

Arttu Järvinen

# Rakenteiden seurantamittaukset ja 3D-mallit

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinööriyö

26.4.2017

Tekijä Otsikko	Arttu Järvinen Rakenteiden seurantamittaukset ja 3D-mallit
Sivumäärä Aika	27 sivua 26.4.2017
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	mittaustyönjohtaja Markku Hämäläinen lehtori Jussi Laari
<p>Tämän insinööriyön aiheena oli perehtyä mittaajan työskentelyyn uusien rakennuksien tai rakenteiden seurantamittausta tehtäessä sekä kertoa (pelkistetyn) 3D-mallin rakentamisesta.</p> <p>Mittaustyöt suoritettiin lentokenttäalueella Helsinki-Vantaalla. Jokaisella rakennustyömaalla suoritetaan uusiin rakennuksiin kohdistuva seurantamittaus, jolla kontrolloidaan sijainti- ja korkeustietoja. Lentokenttäalueella tulee kaikista rakennuksista luoda 3D-mallit, sillä sijainnin lisäksi korkeustiedot ovat tärkeitä. Mallinnuksessa tehdään ns. rautalankamalli. Tarkkuusvaatimukset eivät ole millintarkkoja, mutta mallinnuksessa pyritään mahdollisimman hyvään tarkkuuteen.</p> <p>Työn alussa perehdytään mitattaviin kohteisiin ja kerrotaan muutama seikka lentokenttäalueesta. Kohteiksi valittiin muutama toisistaan poikkeava rakennus ja rakenne. Työn keskeisin osa on mittauksien suorittaminen maastossa ja 3D-mallin rakentaminen ohjelmistolla. Mittauksia suoritettaessa ja piirrosta hahmotettaessa pohdittiin ryhmän kanssa, kuinka mittaukset tulisi suorittaa järkevästi, jotta ei syntyisi ylimääräisiä työvaiheita. Työn aikana pohdittiin sen suorittamiseen vaikuttaneita tekijöitä ja kuinka niitä voitaisiin parantaa tai helpottaa.</p> <p>Tämä insinööriyö antaa yhden tavan suorittaa rakennuksien seurantamittauksia ja ottaa huomioon hieman tavallisesta poikkeavan ympäristön. Se antaa kuvan siitä, mitä työskentelyyn vaaditaan ja millaista menetelmää Helsinki-Vantaalla käytetään. Työtä suoritettaessa pohdittiin mittaukseen ja mallintamiseen liittyviä ongelmakohtia. Työssä mainittujen seikkojen huomioon ottaminen parantaa tehokkuutta ja helpottaa mittaustyötä.</p>	
Avainsanat	seurantamittaus, 3D-malli, lentoasema

Author Title	Arttu Järvinen Construction surveying and basic 3D models
Number of Pages Date	27 pages 26 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Markku Hämäläinen, Land Surveying Party Chief Jussi Laari, Senior Lecturer
<p>The objective of this final year project was to describe the requirements of working as a surveyor with new buildings or structures, and to present the creation of basic 3D models. A major target was to create 3D models that could be used on the map and in municipal planning.</p> <p>The measurements used as the case for the thesis were carried out at the Helsinki-Vantaa airport. New buildings and structures were measured to control their location and height information. Because of the importance of the height information at the airport area, 3D models were created, as is always done close to airports, with millimeter accuracy as the target.</p> <p>Before measuring the structures, detailed information about them and the site was gathered. The measuring work was planned in a group and during the project matters that affected the work were discussed. Furthermore, alternative ways to carry out the tasks and to avoid extra work were planned in the group.</p> <p>The final year project was successful, the 3D models resemble the real structures closely. This bachelor's thesis presents one way to perform verification measurements. It gives a comprehensive view of what is done and what is required when surveys are done at an airport area. Paying attention to the problems presented in the thesis could increase efficiency and ease surveyors' work.</p>	
Keywords	measurement, 3D model, airport

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lentoasema-alueella työskentely	1
2.1	Yleistä	1
2.2	Kulkuluvat	2
2.3	Ajoluvat	3
2.4	Muuta huomioitavaa	4
3	Mitattavat kohteet	4
3.1	Koekäyttöpaikka (GRE)	5
3.1.1	Yleistä	5
3.1.2	Käyttötarkoitus	6
3.2	Huoltorakennukset	7
4	Työn vaatimukset	7
5	Mittauksien suunnittelu	8
5.1	Yleistä	8
5.2	GRE	8
5.3	Huoltorakennukset	9
6	Mittaustyöt	9
6.1	Yleistä	9
6.2	GRE	10
6.2.1	Kalusto	10
6.2.2	Orientointi	10
6.2.3	Rakenteen kartoitus	11
6.3	Huoltorakennukset	12
6.3.1	Kalusto	12
6.3.2	Orientointi	13
6.3.3	Rakennusten kartoitus	13
6.4	Mittauksissa syntyvät virheet	14

7	3D-mallinnus	15
7.1	Yleistä	15
7.2	Mallinnus	16
7.2.1	GRE	16
7.2.2	Huoltorakennukset	20
7.3	Koodaus	22
8	Lopputulokset	23
8.1	Yleistä	23
8.2	GRE	23
8.3	Huoltorakennukset	24
9	Yhteenveto	25
	Lähteet	26
	Liitteet	

## Lyhenteet

GRE	Ground Run-up Enclosure. Lentokoneiden koekäyttöpaikka.
JHS 185	Julkisen hallinnon suositus 185. Asemakaavan pohjakartan laatiminen.
LVP	Huonon näkyvyyden toimintamenetelmä.
Supo	Suojelupoliisi.
Trafi	Liikenteen turvallisuusvirasto.
3D-Win	Maastomittausohjelmisto.

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön aiheena on perehtyä mittaajan työskentelyyn uusien rakennuksien ja rakenteiden seurantamittauksista tehtäessä sekä kertoa 3D-mallin rakentamisesta. Tavoitteena on antaa lukijalle käsitys siitä, mitä seurantamittauksissa mitataan ja kuinka (pelkistetty) malli rakennetaan. Työ antaa yhden tavan suorittaa mittauksia, josta lukija voi mahdollisesti hakea vinkkiä omaan työhönsä, mutta tarkoitus on nimenomaan antaa kuva siitä, mitä työskentelyyn vaaditaan ja millaista menetelmää Helsinki-Vantaalla käytetään.

Työssä tutustutaan Helsinki-Vantaan lentoasemalla työskentelyyn ja sen hieman erilaiseen ympäristöön. Työssä selvitetään lentoasemalla huomioitavia kohtia, esimerkiksi lupa- ja liikkumisasioita. Lisäksi perehdytään mitattaviin kohteisiin ja mittauksen suunnitteluun. Tarkoitus on pohtia mittaus- ja mallinnustyön tapoja, jotta ylimääräisiltä työvaiheilta vältyttäisiin sekä pohtia niihin liittyviä ongelmakohtia. Ongelmakohtien huomiointamisella pyritään parantamaan tehokkuutta ja helpottamaan mittauksia. Työssä esitetyllä tavalla suoritetaan lähes kaikki seurantamittaukset lentoaseman alueella. Esille on nostettu vain muutama kohde, joilla periaate niin mittauksiin kuin mallinnukseen tulee lukijalle selväksi. Työt suoritetaan takymetrimittauksella, eikä muihin 3D-mittaustekniikoihin perehdytä. Mittaustehtävät sisältävät joitain seikkoja, jotka poikkeavat ns. tavallisesta rakennustyömaasta.

Tässä työssä käytetään lähteinä kohteesta dokumentoituja ohjeita ja artikkeleita, kirjallisia teoksia mittauksista sekä pohdintoja mittausryhmän kanssa. Eri tiedonlähteitä sovelletaan sopivissa määrin vastaamaan lentoasemalla vaadittuja vaatimuksia ja menetelmiä. Seurantamittaukset ja mallinnukset ovat yhdessä osa monista työtehtävistä lentoaseman alueella.

## 2 Lentoasema-alueella työskentely

### 2.1 Yleistä

Mittaustehtävät suoritettiin lentoaseman alueen sisäpuolella turvavalvotulla alueella, jolla vaaditaan aina asianmukainen lupa. Tehtävissä tuli huomioida tavallisesta poik-

keava ympäristö, joka toi työskentelyyn omat haasteensa. Alueella liikkuminen on rajoitettua, ja siihen vaaditaan Finavian myöntämä lupa. Suojelupoliisi tekee ensin turvallisuusselvityksen, jota haetaan Henkilöturvallisuusselvityksellä, minkä jälkeen lupa hylätään tai hyväksytään. Turvallisuusselvityksen laajuus vaihtelee suppeasta laajaan, riippuen työnkuvasta. Erillinen lupa vaaditaan myös ajoneuvon kuljettamiseen, johon liittyy liikenne- ja ajoneuvokoulutus. [1; 2.]

Liikkumista koskevilla ohjeilla ja määräyksillä pyritään varmistamaan turvallinen liikkuminen alueella, estämään luvaton oleskelu sekä varmistamaan, että alueella liikkujat tuntevat tarpeellisin osin sitä koskevat ohjeistukset. Lentoaseman maaliikennettä koskevien ohjeiden perusteena toimivat seuraavat säädökset, määräykset ja ohjeet:

- ilmailulaki
- rikoslaki, tieliikennelaki ja –asetus
- ilmailumääräykset
- Finavian maaliikenneohjeisto
- lentoaseman huonon näkyvyyden toimintaohje, LVP
- lentoaseman toimintakäsikirja. [3; 4.]

