

MITTAUSVIRHEIDEN HAVAITSEMINEN JA KONTROLLOINTI MAASTOMITTAUKSESSA

Sanna Ruohonen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015
Rakennustekniikka
Ylempi AMK-tutkinto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Ylempi AMK-tutkinto

RUOHONEN SANNA:

Mittausvirheiden havaitseminen ja kontrollointi maastomittauksessa

Opinnäytetyö 75 sivua, joista liitteitä 15 sivua
Huhtikuu 2015

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Geopalvelu Oy:n mittausosaston suhtautuminen mittausvirheisiin maastomittauksessa. Geopalvelu Oy on konsulttitoimisto, jonka toimialoja ovat mittaus- ja kartoitustekniikka ja toimialueena on koko Suomi. Työn tavoitteena oli laatia maastomittauksen menettelyohje laatukäsikirjan osaksi. Menettelyohje on toimitettu työn tilaajalle.

Tutkimustyö suoritettiin haastatteleamalla mittaustyönjohtajia ja apumiehiä. Tutkimusryhmän lisäksi haastateltiin kahta vertailuryhmää ja myös mittauslaitteistojen maahantuojuille lähetettiin kyselykaavake. Haastattelujen ja kyselyn tavoitteena oli selvittää, miten mittausvirheitä huomataan, mistä ne johtuvat ja voitaisiinko nykykäytäntöjä muuttaa.

Tutkimuksen tuloksissa korostui se, että nyky menetelmissä mittaajan on vaikea seurata mittausteknistä laskentaa, sillä nykyajan laitteistot ovat hyvin modernisoituja, ja ne tuottavat suoria tuloksia. Laitteistot perustuvat automaatiotekniikkaan ja tietokoneohjelmistoihin. Yleisimmät mittausmenetelmät olivat takymetrimittaus ja satelliittipaikannus. Oman työn kontrolloinnissa oli suuria vaihteluita tutkimusryhmien välillä. Tutkimusryhmissä toivottiin nykyistä enemmän ylläpitokoulutusta työn ohessa ja samanlaisia kalustoja koko organisaatiossa. Laitteiden maahantuojuat eivät osallistuneet tutkimukseen toivottulla tavalla.

Tutkimuksen perusteella maastomittauksessa syntyviä virheitä voidaan hallita hyvin. Mittaajilta vaaditaan huolellisuutta ja ammattitaitoa työn toteutukseen. Maastomittauksen virheiden korjaaminen ei ole kuitenkaan rakennusalalla ongelma, koska mittauksissa syntyy virheisiin suhtaudutaan avoimesti ja vakavasti.

Asiasanat: maastomittaus, mittaustarkkuus, satelliittipaikannus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Construction Engineering
Master's Degree

SANNA RUOHONEN:

Detection of Measurement Errors and Control of Field Measurement
Bachelor's thesis 75 pages, appendices 15 pages
April 2015

The goal of this thesis was to investigate the attitudes of Geopalvelu Ltd's Survey Division towards measurement errors in the field measurements. Geopalvelu Ltd. is a consulting company working in the fields of measurement and surveying. The company operates in Finland. The aim was to create a field measurement procedure for their quality manual. This part of the quality manual has been submitted to the subscriber of the thesis.

The research was conducted by interviewing the foremen and assistants of surveying teams. Two external reference groups were also interviewed to compare the results. In addition, a questionnaire was sent to the importers of the land surveying equipment. The interviews and the questionnaire were conducted to find out how measurement errors are discovered, how they arise and whether current practices should be changed.

Results of the study highlighted the fact that with the modern measurement land surveying methods, it is difficult for the surveying team to monitor the computing process. The modern surveying equipment is based on computer software and hardware and its functions are highly automated. The most common methods of measurement were Total Station (tachymeter) surveying and satellite positioning. There were large variations between the research groups in the control of their own work. Research groups requested for more update training as a part of their job, and that similar equipment would be used in the whole organization. The equipment importers did not participate in the study as desired.

The thesis shows that the errors occurring in the field measurements can be managed well. The measurers are required to be conscientious and have professional skills when conducting the work. Correction of field measurement errors is not a problem in the construction industry. Measurement errors are dealt with in an open and serious manner.

Key words: satellite navigation, field measurement, measurement accuracy

SISÄLLYS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 8 |
| 1.1. | Työn taustaa..... | 8 |
| 1.2. | Geopalvelu Oy | 9 |
| 1.3. | Kehitystehtävän tavoitteet | 10 |
| 1.4. | Opinnäytetyön sisältö ja rajaus | 11 |
| 2 | MITTAUSTEKNINEN LUOKITTELU | 12 |
| 2.1. | Maanmittaustekniikka ja käytännön geodesia | 12 |
| 2.2. | Maastomittauksen osa-alueet..... | 13 |
| 2.3. | Mittaustekninen laskenta..... | 14 |
| 3 | YLEISIMMÄT MITTAUSMENETELMÄT JA -KOJEET..... | 18 |
| 3.1. | Maastomittaus menetelmät..... | 18 |
| 3.2. | Takymetrimittaus | 19 |
| 3.3. | Satelliittipaikannus..... | 20 |
| 3.3.1 | RTK-mittaus..... | 22 |
| 3.4. | Vaaitus..... | 24 |
| 3.5. | Laserkeilaus..... | 24 |
| 4 | MAASTOMITTAUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT | 26 |
| 4.1. | Ympäristö ja mittaajan ammattitaito..... | 26 |
| 4.2. | Lähtöaineistot..... | 26 |
| 4.3. | Laitevirheet ja häiriötekijät..... | 27 |
| 5 | KOORDINAATISTOT JA KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄT | 28 |
| 5.1. | Koordinaattijärjestelmät ja niiden käyttö | 28 |
| 5.2. | Tasokoordinaatit ja korkeusjärjestelmät..... | 28 |
| 5.3. | Suomen nykyiset koordinaattijärjestelmät | 30 |
| 6 | MITTAUSVIRHEET JA NIIDEN AIHEUTTAJAT..... | 31 |
| 6.1. | Mittausvirheiden luokittelu..... | 31 |
| 6.2. | Mittaustyön häiriötekijät | 31 |
| 6.2.1 | Mittaustarkkuus | 32 |
| 6.2.2 | Mittaustyöt rakennushankkeessa | 34 |
| 6.2.3 | Mittausvirheen havaitseminen ja sen vaikutukset | 36 |
| 7 | MITTAAJAT JA LAITEMAAHANTUOJAT | 37 |
| 7.1. | Mittaajien haastattelu | 37 |
| 7.1.1 | Mittaajien koulutus | 38 |
| 7.2. | Tutkimusryhmän haastattelut..... | 38 |
| 7.2.1 | Tutkimusryhmän mittausvirheet ja niiden välttäminen | 39 |
| 7.2.2 | Virheiden havaitseminen ja virheiden syyt | 41 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7.2.3 | Mittaajan keinot ja mahdollisuudet | 43 |
| 7.3. | Vertailuryhmä A | 45 |
| 7.3.1 | Vertailuryhmä A:n mittausvirheet ja niiden estäminen | 46 |
| 7.4. | Vertailuryhmä B..... | 49 |
| 7.4.1 | Vertailuryhmä B:n mittausvirheet ja niiden estäminen | 50 |
| 7.5. | LAITEMAAHANTUOJAT..... | 52 |
| 7.6. | RYHMIEN VERTAILU JA ONGELMAKOHDAT..... | 53 |
| 7.7. | YRITYKSEN LAATUTARKASTELU..... | 56 |
| 7.8. | OHJEEN KÄYTTÖÖNOTTO JA TOIMENPIDE-EHDOTUKSET | 57 |
| 8 | POHDINTA | 59 |
| | LIITTEET..... | 61 |
| | Liite 1. Mittaajien haastattelu lomake | 61 |
| | Liite 2. Laitemaahantuojaan kyselykaavake..... | 64 |
| | Liite 3: Kaavamittausohje maanmittauslaitos MML/1/012/2003 | 67 |
| | Liite 4: Geopalvelu Oy Kartoitus ja merkintämittaust yleisohje | 72 |

LYHENTEET JA TERMIT

| | |
|----------------------|--|
| DGNSS | Differentiaalinen GPS-paikannusjärjestelmä, jonka signaalia korjataan kiinteiden maatumiasemien avulla. Mittauksessa on mukana useita eri satelliittijärjestelmien satelliitteja |
| GPS | GPS (Global Positioning System) Yhdysvaltain puolustusministeriön ylläpitämä maailmanlaajuinen paikannusjärjestelmä. |
| Takymetri | Mittauskoje, joka mittaa vaakasuuntaa, pystykulmia ja etäisyyksiä. |
| Robottitakymetri | Mittauskoje, joka mittaa vaakasuuntaa, pystykulmia ja etäisyyksiä automaatiojärjestelmän avulla. |
| Kulmaprisma | Kulmaprisma on pieni prismanpala, jolla voidaan määrittää suoria kulmia maastossa. |
| Koordinaatit | Koordinaatit ovat lukuarvoja, joiden avulla voidaan määrittää sijainti. |
| ETRS89 | European Terrestrial Reference System 1989. ETRS89 on maailmanlaajuinen kolmiulotteinen koordinaattijärjestelmä. ETRS on yhtenäinen WGS84 -järjestelmän kanssa. |
| EUREF-FIN | EUREF-FIN on Suomessa käytettävä realisaatio ETRS89-järjestelmästä. |
| ETRS-GK _n | Suomessa ETRS89-järjestelmän kanssa käytettävä Gauss-Krugerin projektioon perustuva suorakulmainen karttakoordinaatisto. n kertoo projektion keskimeridiaanin. |
| WGS84 | World Geodetic system 1984 on GPS -mittauksessa käytettävä koordinaattijärjestelmä. |

| | |
|--------------------------|---|
| Vaaituskoje | Vaaituskoje on korkeuserojen mittaukseen tarkoitettu mitauskoje. Mittaamiseen tarvitaan koje ja mittalatta, josta luetaan korkeuslukema. |
| Digitaalinen vaaituskoje | Digitaalinen vaaituskoje tallentaa mittaustuloksen suoraan muistikortille. |
| Laserkeilain | Laserkeilain on nopea mitauskoje, joka mittaa lasersäteen avulla etäisyyksiä. Mittaustuloksena syntyy kolmiulotteinen pistepilvi. |
| Satelliittipaikannin | Satelliittipaikannin on mitauskoje, jonka toiminta perustuu satelliittien etäisyyksien määrittämiseen. |
| Mittaustarkkuus | Mittaustarkkuus on virheiden arvioitu suuruus. Mittaustarkkuus määrittää sopivan työtavan. |
| Virtuaalinen tukiasema | Kuvitteellinen tukiasema verkko-RTK-mittauksessa. Jokaiselle vastaanottimelle lasketaan oma tukiasemansa, jonka avulla lasketaan korjaustietoa. |
| RTK-Mittaus | Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus (Real Time Kinematic) Mittaus-työssä käytetään tukiasemaa, joka lähettää paikantavalle vastaanottimelle vaihevainnot. Paikantavavastaanotin laskee reaaliajassa mittauksen suuret. |
| PDOP | PDOP (Position Dilution of Precision) luku ilmaisee satelliittipaikannuksen epävarmuutta. |
| VRS | VRS (Virtual reference station) virtuaalitulokiasema |
| NAP | (Normaal Amsterdamin Peili) on Länsieurooppalaisten korkeusjärjestelmien lähtötaso. Se on Amsterdamissa vuonna 1684 vallinneen keskimääräisen tulvavuoksen huippu. |

1 JOHDANTO

1.1. Työn taustaa

Mittaustekniikalla on pitkä historia, joka alkoi paikanmääryksistä merellä. Aluksi määryksissä hyödynnettiin taivaankappaleita, kelloja ja kompassseja. Nykyään käytössä on satelliittijärjestelmiä, jotka laskevat koordinaattitiedot automaattisesti. Maastomittauksessa käytettävien tekniikoiden kehittyminen viime vuosikymmenen aikana on muuttanut radikaalisti työntoteutusta.

Työn muuttumisen ja automatisoitumisen myötä on mittauksien tarkkuudelle asetettu uudet rajat ja mittaustyölle uudet toteutusmenetelmät. Mittaustyön kontrollointi ja hallitseminen vaatii työnsuorittajalta monipuolista osaamista ja ammattitaitoa. Laadukkaan mitaustuloksen aikaansaaminen vaatii mittaajalta teknistä osaamista sekä mitausteknisessä laskennassa että laitetekniikassa.

