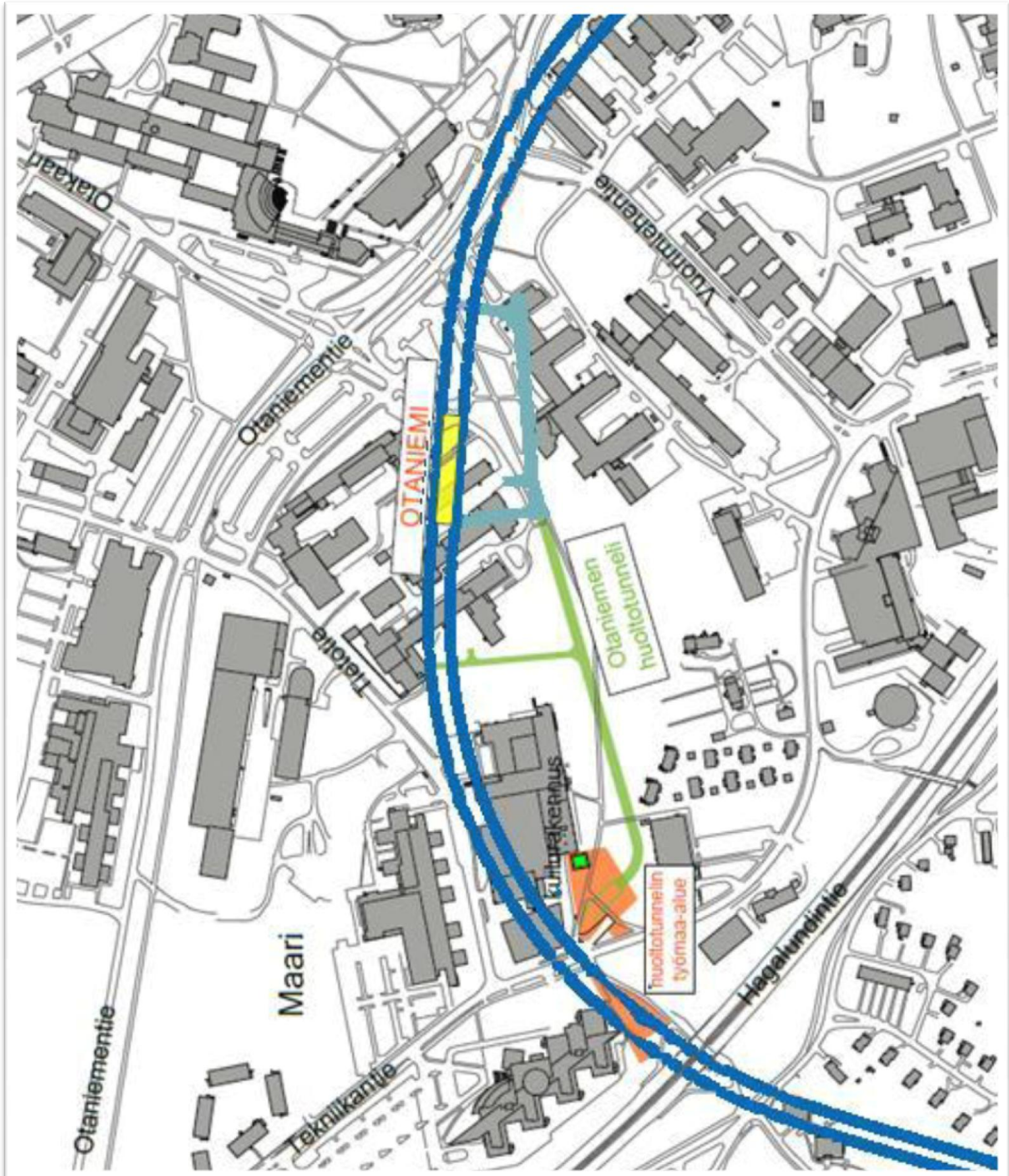
#### Alustava pisteverkko suunnitelma





## Liite 2

## Otaniemen työmaa-alue



## Liite 3

**Simuloinnin virhe-ellipsit**

<b>Pistenumero</b>	<b>A (m)</b>	<b>B (m)</b>
1	0.002	0.001
2	0.002	0.002
3	0.002	0.002
5	0.002	0.002
6	0.003	0.002

**Pisteverkon virhe-ellipsit**

<b>Pistenumero</b>	<b>A (m)</b>	<b>B (m)</b>
1	0.002	0.002
2	0.002	0.002
3	0.004	0.002
5	0.003	0.002
6	0.005	0.002

## Liite 4

Otaniemen tunnelissa sijaitsevat runkopisteet 17.9.2011

<b>Pistenumero</b>	<b>N</b>	<b>E</b>
<b>1</b>	74892.363	45559.952
<b>2</b>	74894.412	45543.877
<b>3</b>	74938.216	45691.261
<b>5</b>	74918.984	45654.853
<b>6</b>	74957.749	45758.983