## 2.2 Kulkuluvat

Lentoasemalla työskentelevälle tai siellä säännöllisesti käyvälle voidaan myöntää henkilökohtainen kulkulupa. Lupa oikeuttaa liikkumaan itsenäisesti alueilla, joille se on myönnetty. Lupana toimii henkilökohtainen kuvallinen kulkukortti, josta ilmenee henkilön nimi, työnantaja, liikkumisoikeudet ja kortin voimassaoloaika. Voimassaoloaika on korkeintaan viisi vuotta, minkä jälkeen se tulee uusiksi. Luvan myöntämisen perusteena toimii turvallisuusselvitys.

Henkilöille voidaan myöntää lyhytaikainen oleskelulupa. Pikahuoltolupa voidaan myöntää henkilölle, jonka työtehtävä on turva-alueella lyhytaikainen tai kiireellinen. Lupa on



voimassa enintään kaksi viikkoa. Toinen lyhytaikainen lupa on vierailijalupa. Vierailuja varten toimiva lupa on voimassa enintään yhden viikon. Lyhytaikaiset luvat edellyttävät liikkumista henkilön kanssa, jolla on voimassa oleva henkilökortti kyseiselle alueelle.

Kulkuluvan haltijalle voidaan myöntää työkalulupa. Työkalulupa vaaditaan, jos alueelle tulee saada vietyä kiellettyjä esineitä tai aineita. Kielletyt esineet on jaettu eri ryhmiin samaan tyyliin kuin matkustajienkin turvatarkastuksissa. Henkilöllä voi olla lupa useammalle kuin yhdelle ryhmälle. Lentoasema-alueen sisällä työskentelevillä henkilöillä, jotka toimivat rakennustyömailla tai huoltotehtävissä, on usein vähintään yhden ryhmän työkalulupa. [5]

### 2.3 Ajoluvat

Ajolupakortti voidaan myöntää henkilölle sen jälkeen, kun hänellä on voimassa oleva Helsinki-Vantaan lentoaseman henkilökortti, yrityksen kirjallinen perustelu ajoluvan välttämättömyydestä, B-luokan ajokortti sekä tarkastettu ja hyväksytty ajokortin seurantaote. Työntekijän tulee suorittaa ennen ajokoetta verkkokoulutus, teoriakoulutus ja riittävä määrä käytännön ajoharjoittelua. Ajolupaan merkitään alueet, joilla henkilö on oikeutettu kuljettamaan ajoneuvoa, työtehtävien vaatimuksien mukaan. Liikennealueille, joihin kuuluu ilma-alusten lentoon lähtöön, laskuun ja rullaukseen tarkoitettuja alueita, tarvitaan erillinen koulutus luvan myöntämiselle. Ajolupa myönnetään maksimissaan henkilökorttia vastaavaksi voimassaoloajaksi.

Ajoneuvot, joilla liikutaan turvalvotulla alueella, vaativat myös oman ajoneuvolupansa. Myöntämisen perusteeksi ajoneuvon tulee olla ominaisuuksiltaan liikennekelpoinen, katsastettu ja vakuutettu, se on varustettu lentoaseman hyväksymällä numero- tai kirjaintunnuksella ja se on varustettu sammuttimella. Liikennealueella oltaessa tulee autossa olla radiopuhelin, jolla on mahdollista saada yhteys lennonjohtoon. Alueittain autoissa vaaditaan myös vilkkuva tai pyörivä valo. Kulkuneuvoja, joilla ei ole myönnettyä ajoneuvolupaa, voidaan saattaa alueella tilapäisesti, tällöin saattajalla tulee olla siihen lupa. [4]

## 2.4 Muuta huomioitavaa

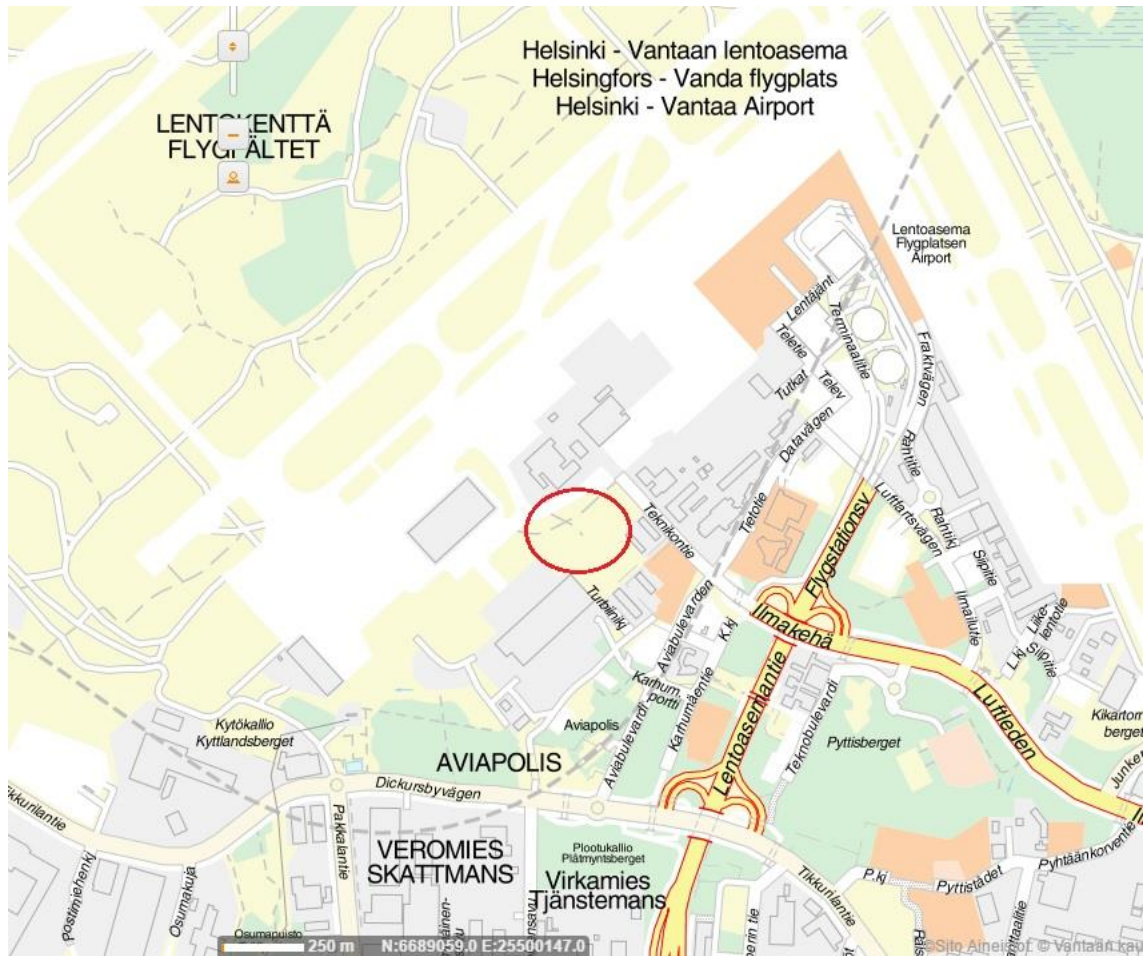
Lentokenttäalueella sääntöjä valvotaan tarkasti ja rikkomuksiin puututaan herkästi. Rikkomuksen vakavuudesta riippuen henkilölle annetaan huomautus tai jopa määräaikainen ajokielto. Alueella noudatetaan ensisijaisesti ilmailumääräyksiä, mutta myös soveltuvin osin tieliikennelainsäädäntöä. Alueen tärkein sääntö on se, että lentokoneita tulee väistää aina. Ilma-aluksille on määrätty erinäisiä turvaetäisyyksiä, joista ei tässä työssä sen enempää mainita. Väistämisvelvollisia ollaan myös muutamille muille kulkuvälineille, kuten joillekin kunnossapidon ajoneuvoille ja hälytysajoneuvoille.

Pysäköinti asematasoilla tapahtuu merkityille alueille tai paikoille. Työtehtävässä ajoneuvo voidaan pysäköidä muuallekin, paikkaan jossa se ei aiheuta törmäysvaaraa, estä evakuointia tai tuki kulkuväyliä. Pysäköidessä autoon tulee jättää avaimet, jotta sen siirtäminen on milloin vain mahdollista. Nopeusrajoitukset on tarkkaan määritelty: asematasoilla 30 km/h ja huoltoteilla 60 km/h. Huonon näkyvyyden aikana sovelletaan muita liikennekäytäntöjä. Alueella kulkee monenlaisia kulkuvälineitä, joista osa poikkeaa tavallisessa tieliikenteessä kulkevista ajoneuvoista, näihin kuuluu mm. auraskalusto ja matkatavarakärryt. Liikuttaessa alueella tulee huomioida nämä kulkuvälineet.

Alueen käyttötarkoitus saattaa vaikuttaa siellä suoritettaviin työtehtäviin. Muun muassa lentoliikenteestä ja huonosta näkyvyydestä johtuen alueella liikkuminen saattaa olla rajoitettua tai aikataulutettua. Näiden vaikutusten takia suunnitellut tehtävät tulisi ajoittaa sopiviin hetkiin tai siirtää toiseen ajankohtaan. Lentoliikenteen aamu- ja iltapäiväruuhkia kannattaisi mittaustehtävissä välttää. [4; 5.]

## 3 Mitattavat kohteet

Mitattavat kohteet ovat vierekkäin Helsinki-Vantaan eteläosassa. Koekäyttöpaikka sijaitsee asematasolla, jossa vaaditaan erityistä huomiota liikkumisessa ja työskentelyssä. Huoltorakennukset sijaitsevat teknisen alueen puolella koekäyttöpaikan ja asematason vieressä. Kuvassa 1 on havainnollistettu kohteiden sijainti kartalla.



Kuva 1. Mitattavien kohteiden sijainti Helsinki-Vantaalla [6].