Maastomittauksella voidaan tuottaa eritasoisia mitaustuloksia. Nämä mitaustulokset eivät koskaan ole absoluuttisia totuuksia, vaan mitaustulokseen liittyy aina useita virhelähteitä. Niiden merkityksen ymmärtäminen on tärkeää, jotta lopputuloksesta saadaan haluttu ja työn kannalta tarkoituksenmukainen. Mittauksien laatutason säilyttämisen ja varmistamisen takaamiseksi on välttämätöntä laatia menettelyohje osaksi laatukäsikirjaa.

Mitaustuloksien tuottamisessa käytettävien normien ja tapojen tunnistamisen avulla, voidaan parantaa ja kehittää organisaation omia sisäisiä käytäntöjä. Kalustojen nopean kehityksen seurauksena mitaushenkilöiden osaamisen ylläpitäminen on saanut uusia piirteitä. Mittaajien tulee pystyä hahmottamaan työn erivaiheet ja tapahtumat automaatiosta huolimatta. Mittauskäytännöt ovat vaihtuneet, kahden henkilön mitausryhmä on pääasiassa yhden hengen ja robottimitauskojeen ryhmäksi.

1.2. Geopalvelu Oy

Geopalvelu Oy on 1994 perustettu konsulttitoimisto, jonka toimialoihin kuuluvat mittaus- ja kartoituspalvelut. Yrityksen toimialueena on koko Suomi. Yrityksen toimipisteet on esitetty kuvassa 1. Yrityksen päätoimipaikka on Ylöjärvellä.

Toiminnan päätehtäviin kuuluu mittausaineistojen tuottaminen takymetri- ja satelliittipainauksella sekä laserkeilauksella. Mittaustuloksia käytetään sekä yrityksen sisäisissä toiminnoissa että niitä tuotetaan ulkopuolisille toimijoille jatkokäsiteltäväksi. Aineistojen tuottamisessa on mukana useita mittaajia ja erilaisia mittauskalustoja.



KUVA1. Geopalvelu Oy:n toimipisteet

1.3. Kehitystehtävän tavoitteet

Tämän kehitystehtävän tarkoituksena oli kehittää organisaation sisäistä toimintaa selvittämällä nykyiset toimintastrategiat ja työntekijöiden näkemykset toiminnasta nykytilanteessa.

Tavoitteena oli myös herättää mittausorganisaatiot huomioimaan ja lisäämään oman työn kontrollointia, jotta työn laatutasoa voidaan kehittää. Lisäksi haluttiin selvittää organisaatioiden mahdolliset ongelmakohdat ja keinot niiden korjaamiseen.

Tutkimuksen lopputuotteena oli tarkoitus laatia menettelyohje laatukäsikirjaan. Ohjeesta pyrittiin tekemään selkeä ja helppokäyttöinen. Ohjeeseen kirjattiin vain päänormit, joiden avulla voidaan estää mittausvirheitä ja pienentää mittausvirheiden todennäköisyyttä. Kehitystehtävän päävaiheet on esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1. Kehitystehtävän päävaiheet

1.4. Opinnäytetyön sisältö ja rajaus

Tässä työssä tarkastellaan mittaustyötä mittaajan näkökulmasta, jolloin mittaustyön vaiheita tarkastellaan käytännön ja kokemuksen kautta. Työssä käsitellään vain käytännön geodesiaa ja siihen liittyviä mittausmenetelmiä.

Työ koostuu kahdeksasta eri pääluvusta, (kuvio 2). Luvussa yksi esitellään tutkimuksen periaatteet ja rajaus. Luvussa kaksi kuvataan, mitä mittaustekniikan osa-aluetta työssä käsitellään. Luvussa kolme esitellään yleisimmät maastomittausmenetelmät ja mittauslaitteet. Luvussa neljä käsitellään mittauksiin vaikuttavia tekijöitä. Luvussa viisi tarkastellaan erilaisia käytössä olevia koordinaattijärjestelmiä. Luvussa kuusi tarkastellaan mittausvirheitä ja mittaustarkkuutta. Luvussa seitsemän käydään läpi haastattelututkimusten tulokset. Luvussa kahdeksan esitetään kehitystehtävän johtopäätökset.



KUVIO 2. Opinnäytetyön sisältö

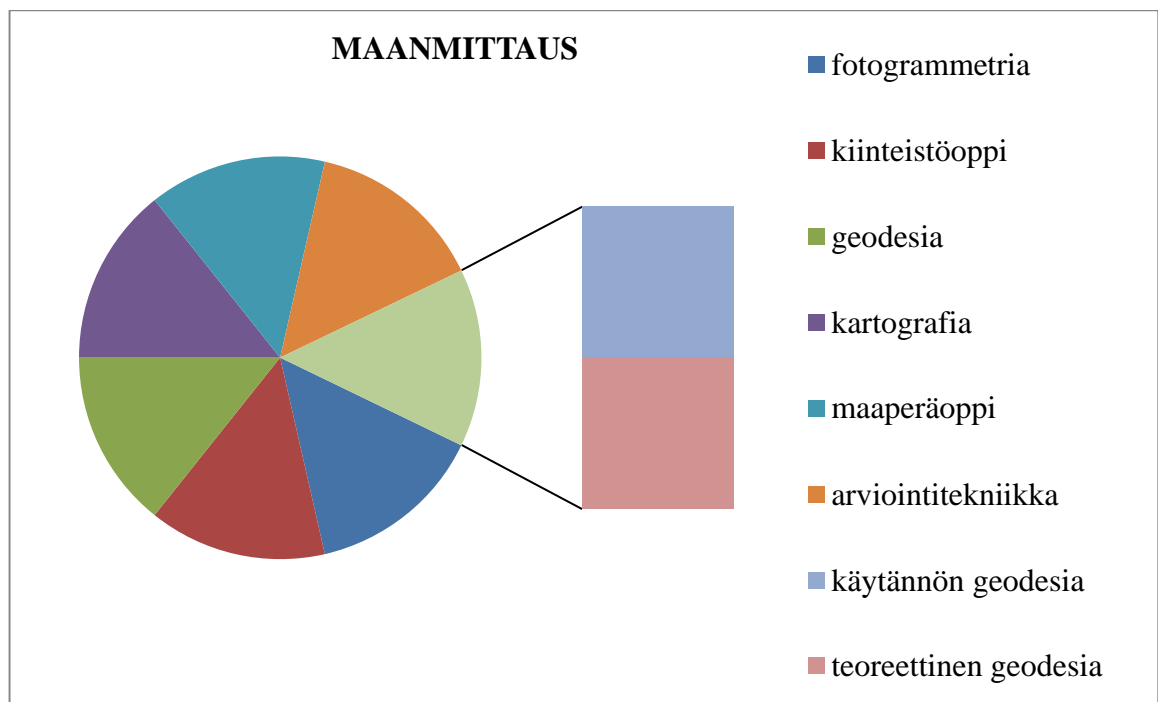
2 MITTAUSTEKNINEN LUOKITTELU

2.1. Maanmittaustekniikka ja käytännön geodesia

Maanmittaustekniikka koostuu useasta eri osa-alueesta (kuvio 3): geodesia, kiinteistöoppi, fotogrammetria, kartografia, maaperäoppi ja arviointitekniikka. Geodesia jakautuu kahteen osa-alueeseen, joita ovat teoreettinen ja käytännön geodesia. Tässä työssä tarkastellaan käytännön geodesiaa, joka sisältää maastomittauksen ja mitaustekniikan.

(Rantanen 2001, 6–7)

Mittaus- ja kartoitustekniikka kuvaavat niitä geodesian sovelluksia, joita käytetään kartoituksessa ja maastomittauksessa sekä rakennetun ympäristön kartanvalmistuksessa, maankäytön suunnittelussa ja rakentamisessa (Laurila 2012,1).



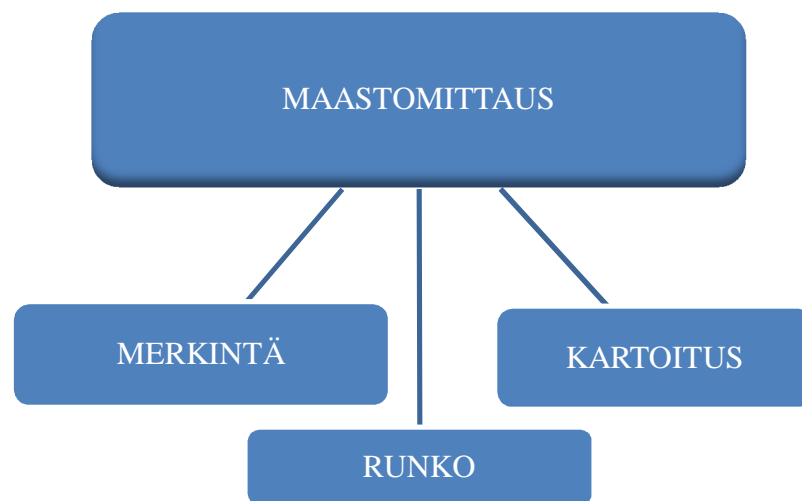
KUVIO 3. Maanmittauksen osa-alueet (Rantanen 2001, 6).

Maanmittaustekniikka on kehittynyt viime vuosikymmenten aikana. Vanhoista menetelmistä ja laitteista on siirrytty nykyaikaisiin elektronisiin ja tietoteknisiin mittauslaitteisiin ja -järjestelmiin. Nykyaikainen maanmittaus on globaalia ja tietoteknistä toimintaa. Ympäri maailmaa tehdään erilaisia mittauksia samoilla menetelmillä ja koordinaateilla.

(Laurila 2012, 3)

2.2. Maastomittauksen osa-alueet

Käytännön geodesiaan kuuluvan maastomittauksen osa-alueet ovat runkomittaus, kartoitusmittaus ja merkintämittaus, (kaavio 1). Runkomittauksen avulla rakennetaan erilaisia pisteverkkoja. Runkomittauksella mitataan taso- ja korkeuskiintopisteitä, joiden avulla voidaan muodostaa pisteverkkoja joko valtakunnallisesti tai alueellisesti. Kartoitusmittauksessa tehdään olemassa olevasta alueesta kartta halutussa tarkkuudessa. Merkintämittauksessa merkitään maastoon erilaisia asioita kuten kairapisteitä, rakennusten paikkoja, tonttien rajoja ja tielinjoja. (Rantanen 2001, 6–7)



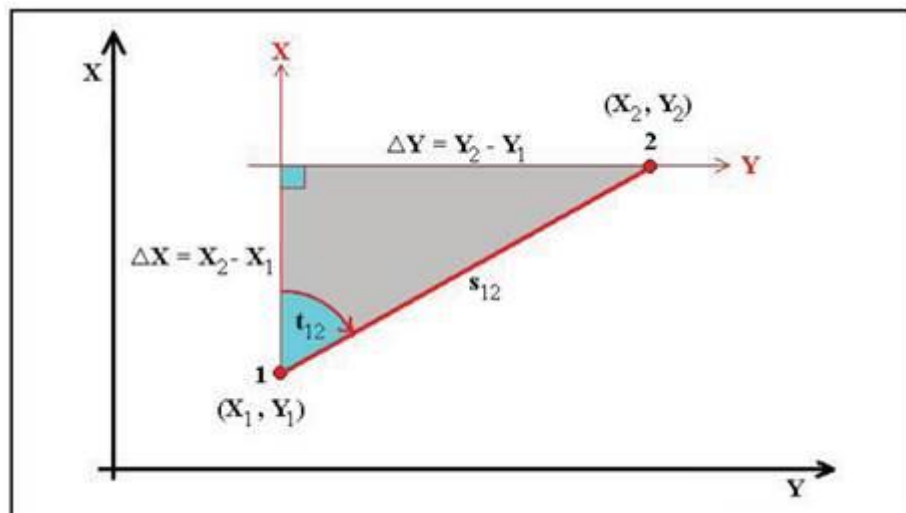
KAAVIO 1. Maastomittauksen osa-alueet

Useimmat merkintä- ja kartoitusmittaukset perustuvat runkomittauksella tehtyyn pisteverkkoon. Ilman pisteverkkoa ei saman alueen mittauksia saada sidottua toisiinsa tarkasti. Poikkeuksen tekee satelliittipaikannus, joka hyödyntää satelliittiyhteyttä määrittääkseen pisteen koordinaatti- ja korkeustiedot. Maastomittauksista voidaan tehdä monella eri kalustolla. Kartoitustöissä käytettäviä kalustoja ovat takymetrit, satelliittipaikannin kalustot, vaaituskojeet ja laserkeilaimet. Kalustojen toiminta periaatteita on esitelty luvussa 3. Mittauskalusto valitaan aina kohteen ja halutun mittaustarkkuuden mukaan. Kappaleessa 6.2.1 on esitelty mittaustarkkuuden perusteet.