### 3.1 Koekäyttöpaikka (GRE)

#### 3.1.1 Yleistä

Kohde sijaitsee lentokenttäalueen eteläosassa, jossa liikumiseen tarvitaan erilliset kulku- ja ajoluvat. Nimi GRE tulee englanninkielen sanoista Ground Run-up Enclosure. Kohde on syksyllä 2016 valmistunut lentokoneiden koekäyttöpaikka. Aikaisempi, väliaikainen koekäyttöpaikka on ollut siirrettävistä tuulielementeistä koottu alue. Uusi koekäyttöpaikka on seinillä ympäröity takaa ja sivuilta. Sen etuna on, ettei se juurikaan häiritse ympäröivän alueen toimintoja eikä seinillä ympäröity koekäyttöpaikka vaadi ympärilleen tyhjinä pidettäviä turva-alueita. Nykyinen paikka mahdollistaa suurempien koneiden (mm. Airbus A350-900) testauksen, ja se poistaa melua huomattavasti paremmin kuin edeltäjänsä. Rakenteisiin on tehty melunvaimennusmittaukset ennen käyttöönottoa ja kohde on sijoitettu pääkiitotien suuntaisesti, jotta melutaso pysyy mahdolli-

simman alhaisena. Meluasioihin kiinnitetään alueella entistä enemmän huomiota, sillä rakenteilla olevasta Aviapoliksen alueesta halutaan viihtyisä sinne muuttaville yrityksille ja asukkaille. Koekäyttöpaikan arvoitiin olevan noin 18,5 metriä korkea ja alueella ko-koa noin 100 x 85 metriä. [7; 8; 9; 10; 19.]

### 3.1.2 Käyttötarkoitus

Helsinki-Vantaan lentokentän uusi koekäyttöpaikka on pysyvä lentokoneiden testaukseen tarkoitettua rakennelma, jossa testataan moottoreiden toimivuutta maan tasalla. Lentokone ohjataan koekäyttöpaikan ”sisään”, jossa testaukset voidaan suorittaa turvallisesti. Tuulielementin kaareva muoto on suunniteltu siten, että se siirtää moottoreista syntyvän ilmavirtauksen entistä tehokkaammin ylöspäin ja poistaa melun entistä paremmin verrattuna betoniin siirrettäviin elementteihin. Kuvassa 2 nähdään tuulielementti koekäyttöpaikan takaosassa. Koekäyttöpaikan rakenteiden ääneneristyskyky on 35 dB. Lentokoneita pystytään testaamaan uudella paikalla täysteholla, osatehol- la tai tyhjäkäyntiteholla koneen koosta välittämättä. Lentokoneiden koekäytöt liittyvät osana niihin tehtäviin huoltotoimenpiteisiin. Vuoden 2014 aikana Helsinki-Vantaalla tehtiin koekäyttöjä yli tuhat, joista kolmasosa suoritettiin yöllä. [7; 8; 11.]



Kuva 2. Koekäyttöpaikka Helsinki-Vantaalla. GRE:n takaosassa on suihkuvirtausta varten tehty tuulielementti.

### 3.2 Huoltorakennukset

Rakennukset sijaitsevat teknisen alueen puolella aivan koekäyttöpaikan vieressä. Teknisellä alueella ei kulje lentokoneita. Rakennukset ovat vuoden 2016 puolella valmistuneita ja ne kuuluvat lentoaseman huoltoajoneuvojen säilytyspaikaksi. Kuvan 3 tyyppiin rakennuksiin parkkeerataan lentokenttäalueen kunnossapitoon tarkoitettuja ajoneuvoja, mm. putsauskalustoa.



Kuva 3. Huoltorakennus Helsinki-Vantaalla.

## 4 Työn vaatimukset

Mittaus- ja mallinnustöiden vaatimukset määräytyvät Maanmittauslaitoksen kaavoitusmittausohjeen (2003) ja JHS 185 (2014) mukaan. Ohjeet sisältävät kolme mittausluokkaa, jotka määräävät mittaus- ja kuvaustarkkuuden. Helsinki-Vantaalla rakennusten kartoituksessa mittausluokkana käytetään 1e:tä, jonka mukaan mittauksen pistekeski- virhe on 0.20 metriä. Kaavoitusmittausohje määrittelee mittausluokan 1 seuraavasti:

Taajama-alueet, joilla maa on erittäin arvokasta, rakennusoikeudet suuria ja yhdyskuntarakenne kaupunkimaista. Alueille laadittavissa asemakaavoissa on sitova tonttijako. Yleensä tämän tyyppisillä alueilla ylläpidetään kantakarttaa tai numerista maastotietojärjestelmää, jonka laatu on vähintään tämän ohjeen suositamaa tasoa. Jos karttatietokantaa on tarkoitus käyttää osana kunnan maastotietojärjestelmää ja hyödyntää suurta tarkkuutta edellyttävässä teknisessä suunnittelussa, suositellaan käytettäväksi tarkempaa vaatimustasoa (mittausluokka 1e).

3D-raakamallien tarkkuusvaatimukset määrittävät mittausvaatimusten mukaan. Rakennusten ja rakenteiden mallien tulee vastata todellisuutta. [12; 13; 14.]

## 5 Mittauksien suunnittelu

### 5.1 Yleistä

Lentoaseman alueella vaaditaan kaikista rakennuksista 3D-mallit, koska korkeustiedot ovat yhtä tärkeitä kuin tasokoordinaatit. Uusien rakennusten ja rakenteiden kartoitukset pyritään saamaan mahdollisimman nopeasti suoritettua muiden työtehtävien ohessa. Kartoitus- ja merkintämittaukset suoritetaan takymetrillä käyttäen valmiiksi tehtyjä runkopisteitä, mikäli se on mahdollista, ja tarvittaessa apupisteitä. Mittausryhmä suunnittelee mittauksen lähtökohtaisesti toimistolla ottaen selvää kartoitettavasta kohteesta sekä alueen pisteistä. Monissa tapauksissa asioita joudutaan soveltamaan paikan päällä, esimerkiksi liikennöinnin tai haastavan sijainnin takia. Mittaukset suunnitellaan ajankohtaan, jolloin alueen liikennöinti olisi mahdollisimman vähäistä. Koekäyttöpaikka ei mittauksien aikana ollut vielä käytössä.

### 5.2 GRE

Koekäyttöpaikan mittaus suunnitellaan tehtävän kahdesta kojeasemasta: koekäyttöpaikan sisältä ja sivusta. GRE:llä pystytään käyttämään tarra-apupisteitä, jotka sijaitsevat koekäyttöpaikan sisäpuolisissa seinissä. Aikaisemmin yksi mittaryhmistä oli ollut mitaamassa kyseisen rakenteen betonisokkeliä ja samalla luonut apupisteet koekäyttöpaikan sisäpuolelle. Koje pystytetään mahdollisimman keskelle rakennetta, jotta matkat ja näkyvyys ovat joka suuntaan kutakuinkin samanlaiset. Erillisen tuulielementin alaosa otetaan kiinni käyttäen Leican miniprismaa ja loput rakenteesta prismattomalla mittauksella. Ympäröivän rakenteen alaosat kartoitetaan myös prismattomalla mittauksella, koska aikaisemmin mitatun betonisokkelin tiedostosta saadaan rakenteelle tarkka alareuna.

Toinen kojeasema suunnitellaan koekäyttöpaikan ulkopuolelle sivuun, josta saadaan tarkkeet ainakin toisesta rakenteen päädyistä sekä sivusta. Sivusta saadaan mitattua tarkasti kohteen päätyjä ja yläpintaa kiertävä pyöreä muoto. Pisteinä käytetään muu-

tamaa GRE:n sisäpuolista pistettä sekä joitain alueella olevia pisteitä. Mittaus suoritetaan prismattomalla mittauksella.

### 5.3 Huoltorakennukset

Huoltorakennukset suunnitellaan käyttäen kolmea kojeasemaa GRE:n ja rakennusten välissä. Tavoite on selvittää kolmella kojeasemalla, joilta pystytään mittaamaan molemmat rakennukset kokonaan. Kojemasien tarkemmat sijainnit päätetään mittausvaiheessa. Kojemasemilta voidaan luoda uusia apupisteitä, jos se on tarpeen. Aikaisemmallalla mittauskerralla loimme tarrapisteet koekäyttöpaikan ulkoseinään sekä huoltorakennusten päätyihin. Ensimmäinen orientointi saadaan näistä pisteistä ja etenemistä pohditaan mittausvaiheessa. Kojepystytetään viistosti rakennuksiin nähden, jotta saadaan havainnot kolmelle kulmalle sekä mahdollisimman laajasti reunustoja. Rakennuksen alakulmat otetaan kiinni käyttäen apuna Leican tarraa tai miniprismaa, ja yläosat prismattomalla mittauksella.

## 6 Mittaustyöt

### 6.1 Yleistä

Rakennusten ja rakenteiden perustusten sijaintikatselmukset pyritään suorittamaan heti niiden valmistuttua ja loput päällysrakenteesta mitataan sen jälkeen, kun ne ovat valmistuneet. Pienemmille rakennuksille, kuten varastokopeille, perustuksen mittaus voidaan suorittaa vasta jälkeenpäin. Rakennusten kartoituksella saadaan varmuus niiden sijainnista, koosta, korkeudesta ja muodosta. Tämä on tärkeää etenkin tällä hetkellä vauhdilla kasvavalle ja muuttuvalle lentoaseman alueelle. Kartoituksen pistetiheys vaihtelee riippuen kohteesta. Vaatimuksena on, että rakenteen muoto tulee selkeästi esille. Tarkkoihin yksityiskohtiin ei yleensä tarvitse puuttua, vaan laajat linjat riittävät kuvaamaan rakennuksen sijaintia. Tätä työtä varten mitatussa koekäyttöpaikassa selviää suorien linjojen lisäksi pyöreiden muotojen kuvaaminen. [15]

## 6.2 GRE

### 6.2.1 Kalusto

Mittauksissa käytettiin seuraavanlaista kalustoa.

Ensimmäinen mittaus (kaksi kojeasemaa):

- Leica TCRA 1105 Plus -takymetri
- Puujalusta
- Leican tarratähys
- Leica GMP111 -miniprisma.

Toinen (ylimääräinen) mittaus:

- Leica TCRP 1205 Plus -takymetri
- Puujalusta
- Leican tarratähys.

### 6.2.2 Orientointi

Ensimmäinen vapaan kojeaseman orientointi tehtiin koekäyttöpaikan keskelle, jotta matkat joka suuntaan ovat jotakuinkin samanlaiset, ja jotta nähdään kojeasemalta mahdollisimman paljon. Pisteet rakenteiden seinissä oli suunnattu kohti koekäyttöpaikan keskustaa. Orientoinnissa käytettiin neljää Leican tarroista tehtyä apupistettä, jotka oli nimetty TA1, TA2, TA3 ja TA4. Orientointi onnistui hyvin ja neljällä pisteellä virheiksi saatiin pohjois-, itä- ja korkeushavaintoihin, kaikkiin  $\pm 1$  mm.

Toinen (vapaa kojeasema) orientointi oli suunniteltu rakenteen ulkopuolelle, jotta saatiin päädyn pyöreästä muodosta ja rakenteen ulkoiselta sivulta havaintopisteitä. Pisteinä käytettiin koekäyttöpaikan sisällä olevia TA3- ja TA4-tarroja sekä läheisen rakennuksen seinässä olevaa T2-tarrapistettä. Orientointi onnistui saman suuruisilla virheillä kuin edellinen kojeasema.



Ylimääräisellä mittauskerralla orientoitiin keskelle koekäyttöpaikan keskustaa vapaalle kojeasemalle, kuitenkin niin, että oltiin lähempänä käyttöpaikan tuulielementtiä, jotta tähtäin saatiin suunnattua tarkemmin elementin reunoihin. Orientointi tapahtui samoilla neljällä tarrapisteellä kuin ensimmäisellä kerralla, virheillä  $\pm 2$  mm.

### 6.2.3 Rakenteen kartoitus

Tehtävän tarkoituksena oli mitata tarvittavat tarkehavainnot, jotta rakenne saadaan mallinnettua kolmiulotteiseksi. Rakenne mitattiin takymetrin prismattomalla mittauksella pois lukien tuulielementin alareunaa. Prismaton mittaus valittiin siksi, että ympäröivän rakenteen betonisokkeli oli mitattu jo aikaisemmassa vaiheessa ja sen tietoja oli mahdollista hyödyntää. Yläreunoja oli korkeuden vuoksi mahdoton käydä näyttämässä prismalla. Sateinen ja pimeä ilma tuotti pieniä ongelmia prismattomalle mittaukselle, ja havaintojen saaminen oli haastavaa.

Mittaus aloitettiin koekäyttöpaikkaa ympäröivästä rakenteesta. Tarkepisteet mitattiin rakenteen jokaisesta ylä- ja alakulmasta. Kulmapisteiden havaintojen saaminen oli prismattomalla mittauksella helppoa, ja niiden kartoituksella ajateltiin myös mallintamisen olevan mahdollisimman selkeää. Pitkien sivujen keskeltä haluttiin myös havainnot, jotta seinälinjan tarkkuus ja linjaus pysyvät mahdollisimman hyvänä. Pitkiä sivuja mitattaessa käytettiin takymetrin viivatoimintoa, jotta mallin hahmottaminen olisi mahdollisimman helppoa alusta alkaen. Ensimmäisestä kojeasemasta saatiin mitattua koko rakenteen sisäpuoli.

Samasta kojeasemasta mitattiin myös koekäyttöpaikan tuulielementti. Elementistä mitattiin alareuna Leican miniprismalla, yläreunat sekä sivut prismattomalla mittauksella. Miniprismalla tehdyt havainnot alareunoista antoivat tarkan sijainnin tuulielementille, jolla parannettiin sijainnin luotettavuutta. Prismaton mittaus tuotti pieniä ongelmia, koska tuulielementti oli kovera ja takaisin kimpoavan signaalin saaminen hankalaa.

Takymetrin paikkaa vaihdettiin, koska haluttiin tarkepisteitä rakenteen ulkoreunasta. Ensimmäisen mittauskerran toinen kojeasema päätettiin laittaa viistosti rakenteen päättyyn, josta saadaan sen pyöreä muoto havaittua. Lisäksi ulkoreunasta haluttiin mitata muutama tarkepiste, jotta saatiin rakenteen leveys ja sijainti tarkaksi. Mitatut havainnot otettiin rakenteen kulmista mallintamisen selkeyttämiseksi. Kartoituksen jälkeen ko-

jeasemalta luotiin uusia tarra-apupisteitä koekäyttöpaikan ulkoseinään sekä vieressä oleviin huoltorakennuksiin. Näitä pisteitä voitiin käyttää myöhemmässä vaiheessa.

Ympäröivän rakenteen yläreunat ja sivut tuottivat hankaluuksia pyöreiden muotojen vuoksi. Ensimmäisestä kojeasemasta havaittiin reunakohdat, joista pyöreä muoto alkaa. Toisesta kojeasemasta pystyttiin paremmin mittaamaan havainnot muodolle, joiden avulla mallintaminen onnistuu. Pyöreä, symmetrinen muoto kiersi koko rakenteen yläreunaa.

Mittauksien jälkeen huomattiin tuulielementin havainnoille syntyneen virheitä. 3D-Winille avatussa tiedostossa tuulielementin yläreunan pisteet olivat siirtyneet koekäyttöpaikan ulkopuolelle. Tuulielementin sijainti poikkesi lähes kymmenen metriä todellisesta. Myös elementin korkeus ja leveys havainnot olivat vääristyneet noin kahdella metrillä. Prismattoman mittauksen havainnot olivat ilmeisesti kimmonneet koverasta, kiiltävästä ja märästä pinnasta vääriin paikkoihin. Alareunan havainnot olivat luotettavia miniprismalla tehdyn mittauksen takia, ja se täsmäsi arviolta kahden senttimetrin tarkkuudella ympäröivään rakenteeseen. Ylimääräinen mittaus suoritettiin pelkälle tuulielementin yläreunalle.

Mittaus suoritettiin lähempää tuulielementtiä kuin aikaisempi mittaus. Sää oli tällä kertaa kirkas ja aurinkoinen, joka lisäsi havaintojen luotettavuutta. Käytössä oli Leican 1200-sarjan takymetri, jossa lasermittaus on tehokkaampi ja havaintojen saaminen helpompaa. Elementistä mitattiin yläreunat ja sivut uudestaan. Kupera muoto saatiin mittaamalla havaintopisteitä elementin keksiosasta. [16]

### 6.3 Huoltorakennukset

#### 6.3.1 Kalusto

Käytetty kalusto on seuraavanlainen:

- Leica TCRP 1205 Plus -takymetri
- Puujalusta
- Leica-tarratähys.

### 6.3.2 Orientointi

Huoltorakennuksia mitattaessa orientoinnit tapahtuivat vapaalle kojeasemalle. Ensimmäinen asemointi tehtiin koekäyttöpaikan ulkopuolelle samaiseen kohtaan, josta sen ulkoreunan mittaus oli suoritettu ja josta oli luotu apupisteet GRE:n ulkoreunalle sekä huoltorakennusten päätyihin. Koje pystytettiin niin, että nähdään tarratähykset ja lähimmän rakennuksen kolme kulmaa mahdollisimman selkeästi. Orientoinnissa käytettiin neljää Leican tarroista tehtyä apupistettä, jotka oli nimetty TA4, TA5, TA6 ja TA7. Piste TA4 otettiin orientointiin mukaan koekäyttöpaikan sisäpuolelta. Virheiksi saatiin  $\pm 2$  mm. Asemapisteeltä rakennettiin uusi apupiste TA9.

Toinen asema sijoitettiin rakennusten väliin, niin että orientoinnissa voidaan käyttää samoja tarrapisteitä. Kojemasemalta tuli nähdä kummastakin rakennuksesta kolme kulmaa sekä sivustat. Orientointi tapahtui pisteistä TA5, TA6 ja TA7. Virheiksi saatiin taas  $\pm 2$  mm. Tässä vaiheessa toinen rakennuksista oli mitattu kokonaan. Viereisestä rakennuksesta puuttui yksi kulma ja toinen sivusta.

Viimeinen asemointi tehtiin kauemman rakennuksen toiselle sivustalle, jotta siitäkin saadaan kartoitettua puuttuva neljäs kulma. Kohta valittiin niin, että on mahdollista käyttää samoja pisteitä kuin aikaisemmin sekä pistettä TA9, joka luotiin ensimmäiseltä kojeasemalta. Virheiksi saatiin  $\pm 4$  mm.

### 6.3.3 Rakennusten kartoitus

Ensimmäiseltä asemapisteeltä mittaus aloitettiin lähimmän rakennuksen kolmesta alkulmasta. Mittausryhmän toinen jäsen näytti kulmapisteet Leican tarratähyksellä. Tarran keskikohtaan mitattaessa prismakorkeutena käytettiin kolmea senttimetriä. Rakennusten yläreuna mitattiin prismattomalla mittauksella, jonka tarkkuus riittää tehtävään hyvin. Yläreunan havainnot otettiin kulmakohdista, joista havainnon saaminen on helppointa. Katosta mitattiin harjan reunat ja korkein kohta, joilla mallintaminen onnistuu hyvin. Ensimmäiseltä kojeasemalta luotiin uusi apupiste (TA9) näkyville rakennusten taakse, jotta sitä voidaan käyttää vaihdettaessa kojeasemaa.