2.3. Mittaustekninen laskenta

Maastomittauksiin liittyvät laskennat suoritetaan nykyään ohjelmistojen ja ohjelmoitavien kalustojen avulla. Silti funktiolaskemisen merkitys ei ole vähentynyt. Valmius suorittaa matemaattisia laskentoja laskimella on tärkeää maastomittauksessa. Ilman peruslaskujen hallintaa ei kartoitustehtäviä voida suorittaa laadukkaasti.

Tässä työssä käydään läpi maastomittauksen trigonometriset pää- ja käänteistehtävät. Geodeettisen käänteistehtävän avulla voidaan ratkaista lähtösivu eli suuntakulma ja sivun pituus, S_{12} . Koordinaatit ratkaistaan geodeettisen päätehtävän avulla.



KUVA 2. Geodeettinen pää- ja käänteistehtävä voidaan ratkaista suorakulmaisen kolmion avulla (Laurila 2012, 50)

Suorakulmisen kolmion trigonometriset kaavat:

$$\cos t_{12} = \frac{X_2 - X_1}{S_{12}}$$

X_1 = lähtöpisteen X-koordinaatti

X_2 = loppu X-pisteenkoordinaatti

S_{12} = pisteiden välimatka

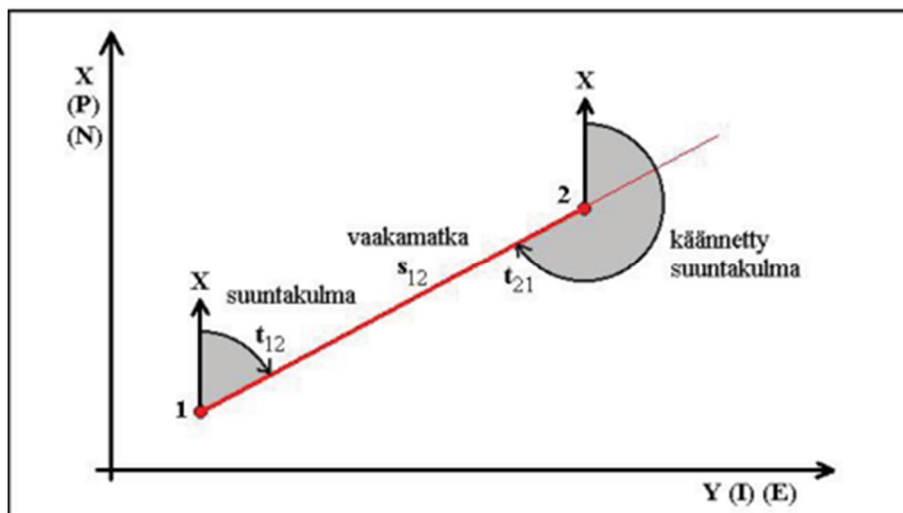
t_{12} = suuntakulma

$$\sin t_{12} = \frac{Y_2 - Y_1}{S_{12}}$$

Y_1 = lähtöpisteen Y-koordinaatti

Y_2 = loppu Y-pisteenkoordinaatti

$$\tan t_{12} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$



KUVA 3. Geodeettisen laskennassa käytetään vaakamatkaa, suuntakulmaa ja käännettä suuntakulmaa (Laurila 2012, 48).

Geodeettinen päättehtävä:

$$X_2 = X_1 + \cos t_{12}$$

$$Y_2 = Y_1 + \sin t_{12}$$

Tangentin käänteisfunktion hyödyntäminen:

$$t_{12} = \tan^{-1} \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

Pisteiden välimatka Pythagoraan lauseella:

$$S_{12} = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$$

tai

$$S_{12} = \frac{X_2 - X_1}{\cos t_{12}} \quad S_{12} = \frac{Y_2 - Y_1}{\sin t_{12}}$$

t_{12} = pisteiden välinen suuntakulma (gooneina)

Maanmittausala on erikoisala, jossa tasokulman yksikkönä käytetään goonia (uusaste). Tästä johtuen geodeettisessa laskennassa joudutaan tekemään kulmajärjestelmien välisiä muunnoksia, joko täyteen kulmaan 360° tai oikokulmaan 180° . Oikokulma $180^\circ=200$ goonia. (Laurila 2012, 30–31)

Suuntakulman laskentaan vaikuttaa tangentin käänteisfunktion määrittelyalue (-100 gon, $+100$ gon). Alue poikkeaa suuntakulman määrittelyalueesta, joka on $0-400$ gon. Ongelman aiheuttaa käänteistangenttifunktion jaksollisuus. (Laurila 2012, 51)

Koordinaatisto on jaettu neljään osaan, joiden avulla suuntakulmien korjaus voidaan tehdä.

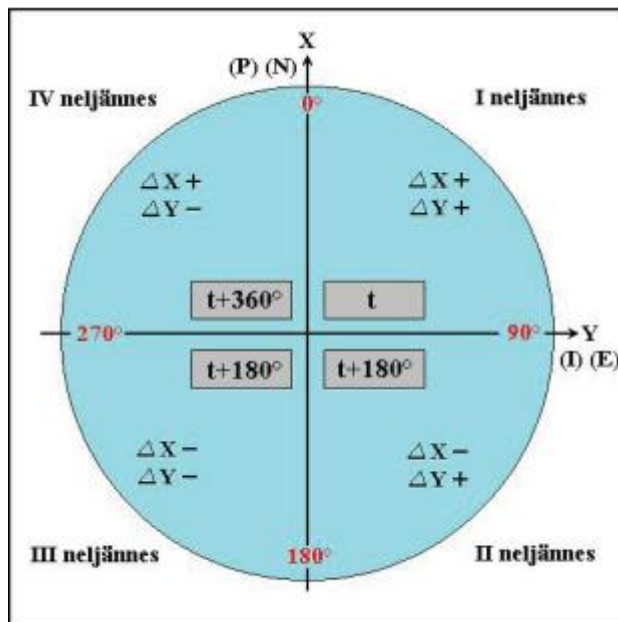
Korjaukset:

I neljänneksen kulmia ei tarvitse korjata

II ja III neljänneksen korjaus on 200 gon tai 180°

IV neljänneksen korjaus on 400 gon tai 360°

Suuntakulman korjaus voidaan päätellä koordinaattien merkkien avulla. Kuva 4 esitetään eri neljänneksillä tapahtuvat korjaukset (Laurila 2012, 51–52).



KUVA 4. Koordinaatiston neljännekset ja suuntakulmien korjaukset (Laurila 2012, 52).

3 YLEISIMMÄT MITTAUSMENETELMÄT JA -KOJEET

3.1. Maastomittaus menetelmät

Maastomittauksen päätehtävänä on selvittää kohteiden taso- ja korkeussijainti. Geodeettisten mittausmenetelmien avulla saadaan selvitettyä halutut suureet. Suorassa mittausmenetelmässä lopputulos on yhtä kuin havainto ja välillisessä menetelmässä lopputulos saadaan laskemalla. (Laurila 2012, 14)

Mittausmenetelmät voidaan jakaa kahteen ryhmään: tasosijaintia määritteleviin ja korkeussijaintia määritteleviin mittauksiin. Jaottelun takana on useita syitä, joista tärkein on maan muodon matemaattinen kuvaaminen. Korkeuksien vertailutasoina ovat fyysikaalinen pinta ja painovoimanarvopinta eli geoidi. Korkeuksien ja koordinaattien vertailulla on erilaiset lähtökohdat. Jakautumiseen on vaikuttanut myös kojeiden rakenne ja mittauskehityshistoria. Nykyään jaottelua on vaikea havaita, koska kojeet esittävät lopputulokset suoraan. Kun nykyiset menetelmät tarkastellaan laskennan näkökulmasta, on erittely välttämätöntä ja tarkoituksenmukaista. (Laurila 2012, 15)

Geodeettisissa mittauksissa mitataan geometrian perusasioita. Mitattaviin ominaisuuksiin kuuluvat pituus ja kulma, suunta, tasosijainti, korkeusero, korkeussijainti, vaakasuoruus, pystysuoruus, kohtisuoruus, yhdensuuntaisuus, kappaleen ja pinnan muoto, pinta-ala ja tilavuus. (Laurila 2012,15)

Tärkeimmät käytössä olevat mittauskojeet ovat takymetri, satelliittipaikannin, vaaituskoje ja erilaiset laserkeilaimet. Takymetreillä ja satelliittipaikantimilla tehdään pääosa kaikista maasto- ja työmaamittauksista. Vaaituskojeen käyttö on pysynyt vuosisatoja samanlaisena. Tärkein syy sen käyttöön on hyvä korkeustarkkuus. Uusimpana menetelmänä on tullut laserkeilaus, joka on nopea ja automaattinen mittausmenetelmä. (Laurila 2012,16)

3.2. Takymetrimittaus

Takymetrit ovat kulma- ja etäisyysmittauskojeita, jotka koostuvat teodoliitin ja elektro-optisen etäisyysmittarin yhdistelmästä. Takymetrit ovat yleistyneet 1980-luvun jälkeen. Kojeet ovat viime vuosien aikana kehittyneet automatisoiduiksi mittausroboteiksi.

Nykyaikaisilla takymetreillä voidaan mitata kulmia ja etäisyyksiä. Ne ovat monipuolisia mittauskojeita, joissa uusimpina sovelluksina on myös valokuvaus- ja laserkeilausominaisuudet. Takymetrien kehitys on johtanut siihen, että mittausryhmä koostuu pääasiassa yhdestä henkilöstä, koska automatisoitu laite ei vaadi jatkuvaa ohjausta. Kuva 5 esittää robottitakymetrimittausa. (Laurila 2012, 237)



KUVA 5. Robottitakymetrimittaus (Geopalvelu Oy)

3.3. Satelliittipaikannus

Satelliittipaikannuksen avulla kohteiden sijainti voidaan määrittää muutaman senttimetrin tarkkuudella. Mittaukset perustuivat aikaisemmin tähtitieteeseen, jonka avulla määritettiin tähtien suuntaa havaintohetken ajanmittaukseen suhteutettuna. Nämä mittaukset olivat hitaita ja sääolosuhteista riippuvaisia. Satelliittimittauksesta käytetään usein termiä GPS-mittaus, koska se on tunnetuimman satelliittipaikannusjärjestelmän nimi.

Maailmassa on käytössä useita eri satelliittijärjestelmiä. GPS-paikannusjärjestelmä (Global Positioning System) on amerikkalainen reaaliaikainen paikannusjärjestelmä, joka mahdollistaa paikantamisen kaikissa sääolosuhteissa ja paikoissa. Venäläinen Glonass-järjestelmä on ollut käytössä 1990-luvulta alkaen. Euroopan unionin järjestelmä on Galileo, mutta sen käyttö ei ole vielä täysin toteutunut. Usealla maalla on vastaavanlaisia hankkeita käynnissä. (Laurila 2012, 279–281, 285)

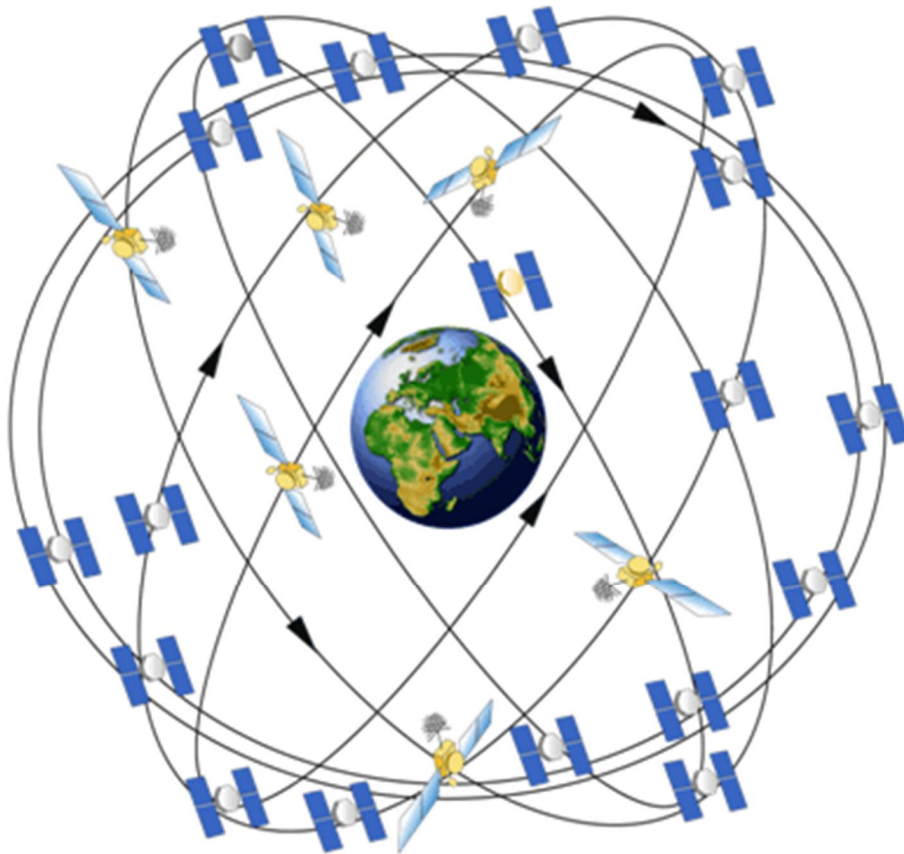
Eri maiden ylläpitämien paikannusjärjestelmien muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan GNSS-järjestelmäksi (Global Navigation Satellite System). Sen tarkoituksena on mahdollistaa eri järjestelmien yhteiskäyttö, ja siihen kuuluvat kaikki paikannuspalveluja tarjoavat toimijat ja järjestelmät. Kokonaisuus muodostaa paikannuksen infrastruktuurin, johon kuuluvat laitevalmistajat, paikannussatelliitit, satelliittijärjestelmät, tukiasemaverkot, korjauspalvelut, tietoliikennejärjestelmät sekä globaalit koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. (Laurila 2012, 289)

Satelliittipaikannuksessa käytetään vähintään 24 satelliittia, jotka kiertävät maata kuu-della eri ratatasolla. Kuvassa 6 on esitetty satelliittien kiertoratoja maapallon ympärillä. Satelliitit lähettävät jatkuvasti ratatietoa, kellotietoa ja tietoa järjestelmän toimivuudesta. Tieto kulkee kahdella suurtaajuusalueella kantoaaltoon moduloituna. Näitä taajuuskais-toja kutsutaan L1- ja L2 taajuuksiksi. Tiedot on koodattu eri koodeilla kantoaaltoon ko-hinaksi. (Rantanen 2003, 271–272)

Maassa vastaanottimet vastaanottavat satelliittisignaalin. Satelliitin lähettämän ja vastaanottimen vastaanottaman signaalien aikaero selvitetään. Signaalin tiedetään etenevän valon nopeudella, joten satelliitin ja vastaanottimen etäisyys pystytään määrittämään kaavalla:

Etäisyys satelliittiin = signaalin kulku-aika * signaalin nopeus

Etäisyys on saatava selvitettyä vähintään neljästä satelliitista, jotta vastaanottimen sijainti maapallolla voidaan ratkaista suorien leikkauspisteenä. Satelliittien määrän kasvaessa myös tuloksen tarkkuus paranee. (Rantanen 2003, 271–272)



KUVA 6. Satelliittien kiertoratoja (Geodeettinen laitos)

Satelliittipaikannusta voidaan toteuttaa maanpinnalla pääasiassa kolmella eri tavalla. Tapoihin vaikuttavat mittauksissa käytettävät havaintosuureet, systemaattisten virheiden korjaamistekniikka ja havaintolaitteiden lukumäärä. Mittausmenetelmät ovat absoluuttinen mittaus, differentiaalinen paikannus ja vaihehavaintoihin perustuva suhteellinen mittaus. (Laurila 2012, 293–294)

Absoluuttinen mittaus on yleisin mittaustapa. Paikannustarkkuus on tällöin alle kymmenen metriä. Differentiaalisessa tavassa signaalista korjataan mittauksen systemaattisia virheitä tukiaseman avulla. Paikannustarkkuus on 0,5-5 metriä. Vaihehavainnointiin perustuva mittaus on kaikkein tarkin mittausmenetelmä. Mittauksen perustana on kaksi samanaikaisesti toimivaa havainnointilaitetta. Taulukossa 1 on esitetty satelliittipaikannusmenetelmien mittaustarkkuudet. (Laurila 2012, 293–294)

TAULUKKO 1. Satelliittimittausten tarkkuus (Maanmittauslaitos)

| Paikannusmenetelmä | Paikannuksen tarkkuus |
|----------------------------------|-----------------------|
| Absoluuttinen paikanmääritys | < 10 m |
| Differentiaalinen paikanmääritys | 0,5-5 m |
| Suhteellinen paikanmääritys | < 0,05m |

3.3.1 RTK-mittaus

Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus eli RTK-mittaus on maastomittauksessa käytettävä perusmenetelmä. Se sopii kartoitus- ja maastomallimittauksiin. Lisäksi menetelmää käytetään sekä merkintämittauksissa että koneohjauksessa.

RTK-mittauksessa käytetään tukiasemaa, jonka sijainti tunnetaan. Se toimii mittauksessa vertailuasemana. Tukiasema lähettää tietoa mittaustyössä käytettävälle vastaanottimelle, joka ratkaisee mittauksessa tarvittavat suureet reaaliajassa. Näiden asemien välillä on joko radiomodeemilla tai matkapuhelinverkolla muodostettu tiedonsiirtoyhteys. NykYTEKNIKAN ansiosta vaativien mittaustulosten laskennallinen toimitus toteutuu alle minuutissa. (Laurila 2012, 319)



KUVA 7. Verkko-RTK-mittaus VRS-verkossa (Geopalvelu Oy)

RTK-mittauksen monipuolista ja laaja-alaista käyttöä varten kautta maailman on rakennettu tukiasemaverkostoja, joiden avulla voidaan hallita satelliittimittauksen häiriötekijöiden vaikutusta. Kappaleessa 4.3 on esitelty häiriötekijät.

Tukiasemaverkostot muodostavat omia järjestelmiä, joihin kuuluu yleensä kalusto, ohjelmisto ja tiedonsiirtotekniikka. Järjestelmä toimii siten, että kiinteä tukiasema lähettää tietoa laskentakeskukseen, työskentelevä vastaanotin lähettää likimääräisen sijaintinsa, ja laskentakeskus prosessoi näitä tietoja ja muodostaa mittaustyömaalle virtuaalisen tukiaseman.

Tunnetuimmat Suomessa käytössä olevat verkot ovat VRS-verkko (Maanmittauslaitos ja Geotrim Oy), jonka korjaus signaali on VRS- muodossa, ja SMARTNET-verkko (Leica), joka käyttää RTVCM v3- muotoa. Laskentakeskus lähettää mittaajan vastaanottimeen korjaustietoa koko mittauksen ajan. RTK-verkkojen ansiosta omia tukiasemia ei tarvitse enää ostaa. Mittausorganisaatioilla on käytössä pääasiassa vastaanottimia, (Kuva 7).

3.4. Vaaitus

Tarkimmat korkeuden mittaukset tehdään vaaituskojeella. Vaaituskoje on yksinkertainen ja perinteinen mittausmenetelmä, jota on käytetty vuosisatoja. Vaaituskojeella mitataan haluttujen pintojen korkeuseroja. Mittaustyön suorittaminen vaatii yleensä kahden henkilön työpanoksen. (Laurila 2012, 205)

Vaaitusta voidaan toteuttaa erilaisilla mittaussovelluksilla. Menetelmän valintaan vaikuttavat mittauskohde, välineistö ja haluttu mittaustarkkuus. Vaaituskojeiden luokittelu voidaan tehdä kolmeen eri luokkaan: rakennusvaaituskojeet, yleisvaaituskojeet ja tarkkavaaituskojeet. Tarkkavaaituksella päästään alle 0,5 mm keskihajontaan yhden kilometrin edestakaisessa vaaituksessa. Vaaituskoje voi olla digitaalinen laite, jolloin vaaitustiedot tallentuvat automaattisesti laitteen muistikortille. (Laurila 2012, 215–217)

3.5. Laserkeilaus

Laserkeilaus on mittausmenetelmä, jossa mittaus tehdään ilma-, maa- tai mobiililaserkeilaimella. Mittaus perustuu etäisyyden mittaukseen ja mittasuuntien tarkkaan määrittämiseen. Laserkeilain tuottaa lasersäteen, joka palaa takaisin laitteeseen ja sen avulla määritetään mitattavan kohteen sijainti. Mittaustuloksena syntyy kolmiulotteinen pistepilvi. Pistepilvestä voidaan poimia halutut tiedot tai siitä voidaan jatkokäsittelyllä muodostaa malli.

Laserkeilaimien etäisyydenmittaus voi perustua valon kulkuaikaan tai vaihe-eromittaukseen. Uusimpien kojeiden tekniikat hyödyntävät valon kulkuaikaa tai molempia menetelmiä. Valon kulkuaikaa hyödyntävien laitteiden mittausetäisyydet ovat suurempia. Laserkeilain mittaa tuhansia pisteitä sekunnin aikana. Ennen mittaustuloksien täydellistä hyödyntämistä mittausaineistoa on käsiteltävä laitteiston omalla ohjelmistolla.

Useampia mittauksia voidaan yhdistää toisiinsa ja muodostaa suuria pistepilvikokonaisuuksia. Menetelmä nopeuttaa maastotyöskentelyä ja samalla mittauskerralla saadaan tallennettua kaikki tieto eikä lisämittauksia tarvita.

Laserkeilauksen asemointia varten tarvitaan yleensä takymetri. Uusimmissa laserkeilaimissa on sisäänrakennettuna satelliittipaikannin. Kuvassa 8 valmistellaan laserkeilausta. Laserkeilaustyöryhmään kuuluu useita mittaajia, koska mittaustyössä tehdään valmistelevia töitä. Näitä ovat tähysten asettelu ja keilainasemien suunnittelu sekä kasaaminen ja mittaaminen. Usein keilaimen toiminnasta vastaa omaryhmä ja takymetrillä on oma mittaaja. Näin eri työvaiheita voidaan tehdä samanaikaisesti.



KUVA 8. Laserkeilausjärjestelyjen valmistelua (Geopalvelu Oy)

4 MAASTOMITTAUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

4.1. Ympäristö ja mittaajan ammattitaito

Maastossa työskentelyyn ja lopputuloksen onnistumiseen vaikuttavat useat tekijät. Työn suoritukseen on järkevää perehtyä hyvin ja suunnitelmallisuutta voidaan pitää tärkeänä osana maastomittausta. Ennen varsinaista suoritusta tulee hankkia lähtötiedot ja varmistaa niiden oikeellisuus sekä tarkastaa tarvittava varustus ja kalusto. Mittaajan tulee huolehtia myös asianmukaisesta pukeutumisesta ja ajoneuvonsa kunnosta. Kun työ on suunniteltu hyvin, sitä on sitä helppo lähteä toteuttamaan. (Rantanen 2001, 24)

Sääolojen muuttuminen on yksi mittaukseen vaikuttavista häiritseviksi tekijöistä. Kaikissa sääolosuhteissa ei pystytä suorittamaan maastomittauksia. Myös rakennettu ympäristö aiheuttaa ongelmia mittauksen suoritukseen. Kappaleessa 4.3. on esitelty mittauksen häiritseviksi tekijöitä. Mittaajan työnkuva on muuttunut monipuolisemmaksi laitetekniikan kehityksen seurauksena. Mittaajien pitää sisäistää se, mihin mittaustuloksia käytetään. Mittauksissa käytetään erilaisia tarkkuuksia riippuen mittaustilanteesta.

Mittaajien kokemus ja ammattitaito vaikuttavat työn suorittamiseen. Mittausalalla työskentelee koulutuspohjaltaan erilaisia henkilöitä. Mittaajan työssä edellytetään pohjakoulutuksena peruskoulua. Maastomittaustehtäviin erikoistunut ammattitutkinto on maanmittausalan perustutkinto, jota tarjoavat eri ammattioppilaitokset. Maanmittaustehtävissä toimii kuitenkin insinöörejä, teknikoita ja rakennusmestareita. Työssä oppiminen on merkityksellistä, ja siksi kartoittajan koulutuksen voi suorittaa oppisopimuksella.