Toisesta ja kolmannesta kojeasemasta havainnot mitattiin samalla tavalla kuin ensimmäisestä. Näkyvät alareunat otettiin tarratähyksellä, yläreunat ja ovensuut prismattomalla mittauksella. Useampaa kojeasemaa käytettiin, jotta saadaan havaittua raken-

nuksien jokainen kulma parantamaan todenmukaista sijaintia. Huoltoajoneuvoille tarkoitetut ovensuut haluttiin kartoittaa, jotta saatiin jonkinlainen käsitys siitä, miltä rakennus todellisuudessa näyttää. Mittauksen nopeuttamiseksi oviaukot päätettiin havaita vain yhdellä pisteellä ovensuuta kohti. Ensimmäisistä ovista mitattiin niiden leveys ja loput saatiin luotua maastomittausohjelmistolla suorakulmaisella mittauksella. Tämä tapa vaati kuitenkin sen, että kaikki ovet ovat leveydeltään samoja.

Kohteen selkeiden linjojen takia ei viivatoimintoa haluttu käyttää vaan pistenumeroinnilla selkeytettiin mitattuja kohtia. Suorakulmaisten rakennusten kartoitus ei tuottanut ongelmia. Ilma oli viileä ja kirkas, suotuisa mittaukselle.

#### 6.4 Mittauksissa syntyvät virheet

Mittauksissa virheitä syntyy eri tekijöiden vaikutuksesta. Näissä mittauksissa syntyneet virheet pysyivät kuitenkin selvästi tehtävän tarkkuus- ja laatuvaatimuksien sisässä. Takymetrit, joilla mitattiin, huomauttivat kalibroinnin uusimisesta, vaikka viimeisimmät kalibroinnit oli tehty keväällä 2016 eli alle vuosi mittaushetkestä. Kalibroinnilla testataan mittaustaitteen näyttämää oikeellisuutta eli tarkkuutta. Jos kalibrointia ei tasaisin väliajoin suoriteta, ei sen varsinaista tarkkuuta voida taata. Toimenpide tulisi suorittaa kerran vuodessa, ja sillä pystyttäisiin parantamaan mittauksen laatua. Kalibroinnista uskotaan syntyneen mittauksiin pientä virhettä, mutta laitteet, joilla mitattiin, soveltuivat tarkkuutensa osalta tehtävään hyvin. Virheen arvioidaan olevan noin 1–5 millimetriä, jolloin mittaustuokassa 1e (pistekeskivirhe 20 cm) pysytään selvästi.

Toinen virheisiin vaikuttava tekijä olivat tunnetut lähtöpisteet. Pisteinä käytettiin useiden urakoitsijoiden tekemiä pisteitä, jotka olivat pääsääntöisesti tarkistettu runkoverkkoon aikaisemmin muissa mittaustehtävissä. Suurimmat ongelmat pisteiden kanssa olivat kuitenkin niiden määrä ja huono sijainti alueeseen nähden. Alueella ei ollut vanhempia tunnettuja pisteitä kuin muutama, ja ne olivat etäisyyksiltään melko kaukana tai huonolla sijainnilla. Mittausvaiheessa päätettiin käyttää yhtä vanhoista pisteistä ja muuten uudempia apupisteitä. Vanhojen pisteiden koordinaattitiedot istuivat vaihdellen uudempiin pisteisiin. Koekäyttöpaikan pisteiden istuvuus toisiinsa oli hyvä, ja näillä pisteillä päätettiin alueelle luoda uusia apupisteitä. Apupisteissä virheiden suuruudet kasvoivat viidestä kuuteen millimetriä, mutta suurin ongelma oli saada takymetri orientoitua kohtaan, jossa näkyvyys pisteisiin ja mitattaviin kohteisiin oli järkevä. Tiiviisti sijoitettujen

rakennusten kapeat väliköt toivat haasteita näkyvyydelle ja asemapisteidien sijoittamiselle.

Mittaukset suoritettiin pääosin prismattomalla lasermittauksella. Prismaton mittaus huonossa säässä aiheutti ongelmia pinnasta heijastuvalle signaalille. Märästä pinnasta heijastunut säde taittoi havainnon väärään paikkaan tai ei saanut mitattua havaintoa ollenkaan. Näissä mittauksissa tuulielementin yläreunalle syntyneet virheet olivat tasaisesti sijainniltaan noin kymmenen metriä väärässä paikassa. Prismattomalla mittauksella virheellinen havainto voi kuitenkin olla sijainniltaan ja koordinaateiltaan missä tahansa. Havainnot saattavat vääristyä jostain syystä jopa useita kilometrejä, mutta ne syntyvät yleensä vain satunnaisille pisteille. Prismattomassa mittauksessa havaittiin myös, että vanhemmalla kalustolla mitattaessa kohde ei saa juurikaan olla kallellaan mihinkään suuntaan. Mitattavan kohdan tulee olla lähes kohtisuorasti takymetriin, jotta havainto saadaan mitattua. Tämä aiheutti ongelmia etenkin Leican 1100-takymetrille. Tähtäminen prismattomalla mittauksella aiheuttaa muutaman senttimetrin suuruisia virheitä (noin 3–5 cm). Tähtäys ei aina osu millin tarkasti oikeaan kohtaan mm. kulmapisteitä mitattaessa, ja leikkauskohdan havaitseminen kauempaa mitattaessa voi valaistuksen takia olla hankalaa.

Etenkin koekäyttöpaikkaa mitattaessa pientä virhettä syntyi tuulisen ja sateisen sään takia. Märät ja kiiltävät pinnat aiheuttivat heijastuvalle signaalille ongelmia, ja osa pisteistä oli ilmeisesti vesipisaroiden takia havaittu täysin väärin paikkoihin. Tuulinen sää vaikutti hieman takymetrin tasaukseen. Yhdeltä kojeasemalta mittaus tapahtui melko nopeasti, jonka ansiosta tasauksen huononeminen ei ollut liian suurta. Jokaiselta kojeasemalta mittaus pysyttiin suorittamaan ilman uusia orientointeja. Kolmijalkoja ja takymetriä pyrittiin suojaamaan ajamalla auto tuulen ja mittaajan väliin. [5; 16; 20.]

## **7 3D-mallinnus**

### **7.1 Yleistä**

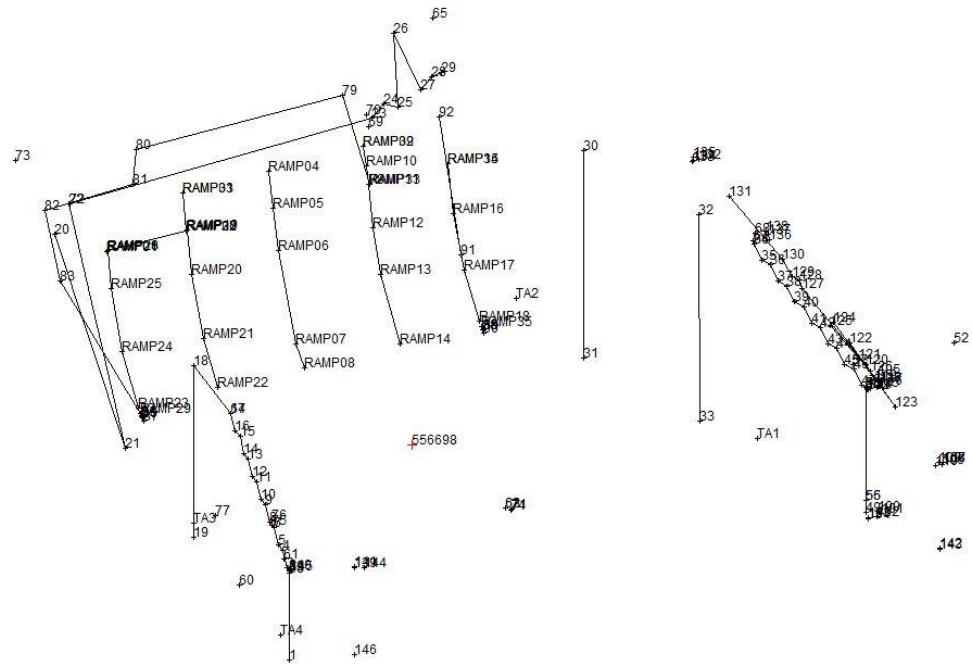
Mittauksien perusteella rakennuksista muodostetaan pelkistetyt 3D-mallit ja näin toimitaan kaikkien uusien rakennuksien kanssa lentoasema-alueella. Alueella vaaditaan kaikista rakenteista sijaintitietojen lisäksi myös korkeustiedot. Tähän työhön valittiin toisistaan poikkeavat kohteet, jotta mallintamisessa tulisi esille mahdollisimman paljon

erilaisia asioita. Ohjelmistona käytetään maastomittausohjelmisto 3D-Winiä. Ohjelmisto ei ole kaikkein parhain 3D-malleja piirrettäessä, mutta täyttää työn tarpeet hyvin. Ongelmaseikoista kerrotaan jäljempänä.

## 7.2 Mallinnus

### 7.2.1 GRE

Mittauksien jälkeen tiedot tuodaan takymetristä tietokoneelle ja malli avataan 3D-Winiin. Tässä tapauksessa tiedosto tuodaan GSI-muodossa koneelle, josta nähdään ovatko mittaukset onnistuneet. Tarkastelemalla pisteiden muodostamaa joukkoa ja tarkastamalla, osuvatko ne oikeaan kohtaan kartalla, nähdään, ovatko mittaukset onnistuneet halutulla tavalla. Tässä tapauksessa pystyttiin sijaintia vertaamaan aikaisemmin mitattuun koekäyttöpaikan betonisokkeliin ja todettiin, että mittaushavainnot osuivat hyvin ( $\pm 5$  cm:n tarkkuudella) sokkeliin. Havainnot olivat betonisokkelin sisäpuolella niin kuin kuuluikin. Mallinnus aloitetaan, jos ensisilmäyksen jälkeen kaikki näyttää olevan kunnossa. Mikäli suuria virheitä ilmenee, joudutaan mittaukset suorittamaan uudelleen, ellei virhettä pystytä muuten korjaamaan.