4.2. Lähtöaineistot

Lähtötietojen puutteellisuus voi aiheuttaa suuria ongelmia mittaajalle. Lähtötiedosta tulisi selvittää tarkkaan mittaustilanteen osoite, koordinaattijärjestelmä, kiinteistöjohtotiedot (jos mittaukset liittyvät pohjatutkimuksiin) ja tilaajan yhteystiedot. Tässä työssä huomio kiinnittyy erityisesti koordinaattijärjestelmiin. Kappaleessa 5.3. on esitelty Suomessa käytössä olevat koordinaattijärjestelmät.

4.3. Laitevirheet ja häiriötekijät

Maastomittauksessa käytetään useita eri mittausmenetelmiä, joista jokaisessa on erilaisia virhelähteitä. Laitevirheiden huomaaminen on mittaajien vastuulla. Nykyisin käytettävät laitteistot antavat virheilmoituksia eri häiriötilanteista. Näiden ilmoitusten avulla mittaaja saa tietoa laitteiston toiminnasta, mutta monimuotoisen tekniikan takia kaikissa virhetilanteissa ei ilmoitusta tule. Tämän takia mittaajan on tunnettava laitteistonsa toimintaperiaatteet.

Vaaituskojeet ovat nykyään itsensä automaattisesti tasaavia, joten ennen mittauksia tulee tehdä testihavainnot. Havaintojen avulla todetaan onko laitteisto mittauskunnossa. Vaaituskojeen virheet voivat johtua siitä, että hiusviiva on päässyt liikkumaan. Vaaitustulokseen vaikuttaa myös mittalatan vinous.

Takymetreissä virheitä aiheuttavat eri toiminnoissa tapahtuvat virheet. Virheitä voi olla rasiatasaimessa, alhidaditasaimessa, optisessa luodissa tai akselissa. Muita mahdollisia virheitä ovat pystykehän indeksivirhe ja etäisyyden mittausvirheet. Näille virheille on olemassa erilaisia sääntötoimenpiteitä, joiden avulla laite saadaan mittauskuntoiseksi. Takymetrin käsittely vaatii huolellisuutta, koska virhetilat syntyvät kolahduksista tai laitteen valmistuksesta. Takymetrin matkanmittaukseen liittyviä virheitä ovat koje- ja prismavirheet, mittakaava- eli taajuusvirhe, vaihe-erovirhe, ilmakehästä johtuvat virheet, epäkeskisyys ja geometriset virheet. Mittauksien luotettavuuteen vaikuttavat myös kojeen virtalataus, mittausväli, heijastimien kunto ja ilmassan tila. (Rantanen 2001, 311–316)

Satelliittipaikannuksessa virheitä aiheuttavat erilaiset häiriötekijät, joista merkittävin on ilmakehä. Satelliittien signaalit liikkuvat ilmakehän läpi ja aiheuttavat virheitä satelliittien mittaamisessa etäisyyksissä. Auringon aktiivisuus vaikuttaa ilmakehän ionosfääriin, joka vaihtelee 11 vuoden jaksoissa. Muita virheitä ovat satelliittien radanmääritys ja kellovirheet, vastaanotinvirheet ja monitieheijastukset. Monitieheijastuksessa satelliittisignaalin reitti kiertää pinnan tai esineen kautta antenniin. Satelliittien geometrialla on merkitystä mittaustuloksen tarkkuuteen. Satelliittien geometrista sijaintia toisiinsa nähden tarkastellaan PDOP-arvolla (Position DOP). Arvon tulee olla alle kuusi, jotta geometrialla ei ole merkittävää vaikutusta mittaustulokseen. (Maanmittauslaitos)

5 KOORDINAATISTOT JA KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄT

5.1. Koordinaattijärjestelmät ja niiden käyttö

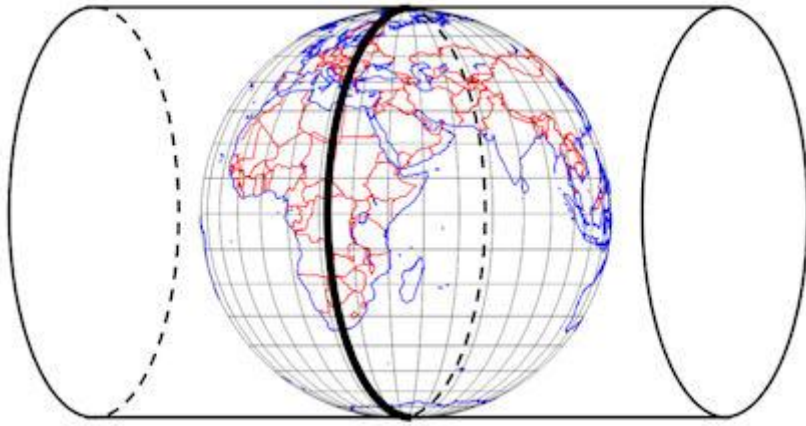
Paikkaa ilmaisevia koordinaatteja on käytetty vuosisatojen ajan. Järjestelmiä kehitetään jatkuvasti teknisen ja yhteiskunnallisen kehityksen seurauksena. Lisäksi geofysikaaliset muutokset edellyttävät järjestelmien ylläpitoa. Kehityksen seurauksena nykyään käytetään globaaleja koordinaattijärjestelmiä. (Laurila 2012, 135)

Koordinaatistolla esitetään kohteen sijainti lukuarvoina matemaattisen täsmällisesti. Maastomittauksessa käytetään kolmenlaisia koordinaatistoja: maantieteellinen, ellipsoidikeskinen kolmiulotteinen suorakulmainen ja karttakeskinen suorakulmainen koordinaatisto. (Laurila 2001, 139)

Koordinaattijärjestelmien luomisessa on määriteltävä järjestelmälle origo ja koordinaattiakselien orientointi. Koordinaattijärjestelmä voidaan muodostaa matemaattisesti ilman erillisiä mittauksia. Se otetaan käyttöön mittaamalla kiintopisteitä, joille on määritetty halutut koordinaatit. Ylimmän luokan kiintopisteillä muodostetaan koordinaattiverkosto, jossa maastomittauksia voidaan tehdä. (Häkli, Puupponen, Koivula, Poutanen 2009, 7)

5.2. Tasokoordinaatit ja korkeusjärjestelmät

Kolmiulotteinen maailma voidaan saada tasokuvaksi karttaprojektion avulla. Karttaprojektion avulla kolmiulotteiset koordinaatit siirretään tasolle. Kuva 9. Maanpinnan muotoa ei pystytä esittämään virheettömästi kaksiulotteisella tasolla. Projektoiden ominaisuuksia ovat: oikeapintaisuus, oikeapituisuus ja oikeakulmaisuus. Karttaprojektion valinnalla vaikutetaan siihen, mikä näistä ominaisuuksista on merkityksellisin. Karttaprojektioityypit ovat taso-, -kartio- ja lieriöprojektiio. Suomessa maastokartoissa käytetään poikittaisia lieriöprojektiioita. (Häkli, Puupponen, Koivula, Poutanen 2009, 7)



KUVA 9: Poikittainen lieriöprojektiio, Gauss-Krüger-projektio.

Korkeusjärjestelmä määritellään ja mitataan vertailukorkeuden avulla korkeuskiintopisteisiin. Suomen ensimmäinen korkeusjärjestelmä oli NN-järjestelmä. Väliaikainen aikaisempaa laajemmalle alueelle ulottuva korkeusjärjestelmä oli N43. Kolmas järjestelmä oli N60. Nykyisin käytössä on N2000 -järjestelmä.

Aikaisemmista järjestelmistä poiketen N2000 -järjestelmän lähtökohtana on Amsterdamin nollakohta (NAP). Aikaisemmissa järjestelmissä käytettiin Helsingin merenpinnan keskiarvoa nollakohtana. Uuteen järjestelmään siirryttäessä maanpinnankorkeus nousi 13- 44 cm:ä riippuen siitä missä päin Suomea se sijaitti. Taulukossa 2 on esitetty korkeudessa tapahtunut muutos. Näiden korkeusjärjestelmien lisäksi on käytössä myös kunnallisia ja alueellisia korkeusjärjestelmiä. (Laurila 2012, 169)

TAULUKKO 2. Korkeuden muutos N2000 ja N60- järjestelmien välillä Tampereella.

| Y | X | Z | Korkeusjärjestelmä |
|-------------|------------|---------|--------------------|
| 24480285.94 | 6821905.67 | 132.274 | N2000 |
| 24480285.94 | 6821905.67 | 131.960 | N60 |
| | | +0.314 | Muutos |

5.3. Suomen nykyiset koordinaattijärjestelmät

Suomessa on käytössä ETRS89-järjestelmä, jota käytetään myös kaikissa EU-maissa. Suomessa käytettävän realisaation nimi on EUREF-FIN. Tämä järjestelmä helpottaa maiden välisten tietojenvaihtoa, sillä se on tarkempi ja tasalaatuisempi kuin kartastokoordinaattijärjestelmä (KKJ). Kiinteistömittauksissa rajat ja pinta-alat vastaavat aikaisempaa paremmin maaston todellisia arvoja. Tasokoordinaatistot ovat ETRS-TM35FIN ja ETRS-GK. (Maanmittauslaitos)

ETRS-TM35FIN on valtakunnallinen tasokoordinaatisto, jossa Suomi on asetettu maailmanlaajuisen UTM- projektion mukaisesti kaistalle 35. Todellisuudessa Suomi ulottuu kaistoille 34-36, mutta asiasta on tehty virallinen päätös, että mittaustöissä käytetään kaistaa 35. Merkintä TM35FIN kertoo tästä päätöksestä.

ETRS-GK järjestelmää käytetään alueellisissa töissä, kuten kunnissa ja kaupungeissa. Mittauksien toteutus ei ole täysin sidoksissa kaistan leveyteen, vaan kaistoja voidaan muokata työn mukaisesti.

GPS-järjestelmän koordinaattijärjestelmä on geosentrinen eli maakeskinen suorakulmainen koordinaattijärjestelmä WGS84 (World Geodetic System 1984). Tässä järjestelmässä mitattujen koordinaattien erot ovat identtisiä EUREF-FIN järjestelmän kanssa.

6 MITTAUSVIRHEET JA NIIDEN AIHEUTTAJAT

6.1. Mittausvirheiden luokittelu

Mittauksissa syntyy aina erilaisia virheitä ja poikkeamia. Niitä voidaan havaita parhaiten, kun mittauksia tehdään erilaisilla kalustoilla ja käyttämällä eri kiintopisteitä. Suurin osa poikkeamista jää havaitsematta. Virheiden suuruus ratkaisee sen, onko ko. poikkeamalla vaikutusta mittaustyön lopputulokseen. Maastomittauksessa ei saada absoluuttisen tarkkoja arvoja. Mittauksille asetetaan ennen työn aloitusta mittaustarkkuusvaatimukset, joilla ohjataan työn toteutuminen haluttuun tarkkuuteen.

Mittausvirheet luokitellaan karkeisiin, systemaattisiin ja satunnaisiin virheisiin. Karkeita mittausvirheitä syntyy, kun mittaaja tekee inhimillisen virheen. Näitä virheitä voidaan välttää, kun mittaaja kontrolloi omaa työtään. Systemaattisia mittausvirheitä syntyy kojeiden puutteellisen huollon tai vian seurauksena. Mittaustyön satunnaiset virheet ovat jäännösvirheitä, joita ei voida estää. Mittaustyössä pienet virheet ovat todennäköisempiä kuin suuret virheet. Mitattavan suureen todellista arvoa ei tunneta mittaustyössä. (Rantanen 2001 306 -307, Salmenperä 2004, 143)

Mittaustuloksia tarkasteltaessa tulee huomioida sisäinen ja ulkoinen tarkkuus. Tulosten hajonta mittaa sisäistä tarkkuutta eli tulosten yhteensopivuutta. Ulkoisen tarkkuuden havainnointi on vaikeampaa (Salmenperä 2004,144).