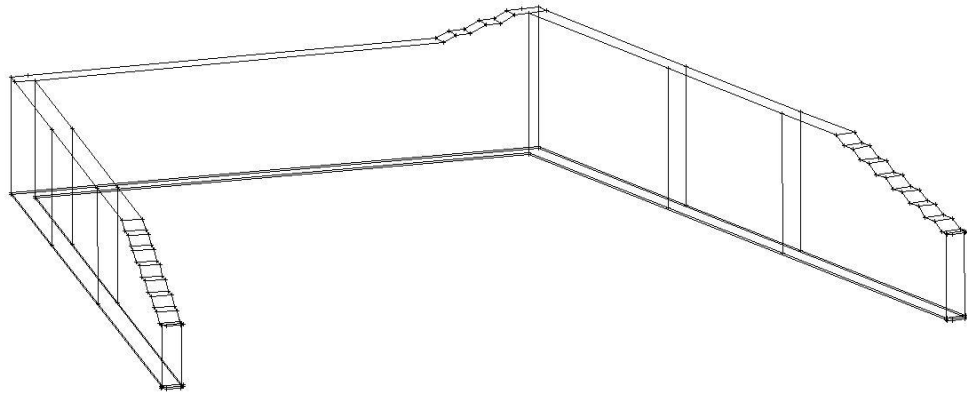
Kuva 4. Ohjelmistolla avattu GRE:n mittaustiedosto tietokoneen näytöllä.

Koekäyttöpaikkaa koskevassa tapauksessa huomattiin heti, että kaarevan tuulielementin sijainti ei täsmää muun rakenteen kanssa. Pyörittämällä pisteryhmää 3D-kuvakulmassa huomattiin, että mittausta oli epäonnistunut, koska tuulielementin ramppi oli muun rakenteen ulkopuolella. Elementin sijainti poikkesi noin 10 m todellisesta ja oli leveydeltään sekä korkeudeltaan lähes 2 m suurempi. Sateisessa kelissä suoritettu lasermittaus oli mahdollisesti saanut säteen kimpoamaan märästä rakenteen pinnasta tai vesipisaroista, jolloin mitatut havainnot ovat siirtyneet todellisesta. Tässä tapauksessa ramppia koskeva mittausta jouduttiin suorittamaan uudestaan.

Rakenteen hahmottaminen voi olla aluksi hankalaa tietokoneen ruudulla riippuen kohteen suuruudesta ja muodosta. Koekäyttöpaikka oli sen laajuuden, pyöreiden muotojen sekä erillisen tuulielementin takia haastava kohde. Mittauksien aikana kannattaa hyödyntää takymetrin viivatoimintoa, kuten kuvasta 4 nähdään, sekä nimetä pisteitä muistuttamaan, mitä kohtaa on mitattu. Tällöin kohde hahmottuu saman tien tietokoneelle huomattavasti paremmin ja helpottaa mallinnuksen alkua.

Koekäyttöpaikan hahmotteleminen aloitettiin ympäröivän rakenteen suorista linjoista vetämällä viivoja taitekohtiin mitattujen pisteiden välille. Kun seinälinjojen suorat osat

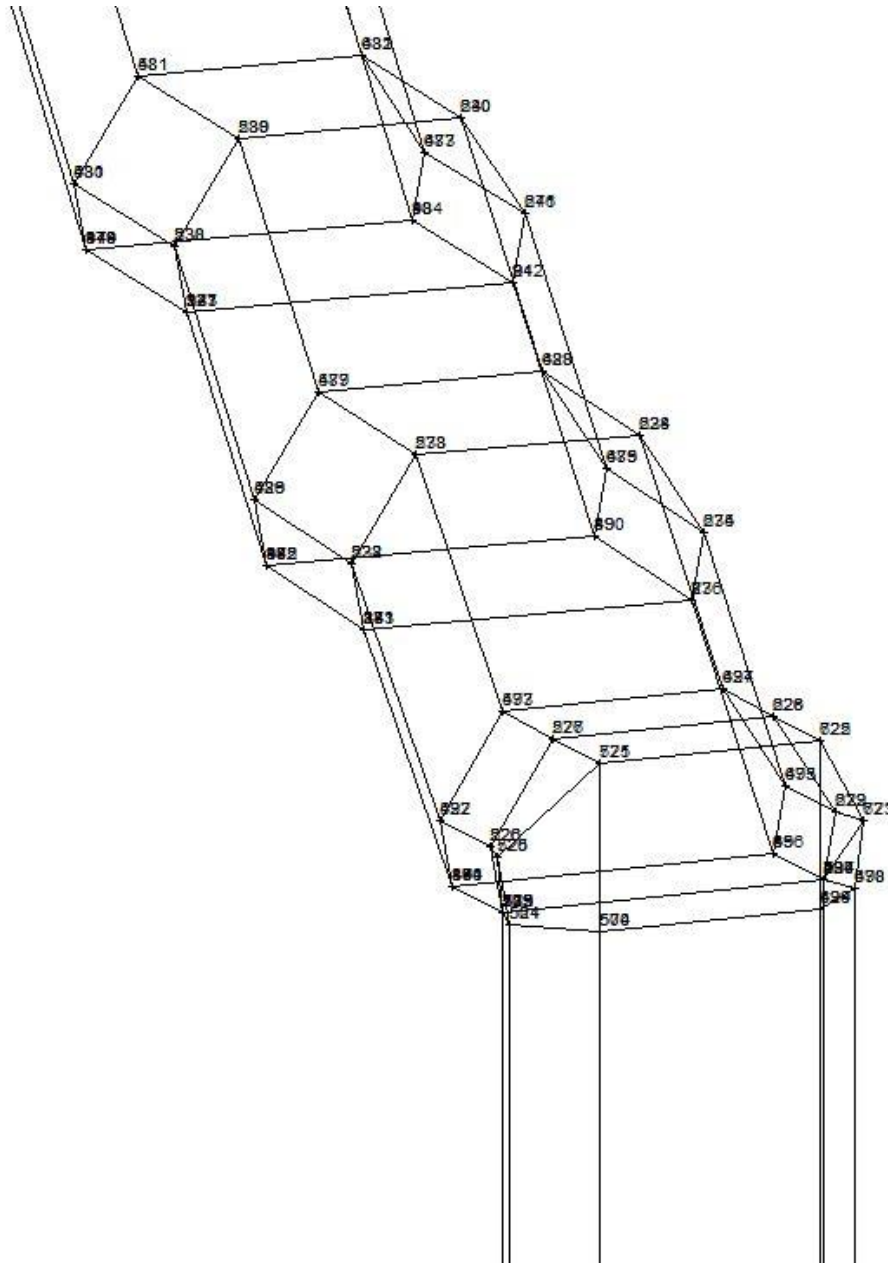
saatiin piirrettyä, alkoi rakenteen muoto muistuttaa todellista. Kuvassa 5 on editoituina rakenteen suorat linjat.



Kuva 5. Rakenteen suorat linjat editoituina.

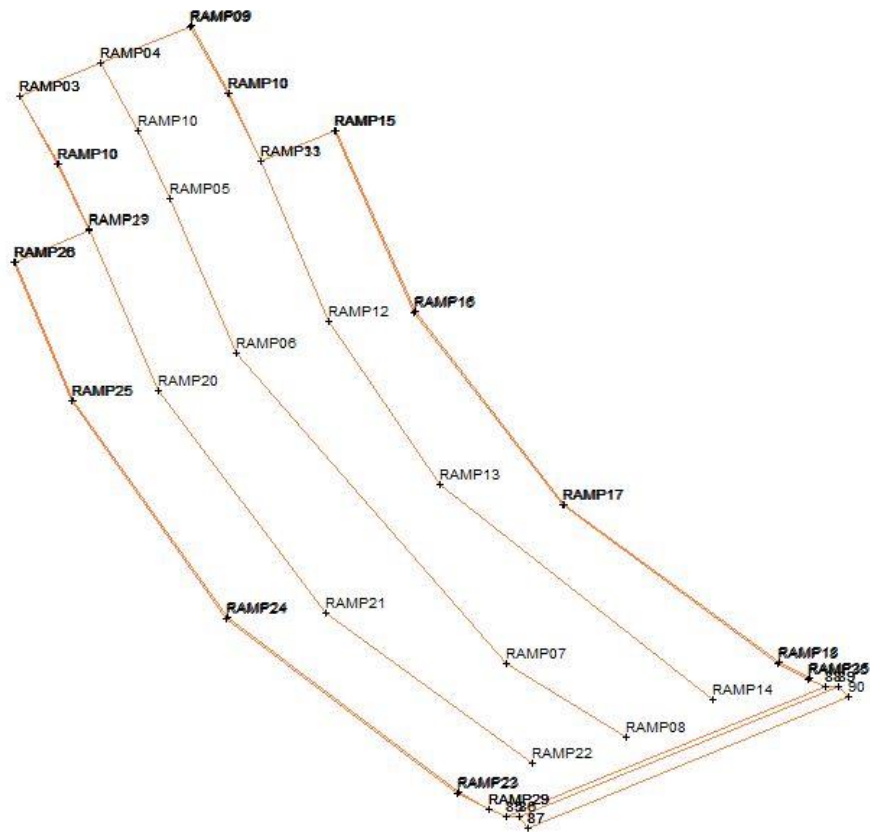
Seuraavaksi otettiin käsittelyyn rakenteen yläreunaa kiertävä pyöreä muoto (kuva 6). Pyöreä muoto tuotti useita haasteita ennen kuin sen sai kuvaamaan edes jonkin verran todellista. Ajatuksena oli piirtää pyöreät muodot käyttäen kaarien editointityökalua. Portaittain nousevat reunukset aiheuttivat kuitenkin päänvaivaa 3D-Win 5.6-version kolmiulotteisessa työpöydässä. Kaarien rakentaminen onnistuu, mutta se tekee tietyssä formaatissa kaariin kommenttirivejä ja korkeudella nolla olevia pisteitä. Tästä syystä 3D-Win-ohjelmisto ei sovellu kaikkein parhaiten kolmiulotteisten rakennelmien mallintamiseen. Pyöreät muodot päätettiin pelkistää neljällä pisteellä, jotta saadaan käsitys yläpinnan muodosta. Mitattujen kartoituspisteiden avulla voitiin suorakulmaisella laskennalla mallintaa lähes koko rakenne. Pelkistetyt pyöreät muodot saatiin hahmoteltua kuvaamaan jota kuinkin todellista. Suorakulmaisessa laskennassa pystytään pisteiden välisiä A- ja B-mittoja sekä korkeuksia muuttamaan, jolloin pisteet saadaan laskettua oikeisiin/haluttuihin kohtiin.