6.2. Mittaustyön häiriötekijät

Mittauksen suoritukseen vaikuttavat sisäiset ja ulkoiset häiriötekijät. Sisäiset häiriötekijät ovat kojeiden omien komponenttien toiminnasta syntyviä, yleensä sähköisiä häiriötekijöitä. Kojien valmistuksessa tarkastellaan laitteen komponenttien sähkömagneettista sopivuutta. Osat valitaan siten, että niistä aiheutuu mahdollisimman vähän häiriötä. (Jäppinen 2003, 34)

Ulkopuoliset häiriötekijät koostuvat luonnollista ja keinotekoisista häiriötekijöistä. Luonnollisia häiriötekijöitä ovat erilaiset fysikaaliset ilmiöt, joiden aiheuttajiin kuuluvat mm. aurinko, ilmakehä, ilmasto, valo, hiukkaspilvet ja kosminen säteily. Keinotekoiset häiriötekijät ovat tietoliikenteen aiheuttamia. Mittauksia häiritsevät radiolinkit ja -lähetykset, tutkat, digitaaliset laitteet ja sähkönjakelu. Luonnollisten häiriötekijöiden huomioiminen on mittaajan vastuulla. Keinotekoisien häiriötekijöiden vaikutusta pyritään hallitsemaan suojaamalla ja eristämällä kojeiden herkimvät osat. (Jäppinen, 2003, 34)

6.2.1 Mittaustarkkuus

Maastomittauksia ei suoriteta mittaamisen takia, vaan ne liittyvät isompaan kokonaisuuteen, kuten kartan valmistamiseen tai rakentamiseen. Mittaustarkkuuksille asetetaan erilaisia vaatimuksia riippuen mittauksen käyttötarkoituksesta, (taulukko 3). Esimerkiksi teollisuusmittauksissa tarkkuusvaatimukset ovat korkeat, koska nykytekniikalla voidaan tehdä hyvin tarkkoja mittauksia. (Laurila 2012, 40–41)

TAULUKKO 3. Mittaustarkkuustasot (Laurila 41).

| TARKKUUSTASO | MITTAUKSEN TARKOITUS |
|--------------|---|
| 100 m | Halutaan tietää yleisesti, missä ollaan |
| 10 m | Halutaan pysyä reitillä ja löytää kohteeseen |
| 1 m | Kerätään paikkatietoja kartoitusta tai tutkimusta varten |
| 0,1 m | Kartoitetaan maastoa ja rakennettua ympäristöä |
| 0,01 m | Tehdään tarkkoja geodeettisia ja geofysikaalisia mittauksia |
| 0,001 m | Tehdään tieteellistä tutkimusta ja mitata erityiskohteita |

Mittaustuloksia voidaan vaatia numeerisesti erilaisilla tarkkuuksilla. Merkitsevien numeroiden lukumäärän tiedostaminen mittaustyössä on erittäin tärkeää. Mittauslaskennassa on aina mukana tarkkoja arvoja ja havaintoihin perustuvia epävarmoja arvoja. Tällöin tarkkojen arvojen merkitsevät numerot kertovat millä tarkkuudella ko. työssä mitataan. (Laurila 2012,33)

Maastomittauksessa koordinaattien ja havaintojen pienin yksikkö on millimetri. Tällöin myös lopputulokset esitetään millimetreinä. Lopputuloksessa merkitseviä lukuja pitää olla enintään yhtä monta kuin epätarkimmassa lähtötiedossa. (Laurila 2012, 34)

Kartoitusalueiden mittaustarkkuutta voidaan säädellä erilaisilla ohjeilla. Yksi ohjeista on Maanmittauslaitoksen kaavoitusohje. Alueet luokitellaan ohjeessa kolmeen eri luokkaan käyttötarkoituksen mukaisesti, (taulukko 4). Näille luokille on annettu omat mittaustarkkuusmääritelmänsä, joissa eri kartoituskohteilla on erilaisia tarkkuuksia. (Liite 3). (Maanmittauslaitos 2003, 5)

TAULUKKO 4. Mittausluokitus (Maanmittauslaitoksen kaavoitusohje, 2003)

| MITTAUSLUOKKA | MÄÄRITELMÄ | KARTAN MITTAKAAVA |
|---------------|--|----------------------|
| 1 | Taajama-alueet, joilla maa on erittäin arvokasta, rakennusoikeudet suuria ja yhdyskuntarakenne kaupunkimaista. Alueille laadittavissa asemakaavoissa on sitova tonttijako. | 1:500 1:1000 |
| 1e | Kunnan teknisessä suunnittelussa hyödynnettävä tarkkuus. | 1:500 1:1000 |
| 2 | Taajama-alueet, joilla maa on arvokasta, rakentaminen pientalovaltaista mutta suhteellisen intensiivistä. Alueille laadittavissa asemakaavoissa on yleensä ohjeellinen tonttijako. | 1:1000 1:2000 |
| 3 | Muut alueet, joille laaditaan yleiskaavaa yksityiskohtaisempi mutta vain vähäistä rakennusoikeutta tarkoittava kaava. | 1:2000 |

6.2.2 Mittaustyöt rakennushankkeessa

Mittaustyöt liittyvät rakentamiseen koko hankkeen ajan. Nykyinen rakennustekniikka tukeutuu laadukkaisiin mittauksiin. Mittausten tulee olla tarkkoja ja luotettavia, jotta tekniset ja arkkitehtuuriset ratkaisut voidaan toteuttaa mahdollisimman virheettömästi.

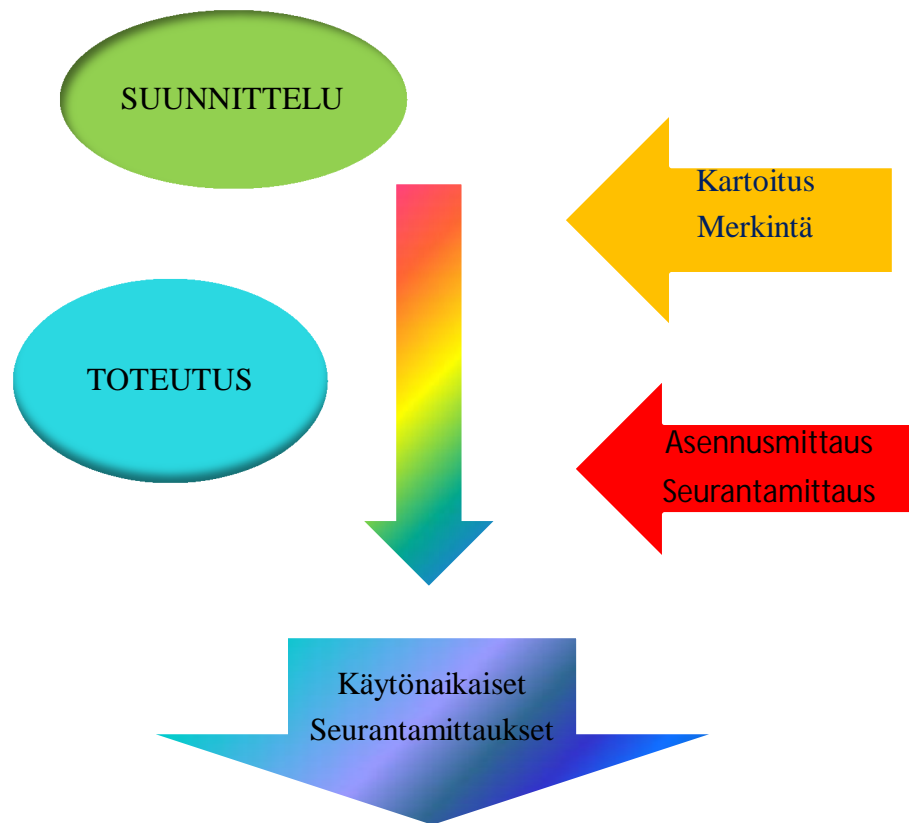
Mittausten luotettavuuden merkitys on kasvanut kun paikallarakentamisesta on siirrytty elementtirakentamiseen. Rakennusosien pitää sopia saumattomasti toisiinsa, jotta niiden suunnitellut ominaisuudet täyttyvät valmiissa rakenteessa. Rakennustyömaiden laitteistojen kehitys on vähentänyt henkilöstötarvetta. Nykyaikaisilla kojeilla työt saadaan toteutettua entistä taloudellisemmin. (Jäppinen, 2014)

Rakentamiseen kuuluvat sekä rakennustekniikka että yhdyskuntatekniikka. Näin ollen rakentaminen koostuu erilaisten rakennusten, siltojen ja teiden rakentamisesta. Hankkeiden toteuttaminen aloitetaan erilaisilla kartoitusmittauksilla, joiden avulla luodaan koko hankkeelle taso- ja korkeuskiintopisteverkko. (Salmenperä 2004, 151)

Suunnitteluvaiheessa mittaustekniikan virheteoreettinen koulutus helpottaa työn tekoa. Rakennushankkeen toteutus aloitetaan kohteen merkitsemisellä maastoon. Merkitsemismittaukset tehdään koordinaattitulkinjojen avulla määritettyjen järjestelmälinjojen mukaisesti. Näiden linjojen avulla voidaan sijoittaa rakennuksen eri osia, kuten ovet ja seinät. Asennuksen jälkeen rakennustyömaalla tehdään kontrollimittauksia. (Salmenperä 2004, 151)

Mittauksia tehdään myös rakenteen valmistumisen jälkeen erilaisina valvontamittauksina. Kuviossa 4 on esitetty rakennushankkeen läpivienti ja sen aikaiset päämittaukset. Hankkeen aikana mittauksia tehdään valvonta- ja tarkastusmittauksina. Mittauksia teettävät sekä rakennuttaja että valvontaviranomainen. (Salmenperä 2004, 6)

Rakennuskohteen muotoa, kokoa ja sijaintia pitää tarkkailla hankkeen eri vaiheissa. Näiden mittauksien avulla tarkastetaan täyttääkö rakenne tai sen osa työnsuorituksille asetetut vaatimukset. Valvonta- ja muodonmuutosmittauksien avulla seurataan rakenteen käyttäytymistä, esimerkiksi kuormituksen vaikutuksesta. (Salmenperä 2004, 151)



KUVIO 4. Rakennushankkeen vaiheet ja mittaukset (Salmenperä 2004,6)

6.2.3 Mittausvirheen havaitseminen ja sen vaikutukset

Mittausvirheitä voidaan havaita rakennushankkeen eri vaiheissa. Havaituilla mittausvirheillä on vaikutuksia kaikkiin hankkeen vaiheisiin. Vaikutuksen suuruuteen ja korjattavuuteen vaikuttaa se, missä vaiheessa virhe havaitaan. Kun virhe havaitaan hankkeen alkuvaiheessa, korjaaminen voi olla helppoa. Jos työmaa ei ole vielä käynnissä ja mittauksista löytyy poikkeama suunnitelmiin nähden, mittaus voidaan suorittaa uudestaan ja tarkastaa todellinen lähtötilanne. Jos hanke on jo edennyt pitemmälle, ovat vaikutukset suuremmat ja suunnitelmia on tehtävä uudelleen. Työmaalla voidaan tulla tilanteeseen, jossa uudelleenmittaus ei enää ratkaise ongelmia. Esimerkiksi kunnallistekniikkaan liittymiseen voi tulla ongelmia, jos rakennuksen perustusten mittaamisessa on tapahtunut virhe. Pahimmillaan kaikki suoritettavat rakenteet joudutaan purkamaan ja tekemään uudelleen.

7 MITTAAJAT JA LAITEMAAHANTUOJAT

7.1. Mittaajien haastattelu

Tässä työssä tutkittiin eri organisaatioiden mittaushenkilöstöjä haastattelemalla. Haastattelujen tavoitteena oli kartoittaa yrityksen suhtautumista maastomittauksen virhelähteisiin, osaamisen laatua ja selvittää mahdolliset parannusta kaipaavat osa-alueet mittaus työn toteutuksessa.

Haastatteluja varten laadittiin kyselykaavake (Liite 1). Kaavakkeessa oli yhteensä 11 kysymystä, joista neljä oli monivalintakysymyksiä ja seitsemään kirjattiin mittaustyönjohtajien ja -apumiesten suulliset vastaukset. Monivalintakysymyksiin, valittiin vastausvaihtoehtoihin selkeästi erilaisia vastauksia. Tämän jaottelun tavoitteena oli selkeyttää vastauksia ja herättää ajatuksia.

Tutkimusryhmää haastateltiin joulukuusta 2013 tammikuuhun 2014. Laadun tarkastelua varten haastateltiin Tampereen ja Ylöjärven kaupungin mittaushenkilöstöä. Nämä ryhmät muodostavat vertailuryhmät A ja B. Tutkimusryhmään kuului kahdeksan mittaustyönjohtajaa, vertailuryhmään A kuului seitsemän mittaushenkilöä ja vertailuryhmään B kuului kahdeksan henkilöä, joista kaksi oli muissa kuin mittaustyönjohtotehtävissä. Vertailuryhmät haastateltiin maaliskuussa 2014 ja 15.1.2015. Vertailuryhmiksi valittiin kunnallisia organisaatioita, joiden kanssa tutkimusyritys ei ole kilpailuasemassa.

Mittausvirhe oli asiana epäselvä ja vaikea ymmärtää. Asia määriteltiin haastattelujen yhteydessä siten, että mittausvirheellä tarkoitetaan sellaista mittaustuloksen poikkeamaa, jonka voidaan katsoa aiheuttavan lopputulokseen merkittävän virheen. Tästä virheestä aiheutuu seurauksia, jos asiaa ei korjata. Seurauksena voi olla uudelleen mittaaminen, rakenteen purkaminen tai uudelleen suunnittelu.

Mittausvirheisiin hyvin suhtautumisella tarkoitetaan tässä työssä sitä, että mittaustuloksissa havaitusta virheestä voidaan keskustella avoimesti eikä sen korjaaminen aiheuta ongelmia tai huonoa työilmapiiriä.

7.1.1 Mittaajien koulutus

Mittamiehen peruskoulutuksen voi suorittaa, kun on suorittanut peruskoulun tai siihen rinnastettavat opinnot. Mittamiehen tutkinnon pystyy suorittamaan myös yhteistutkintona lukio-opintojen kanssa. Lisäksi on olemassa työn ohessa suoritettava oppisopimuskoulutus. Ammattikorkeakoulut tarjoavat maanmittausinsinöörien koulutusta, jolloin tehtävät voivat olla myös paikkatietojärjestelmiin liittyviä. Myös muilta insinöörialoilta valmistuneet voivat tehdä mittausteknisiä töitä.

Tähän tutkimukseen osallistui maanmittausteknikoita, insinöörejä, kartoittajia, yhdyskuntatekniikan rakennusmestareita, yhdyskuntatekniikan rakennusinsinöörejä, ympäristöinsinööri, mittausmieskurssin suorittaneita, peruskoulun suorittaneita ja maanmittausalan perustutkinnon suorittaneita.

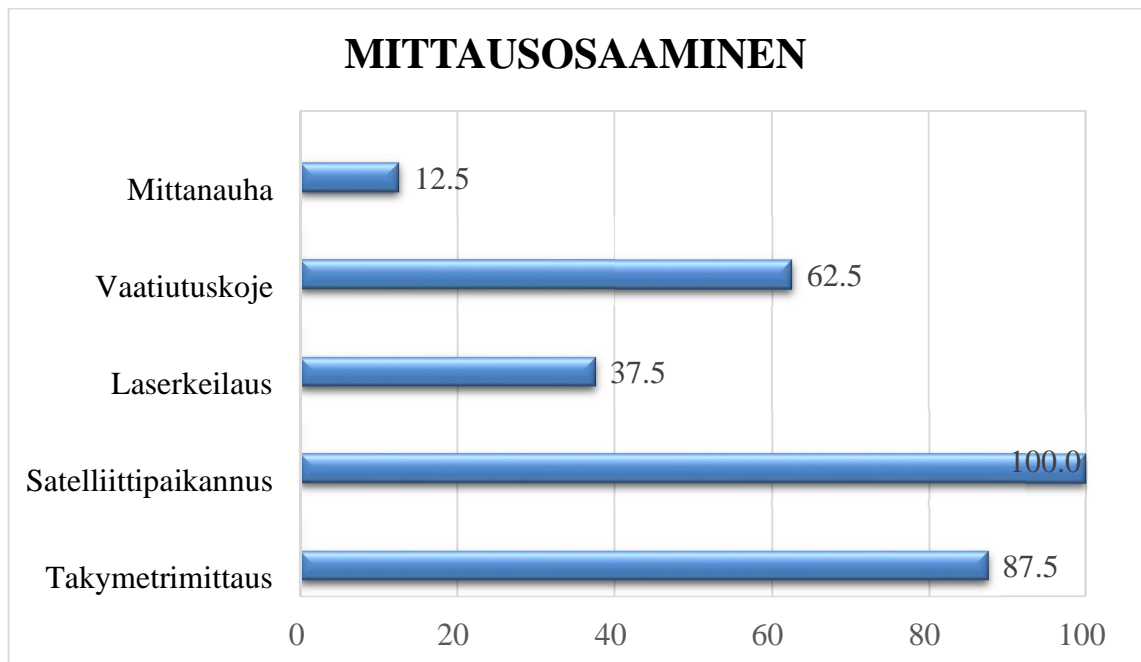
Haastatteluissa oli mukana hyvin kokenutta henkilöstöä, vain muutamalla oli kokemusta alle 4 vuotta. Kokeneimmat olivat työskennelleet mittaustehtävissä yli 30 vuotta.

7.2. Tutkimusryhmän haastattelut

Tavoitteena oli haastatella mittaajat yksitellen, jotta kysymyksiä voitiin tarvittaessa selvittää. Yksi tutkimusryhmän mittaajista työskentelee maantieteellisesti kaukana, joten hänet haastateltiin sähköpostin välityksellä. Muut mittaajat haastateltiin kasvokkain. Haastatteluihin varattiin aikaa 30 minuuttia henkilöä kohden.

Lomakkeen avulla saatiin selvitettyä, minkälaisilla mittauskalustoilla mittaajat mittaavat. Kalustoihin määriteltiin ne mittalaitteet, joiden käytön mittaaja mielestään hallitsee hyvin. Useimmat tutkimusryhmän mittaajat hallitsevat sekä takymetrimittauksen että satelliittipaikannuksen (GPS-mittaus). Muina mittausmenetelminä mainittiin laserkeilaus, tarkkavaaitus ja mittanauhmittaus. Kuviossa 5 on esitetty tutkimusyhteyden mittausosaaminen.

Mittausosaaminen kuvastaa hyvin tämän päivän maastomittaustyöskentelyä. Nykyaikaisen tekniikan käyttö on lisääntynyt viime vuosina. Takymetrimittausta ja satelliittipaikannusta käytetään myös yhdistelmämenetelmänä, joka edellyttää molempien mittausmenetelmien hallitsemista. Mittauskalustoon kuuluu mittauslaite ja tallennin, jota voidaan käyttää molempien mittauslaitteiden kanssa. Satelliittipaikantimien käyttö on helppoa, ja sen käyttö opastetaan kaikille mittaajille ja maastotyöntekijöille.



KUVIO 5. Tutkimusryhmän mittausosaaminen, %:na.

7.2.1 Tutkimusryhmän mittausvirheet ja niiden välttäminen

Mittaajilta kysyttiin, minkälaisia virheitä he ovat työssään huomanneet. Tyypillisimmiksi mittausvirheiksi mainittiin satelliittipaikannuksen korkovirheet ja laiteasetuksista johtuvat virheet. Toiseksi eniten oli sauvakorkeuden muuttumisesta johtuvia virheitä, prisma-vakion asetusvirheitä ja sauvan kuplan toimimattomuudesta johtuvia virheitä. Muina virheinä mainittiin takymetrin väärästä tartumisesta johtuvat virheet (mittauslaite olettaa automaattitoiminnalla löytäneensä prisman, vaikka kyseessä on jokin muu heijastava kohde, esimerkiksi työvaatteiden heijastin) ja puutteelliset lähtötiedot.

Satelliittipaikannuksen korkovirheet ovat virheitä, joiden syntymistä mittaajan on vaikea estää. Virheet syntyvät signaalin kulkureitille osuvien häiriötekijöiden takia. Nämä häiriötekijät aiheuttavat laskennallisen virheen mittaustulokseen. Satelliittipaikannuksen häiriötekijöitä ovat erilaiset rakenteet, rakennukset ja materiaalit, jotka aiheuttavat heijastumista.

Toiseksi suurimman virhekokonaisuuden muodostivat erilaiset asetusvirheet. Mittauskojeisiin määritellään monia asioita ennen mittauksen suoritusta. Kojeisiin määriteltäviä asioita ovat:

- syötetään joko kiintopisteiden tai lähtöpisteiden koordinaatit
- satelliittipaikannuksessa määritetään koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä
- mittausdokumentille annetaan nimi
- mittauksessa käytettävän prisman prismatyyppi sekä prismavakio
- mittaussauvan tai satelliittipaikantimen sauvakorkeus

Kirjaamisissa eli asetusten määrittämisessä voi tapahtua virheitä, jotka vaikuttavat lopputulokseen. Näiden virheiden havaitseminen jälkikäteen on vaikeaa, jos mittaajalla ei ole rutiinia mittauksen aloitustoimenpiteissä. Esimerkiksi prisma-sauvan korkeutta voidaan joutua muuttamaan näkemäesteen takia, jolloin kojeelle pitää kertoa uusi korkeus ennen mittauksia. Tämän tyyppisen virheen korjaaminen nykyaikaisilla kojeilla ja ohjelmistoilla on mahdollista. Ohjelmistoissa voidaan päivittää asetuksia jälkikäteen, jos on olemassa varma tieto siitä, missä kohtaa virhe on tapahtunut.

Satelliittipaikantimien käytössä asetusten määrittely on erittäin tärkeää, koska mittaaminen alkaa tiedoilla, jotka mittaaja on määrittänyt. Koordinaattijärjestelmien merkitys on tärkeä, jotta satelliittipaikannus saadaan tehtyä oikein.

Satelliittipaikannin mittaa, vaikka asetuksissa olisi virheellisiä tietoja, esim. koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät voivat olla määritetty väärin. Myös koordinaattijärjestelmän kaista voi olla väärin. Mittauksia voidaan myös joutua tekemään tilaajan määräyksestä muilla mittausasetuksilla kuin alueellisesti voitaisiin olettaa.

Jos on olemassa jo suunnitelmia eri koordinaattijärjestelmässä kuin käytössä oleva koordinaattijärjestelmä. Nykylaitteilla on helppoa sijoittaa mittaukset haluttuun korkeus- ja koordinaattijärjestelmään. Lisäksi nykykojeiden ohjelmistoilla voidaan kääntää suoritettuja mittauksia haluttuun koordinaattijärjestelmään.

Teknisistä virheistä kuten sauvan kuplan toimimattomuudesta tai takymetrin vääristä tärinöistä johtuvat virheet ovat havaittavissa huolellisella laitteen käytöllä. Kun mittaus- tuloksia seuraa jatkuvasti, on helpompi havaita virheitä. Mittaustyön jatkuva kontrollointi ja tarkistaminen ovat edellytyksenä onnistuneelle lopputuloksella. Aina kun on mahdollista, tulisi mittauksia tarkistaa olemassa oleviin pisteverkkoihin ja niiden kiintopisteisiin.

Virheelliseksi mittausmenetelmäksi osoittautui satelliittipaikannus, koska sen mittaustulosten seuraaminen ja tarkistaminen eivät ole aina mahdollisia. Satelliittipaikannuksessa jokainen mittauskerta on ainutlaatuinen, koska satelliittien täsmällinen samanaikaisen sijaintien uudelleen saavuttaminen on mahdotonta. Mittaustulos saadaan laskennallisesti satelliittien sijainnista eikä siihen vaikuttavia tekijöitä voida täysin jäljittää. Kojet antavat tuloksen suoraan mittaajalle. Mittausmenetelmä ei aina huomioi kaikkia siihen vaikuttavia häiriötekijöitä. Mittaajan pitää itse pystyä hahmottamaan, kuinka puustoisessa maastossa on järkevää käyttää satelliittipaikanninta, ja miten olemassa olevat rakenteet ja materiaalit vaikuttavat satelliittipaikannuksen luotettavuuteen.

Mittaajan tulee huolehtia laitteen eri asetuksista ja erityisesti koordinaattiasetuksista, jotta mittaukset saadaan laskettua oikeaan paikkaan. Mittaajien mielestä paras keino virheiden estämiseen oli huolellisuus työntoteutuksessa. Merkitykselliseksi asiaksi nousi työn suunnittelu ennen toteutusta. Muita virheiden estämisen keinoja olivat alustuksen toistaminen (satelliittipaikannus), jälkilaskenta, asetusten tarkistaminen, laitteiston kunnan tarkistaminen ja huolellinen perehdytys työhön.