Kuva 6. Pelkistetty pyöreä muoto rakenteen päädyistä.

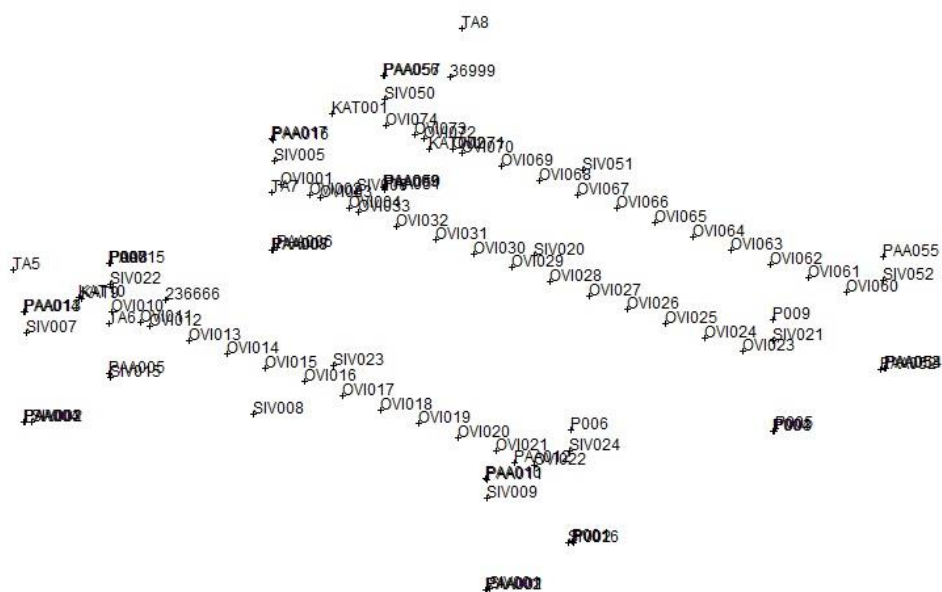
Viimeisessä vaiheessa rakennettiin tuulielementin ramppi (kuva 7). Toisen mittauskeran onnistuttua ramppi saatiin osumaan oikeaan kohtaan. Koska 3D-Winin kolmiulotteisessa työpöydässä kaarien rakentaminen sisälsi epävarmuustekijöitä, päätettiin rampin kaareva muoto mallintaa vetämällä pystysuuntaisia viivoja keskiosasta mitatuiden havaintopisteiden kautta. [17]



Kuva 7. Rampin kaarevaa muotoa kuvataan keskiosasta mitatuiden havaintopisteiden avulla.

### 7.2.2 Huoltorakennukset

Huoltorakennusten mittauksen jälkeen tiedosto tuodaan GT-muodossa takymetristä tietokoneeseen ja nähdään, että mittaukset osuvat halutulle alueelle ja pisteryhmä on mittauksia myötäilevä. Rakennuksien hahmottaminen on suhteessa koekäyttöpaikkaan huomattavasti helpompaa, koska rakennukset sisältävät käytännössä pelkästään suorakulmaisia muotoja. Mittausvaiheessa päätettiin, ettei viivatoimintoa tarvitse käyttää, vaan pelkällä pistenumeroinnilla pystytään helpottamaan mallinnuksen aloitusta. Pistteiden tunnistamisen helpottamiseksi käytettiin muun muassa oville, päädyille, katolle ja sivuille omia kirjainyhdistelmiä, kuten nähdään kuvasta 8.



Kuva 8. Ohjelmistolla avattu huoltorakennusten mittaustiedosto 3D-kuvakulmasta.

Huoltorakennukset saatiin mallinnettua suurimmaksi osaksi vain käyttämällä viivatyökalua. Rakennuksesta oltiin mitattu kaikki tarvittava lukuun ottamatta katon harjan leikkauskohtia sekä kahta päädyn kulmapistettä. Puuttuvat tarkepisteet lisättiin seinien linjoista suorakulmaisella laskennalla. Huoltorakennusten malleihin haluttiin mukaan ajoneuvoille kuuluvat ovensuut. Usein mallin voi pelkistää laatikkomaiseksi ilman oviaukkoja, mutta tähän työhön haluttiin sisältää selkeämpi hahmotelma mitatusta kohteesta. Oviaukot hahmoteltiin malleihin käyttäen suorakulmaista mittausta.

Maastossa mitattujen havaintojen ansiosta uusien pisteiden laskeminen oli helppoa ja vähäistä. Muutaman kulmakohdan ala- ja yläpinnan sijainti poikkesi muutaman sentin, jolloin haluttiin suorakulmaisen laskennan avulla muokata seinälinjat suuremmiksi. Jo muutamien millimetrienkin eroavaisuudet seinälinjoissa korostuvat melko paljon ohjelmiston kolmiulotteisessa työpöydässä. Laskenta-valikossa sijaitsevalla eromitatt työkalulla on hyvä tarkastella ja vertailla pisteiden välisiä etäisyyksiä. [17]

### 7.3 Koodaus

Mittaushavaintojen koodaus on tärkeää tiedonhallinnan kannalta, koska siihen sisällytetään lisätietoja mitatusta kohteesta. Tässä työssä koodilistana käytetään Finavian omia mittauskoodeja, jotka sisältävät luettelot niin maanpäällisille kuin maanalaisille kohteillekin. Koodaus päätettiin suorittaa editointivaiheessa, koska mittauksen aikana ei ollut täyttä varmuutta oikeista koodeista. Koodauksessa tunnuskentät täytetään seuraavien ohjeiden mukaisesti (kuva 9):

T1	<p><b>Pintatunnus, joka ilmoittaa mihin maastomallin pintaan piste kuuluu.</b></p> <p>1 = maanpinta  2 = kalliopinta  .  .  .  7 = puustopinta  8 = tarkistusprofiilit  9 = kartoitustiedot (ei maastomalliin)</p>
T2	<p><b>Taiteviivan numero.</b></p> <p>Taiteviivat numeroidaan juoksevasti ja saman taiteviivan pisteiden tulee olla peräkkäin oikeassa järjestyksessä. Myöskin niille viivamaisille kohteille, jotka eivät tule maastomalliin, annetaan taiteviivan numero.</p> <p>Pisteille, jotka eivät ole taiteviivan pisteitä, annetaan taiteviivan numeroksi nolla.</p>
T3	<p><b>Koodi, jolla ilmoitetaan pisteen laatu.</b></p> <p>Katvealueilla koodiin lisätään luku 1000.  (Esim. epävarma maan- tai kalliopinnan hajapiste 1000  " ojan reuna 1140  " määrittelemätön ilmajohto 6000)</p>

Kuva 9. Ote Finavian maanpäällisten kohteiden maastomalli- ja kartoituskoodiluettelosta.

Mitatut kohteet koodattiin pintatunnuksella (T1) 9 ja koodilla (T3) 200, ”rakennuksen nurkka yleensä (rautalankamalli)”. Taiteviivojen numeroinnit (T2) ja pistenumerointi kulkevat juoksevana. [18]

## 8 Lopputulokset

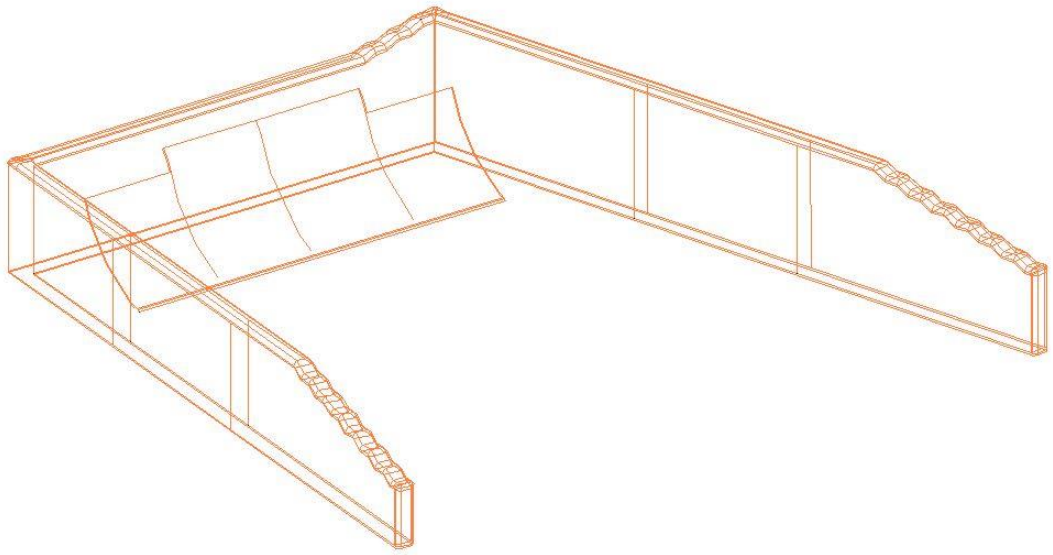
### 8.1 Yleistä

Tarkkuusvaatimukset rakennuksille ja rakenteille olivat siis 0,20 metriä, jonka sisällä arvion mukaan pysyttiin hyvin. Mallien tuli vastata todellisuutta, ja siinäkin onnistuttiin. Mittauksien perusteella sokkelien sijaintitarkkuuden arvioidaan olevan noin 2 cm ja rautalankamallien 2–5 cm, pääasiassa prismattoman mittauksen johdosta.

Kaavoitusmittauksilla kerättyjä tietoja käytetään tyypillisimmin kuntien suunnittelussa sekä kiinteistötoimituksissa. Tässä työssä tehtyjä malleja käytetään Finavian pohjakartoissa sekä osaa rakennuksista ilmailukartoissa. Kartoitustiedot lähetetään myös Vantaan kaupungille. [14]

### 8.2 GRE

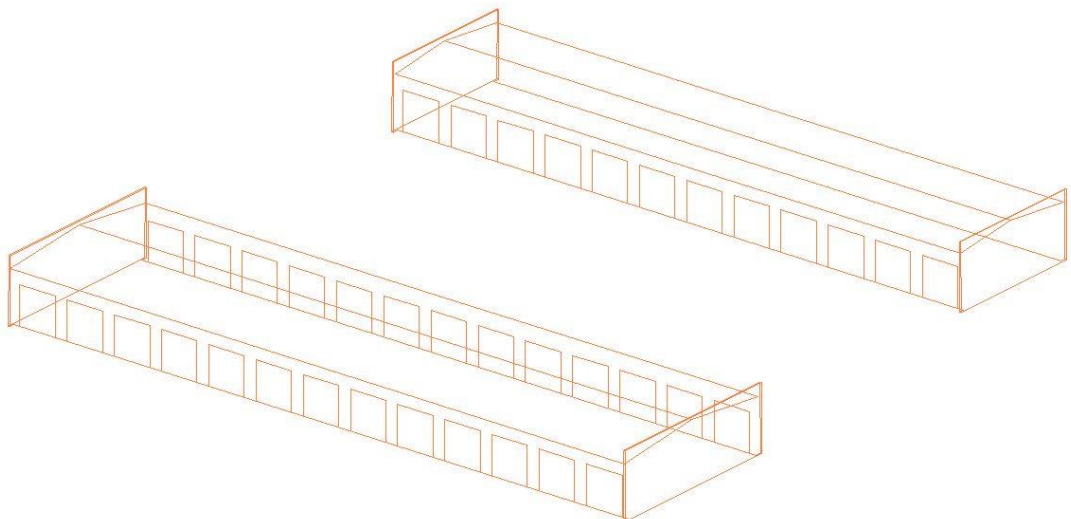
Koekäyttöpaikan malli onnistui hyvin ja suunnitellusti. Mallista näkyy selkeästi rampin kaareva muoto sekä rakenteen yläpuolella ja päädyissä kulkeva pyöreä muoto. Rakenteen mitoiksi saatiin pituutta pyöristettynä 105 metriä, leveyttä suuaukolla 107 metriä, takaosassa 70 metriä ja korkeutta 19 metriä. Kuvassa 10 esitetään koekäyttöpaikan valmis 3D-malli.



Kuva 10. Valmis 3D-malli koekäyttöpaikasta.

### 8.3 Huoltorakennukset

Huoltorakennusten mallit olivat melko yksinkertaisia ilman erityisiä yksityiskohtia, kuten kuvasta 11 huomataan. Mallien rakentaminen onnistui hyvin, ja sijainnit sekä korkeudet saatiin kuvaamaan todellisia rakennuksia.



Kuva 11. Valmiit 3D-mallit huoltorakennuksista.

## 9 Yhteenveto

Insinööriyössä perehdyttiin mittaajan työskentelyyn uusien rakennuksien ja rakenteiden seurantamittauksia tehtäessä sekä selvitettiin 3D-rautalankamallin rakentamista. Tarkoituksena oli kertoa tapoja, joilla rakennuksien seurantamittauksia voi suorittaa, ja se antaa kuvan siitä, mitä työskentelyyn vaaditaan. Työssä mainittujen seikkojen huomioon ottaminen helpottaa mittaus- ja mallinnustyötä ja mahdollisesti säästää mittausryhmää ylimääräisiltä työvaiheilta.

Lentoasema ympäristönä toi työhön omat haasteensa alueella liikkumisen ja oleskelun kannalta. Kohteena etenkin koekäyttöpaikka oli harvinainen. Työn keskeisin osa oli mitata kohteiden sijainti, koko, korkeus ja muoto mahdollisimman selkeästi, jotta mallintaminen onnistuu vaivattomasti. Työntekijän kannattaa kiinnittää huomiota asemapisteen sijoittamiseen, pistenumero- ja viivatoiminnon sekä prisman ja prismattoman mittauksen käyttöön.

Työssä esitettiin mittauksen aikana koettuja tekijöitä, jotka aiheuttivat mittausvirheitä. Mittausvirheiden välttäminen ei aina ole mahdollista, mutta niiden minimoiminen on tärkeää.

Mallinnuksessa kerrottiin hyväksi havaittuja tapoja, joilla kohteen rakentaminen onnistuu sujuvasti. Kerrottiin kaarevien muotojen pelkistämisestä ja huomattiin, että etenkin viivatyökälyä ja suorakulmaista laskentaa kannattaa hyödyntää. Mallien osalta tavoitteet ja vaatimukset täyttyivät.

Insinööriyössä haluttiin kertoa tapoja, joita työntekijä pystyisi soveltamaan omassa kohteessaan ja saamaan vinkkejä, jotta työ tapahtuisi mahdollisimman jouhevasti. Työ antoi myös kuvan siitä, mitä työskentelyyn vaaditaan ja millaista menetelmää Helsinki-Vantaalla käytetään.

## Lähteet

- 1 Yleistä turvallisuusselvityksistä. Verkkodokumentti. Suojelupoliisi. <<http://www.supo.fi/turvallisuusselvitykset/henkiloturvallisuusselvitys>>. Luettu 28.12.2016.
- 2 Turvallisuusselvityslaki (726/2014).
- 3 2016. Verkkodokumentti. Finavia Oyj. <[https://ais.fi/ais/eaip/pdf/aerodromes/EF\\_AD\\_2\\_EFHK\\_EN.pdf](https://ais.fi/ais/eaip/pdf/aerodromes/EF_AD_2_EFHK_EN.pdf)>. Luettu 28.12.2016.
- 4 Finavia Oyj. Osa 1 Lupajärjestelmä, säännöt. 2014.
- 5 Martikainen Toni. 2013. Helsinki-Vantaan lentoaseman valaisinjärjestelmien mitaukset. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 6 Karttakuva. 2017. Vantaan karttapalvelu. Vantaan kaupunki. Otettu 12.1.2017.
- 7 Helsinki-Vantaalle valmistuva uusi koekäyttöpaikka otetaan käyttöön syyskuun alussa. 2016. Verkkodokumentti. Lentoposti.fi. <[http://www.lentoposti.fi/uutiset/helsinki\\_vantaalle\\_valmistuva\\_uusi\\_koekayttopaikka\\_otetaan\\_kayttoon\\_syyskuun\\_alussa](http://www.lentoposti.fi/uutiset/helsinki_vantaalle_valmistuva_uusi_koekayttopaikka_otetaan_kayttoon_syyskuun_alussa)>. Luettu 29.11.2016.
- 8 Helsinki-Vantaan uusi koekäyttöpaikka valmistuu syksyllä 2016. 2015. Verkkodokumentti. Lentoposti.fi. <[http://www.lentoposti.fi/uutiset/helsinki\\_vantaan\\_uusi\\_koekayttopaikka\\_valmistuu\\_syksylla\\_2016](http://www.lentoposti.fi/uutiset/helsinki_vantaan_uusi_koekayttopaikka_valmistuu_syksylla_2016)>. Luettu 29.11.2016.
- 9 Lentokoneiden koekäytön melunvaimennus on huippuluokkaa. 2015. Verkkodokumentti. Finavia Oyj. <<http://www.finavia.fi/fi/tiedottaminen/ajankohtaista/2015/lentokoneiden-koekayton-melunvaimennus-on-huippuluokkaa/>>. Luettu 19.12.2016.
- 10 Hyvärinen Antti. 2009. Lentokoneiden koekäyttöpaikan spesifikaatio. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 11 Lentokoneiden melunhallintaa ilmassa ja maassa. 2015. Verkkodokumentti. Finavia Oyj. <<http://vuosikertomus.finavia.fi/fi/2015/vastuullisuus/ymparisto/lentokonemelunhallinta/>>. Luettu 19.12.2016.
- 12 Kaavoitusmittausohje. 2003. Maanmittauslaitos.



- 13 Asemakaavan pohjakartan laatiminen. 2014. JHS 185. Liite 4. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta.
- 14 Hämäläinen Markku. 2017. Mittaustyönjohtaja. Tripa Oy. Sähköpostiviesti. 24.1.2017.
- 15 Mulari Kalle. 2013. Sillankorjausurakoiden mittaukset. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 16 Laurila Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen AMK.
- 17 3D-Win ohje versio 5.6. 3D-system Oy.
- 18 Finavian mittauskoodit. 2016. Finavia Oyj.
- 19 Investoinnit vesistökuormituksen vähentämiseksi jatkuivat. 2015. Verkkodokumentti. Finavia Oyj.  
<<http://vuosikertomus.finavia.fi/fi/2015/vastuullisuus/ymparisto/ymparistoinvestoinnit/>>. Luettu 19.12.2016.
- 20 Ekman Veikko. 2010. Rakennusmittaukset, niiden laatu ja dokumentointi. Opin- näytetyö. Saimaan Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