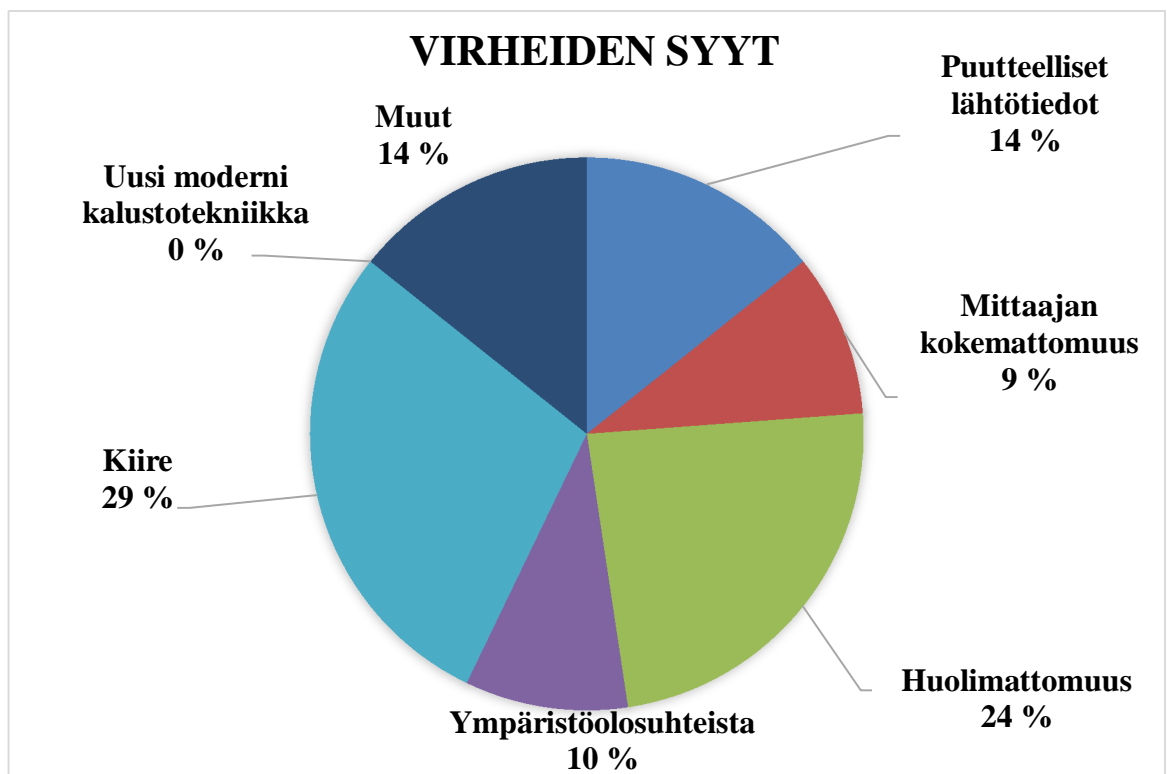
7.2.2 Virheiden havaitseminen ja virheiden syyt

Mittaajilta kysyttiin, missä työn vaiheessa virheet havaitaan. Pääsääntöisesti mittaajat ovat huomanneet mittausvirheet ennen työn luovutusta eteenpäin. Useimmissa tapauksissa mittausvirheet on huomattu uusinta mittauksen yhteydessä, toimistolla tai maastossa esimerkiksi korkotietoja seuraamalla.

Mittausrvirheiden havaitseminen on välttämätöntä, jotta mittaustyön laatu säilyy. Mittaustyössä on aina mukana virhelähteitä. Mittaajan tehtävänä on huolehtia, että nämä tekijät eivät pääse vaikuttamaan lopputulokseen.

Mittaustyö voi olla myös jo tapahtuneen virheen todentamista, näissä tapauksissa on merkityksellistä, että työssä ei ole lisää haittatekijöitä. Esimerkiksi rakennuksen lattian kaltevuudessa epäillään olevan virhe, koska vesi ei valu halutulla tavalla. Uusintamittauksia tehtäessä mittaajan tulee olla erityisen tarkkaavainen.

Tutkimuksessa annettiin vaihtoehtoja virheiden syntymiselle, (Kuvio 6). Vaihtoehtoissa otettiin kantaa mittaajan, laitteiston ja ympäristön vaikutukseen mittaussuoritukseen. Tutkimusryhmän virheiden aiheutusjärjestys oli: kiire, huolimattomuus, puutteelliset lähtötiedot, muut syyt ja mittaajan kokemattomuus. Virheiden syntymisen syyt olivat mittaajista riippuvaisia. Näitä syitä voidaan hallita erilaisilla oman työn kontrollointimenetelmillä.



KUVIO 6. Mittausvirheiden syntymiseen vaikuttavat asiat tutkimusryhmässä.

Mittauskalustojen nopea toiminta ja aikataulujen tiukkuus, asettavat mittajat haastavaan tilanteeseen. Mittaajien pitäisi olla nopeita ja tarkkoja. Mittaustyön huolimattomuus on seurausta kiireestä. Kiireessä valitaan sopimattomia mittausmenetelmiä ja valmistautuminen työhön jää vähäiseksi.

7.2.3 Mittaajan keinot ja mahdollisuudet

Mittaajilta kysyttiin, minkälaisilla keinoilla mittaaja voi vaikuttaa mittausvirheisiin. Tuloksena saatiin, että mittaajien tulisi tiedostaa mitä ja miksi mitataan, sekä huolehtia siitä, että työ tehdään huolellisesti. Mittaustyötä kontrolloidaan jälkilaskennalla ja käyttämällä työhön sopivaa kalustoa.

Tutkimuksessa selvitettiin oman työn kontrolloimista. Lomakkeeseen valittiin kymmenen perusasiaa, joiden avulla omaa mittaustyötä voidaan hallita. Vaihtoehtoihin pyrittiin valitsemaan sellaisia asioita, jotka ovat yleisesti kaikkien tiedossa. Asiat ja tulokset on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Oman työn kontrolloiminen tutkimusryhmässä

| OMAN TYÖN KONTROLLOINTI | MITTAAJAT | | | | | | | | | |
|--|-----------|---|---|---|---|---|---|---|--|------|
| | | | | | | | | | | yht. |
| Tarkastan aina lähtötiedot | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | | 4 |
| Käytän kiintopisteitä ja pistekortteja | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | | 7 |
| Tarkastan mittausaineistoni ennen luovutusta | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 8 |
| Teen kojeelleni kenttäkalibroinnit *) säännöllisesti | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 2 |
| Huolehdin laitteiston huolloista | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 6 |
| Osallistun päivityksien yhteydessä koulutukseen | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 2 |
| Teen tarkastuksia epäilyttävissä tilanteissa | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | | 6 |
| Muuten, miten? | | | | | | | | | | |
| Kontrollimittaukset | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | | 1 |

*) kenttäkalibrointi on opastettu toiminto, jolla voidaan tarkistaa kojeen toimivuutta ja tarkkuutta.

Kaikki tutkimusryhmän mittaajat tarkastavat työnsä ennen niiden toimittamista eteenpäin. Useimmat mittaajat käyttävät kiintopisteitä osana rutiininomaista mittaustyötä. Mittaajat huolehtivat kalustonsa huolloista ja ryhtyvät toimenpiteisiin epäilyttävissä tilanteissa.

Parannettavaa olisi kojeiden kenttäkalibroinnin toteuttamisessa. Sen avulla voidaan parantaa mittaustuloksien laatua ja vähentää mittausrvirheitä. Kenttäkalibrointi on mittaajille työkalu, jonka avulla kojeen toimintaa ja huollontarvetta voi seurata. Mittauskojeita kuljetaan, siirrellään ja nostellaan paljon. Nämä altistavat laitteen tärinälle, josta voi seurata virhetila.

Tutkimusryhmällä käytössä olevissa takymetreissä on opastettuna toimintona kojeen toiminnan tarkistaminen eli kenttäkalibrointi. Mittaussarjat suoritetaan opastetulla toiminnolla, jonka jälkeen koje laskee tarkastusarvot. Kojien päivittämisen yhteydessä perehtyminen ohjelmistojen muutoksiin oli vähäistä.

Mittausvirheisiin suhtautumisen koki avoimeksi 63 % vastaajista ja 25 % oli sitä mieltä, että riippuu tilanteesta ja virheen vaikutuksesta. Vastaajista 13 % oli sitä mieltä, että virheisiin suhtauduttiin huonosti. Mittausvirheiden havaitseminen ja korjaaminen eivät olleet ongelmia tämän tutkimuksen perusteella. Mittausvirheisiin suhtautumista kysyttiin tutkimusryhmiltä, jotta saatiin selvitettyä virheiden havainnointia.

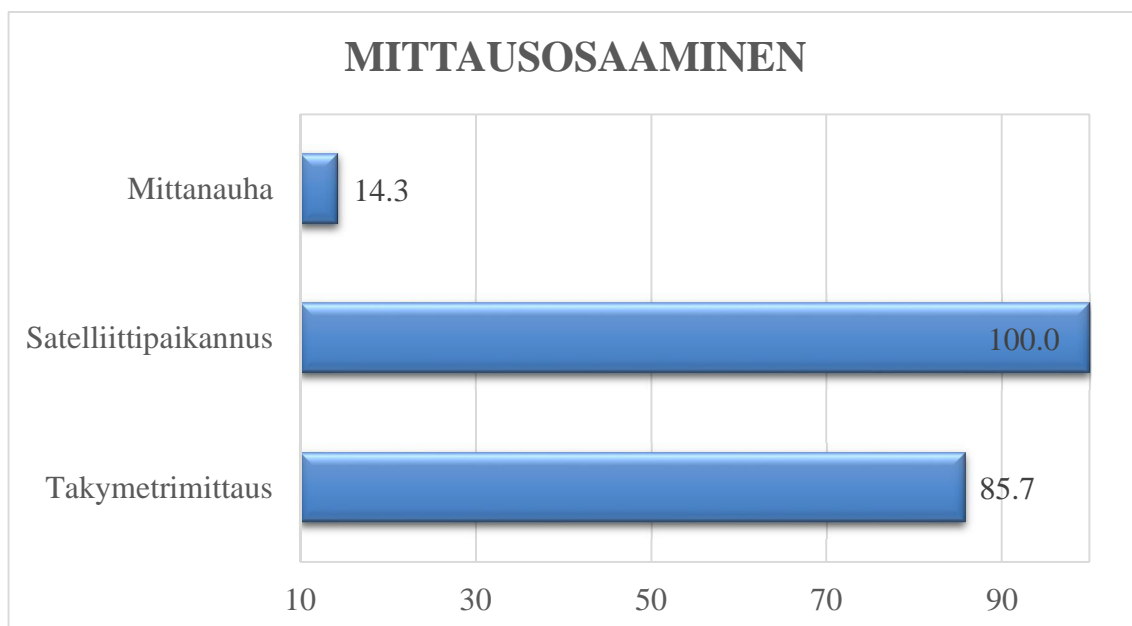
Tutkimuksen lopussa kysyttiin, mitä nykykäytännöissä voitaisiin muuttaa. Alla olevassa luettelossa on esitetty mittaajien vastaukset.

- Laitteiden kalibrointi
- Tarkastaminen aina vanhaan aineistoon, jos se on mahdollista
- Mittaajan tulisi huolehtia kiireestä riippumatta, että laatu säilyy
- Huolellisuus ja tarkkaavaisuus
- Vuosittainen kokoontuminen, jossa voisi jakaa kokemuksia ja käytännön tietoja
- Kiireen ja liian pitkien työpäivien välttäminen
- Laitetekniikan parantaminen
- Pisteverkkojen parantaminen ja ajantasaistaminen
- Lisää koulutustilaisuuksia

7.3. Vertailuryhmä A

Tampereen kaupungin mittaajat haastateltiin samalla lomakkeella kuin tutkimusryhmän mittaajat (Liite 1). Vertailu ryhmien haastattelun avulla selvitettiin, miten erikokoisissa organisaatioissa suhtaudutaan mittausvirheisiin ja miten ne koetaan. Vertailuryhmä A:n haastattelut suoritettiin maalisi-huhtikuussa 2014. Mittaajat haastateltiin kasvokkain ja kysymyslomaketta selvennettiin haastattelujen aikana. Haastatteluihin varattiin aikaa 20 minuuttia henkilöä kohden.

Vertailuryhmä A:n mittaajat hallitsevat hyvin sekä takymetrimittauksen että satelliittipaikannuksen. Muina mittausmenetelminä mainittiin mittanauhmittaus. Kuviossa 7 on esitetty vertailuryhmä A:n mittausosaaminen. Ryhmän mittausosaaminen on nykypäivän tekniikoiden mukainen. Satelliittipaikannuksen hallitseminen ja osaaminen vaatii myös tietoteknisen ohjelmiston osaamista.



KUVIO 7. Vertailuryhmä A:n mittausosaaminen

7.3.1 Vertailuryhmä A:n mittausvirheet ja niiden estäminen

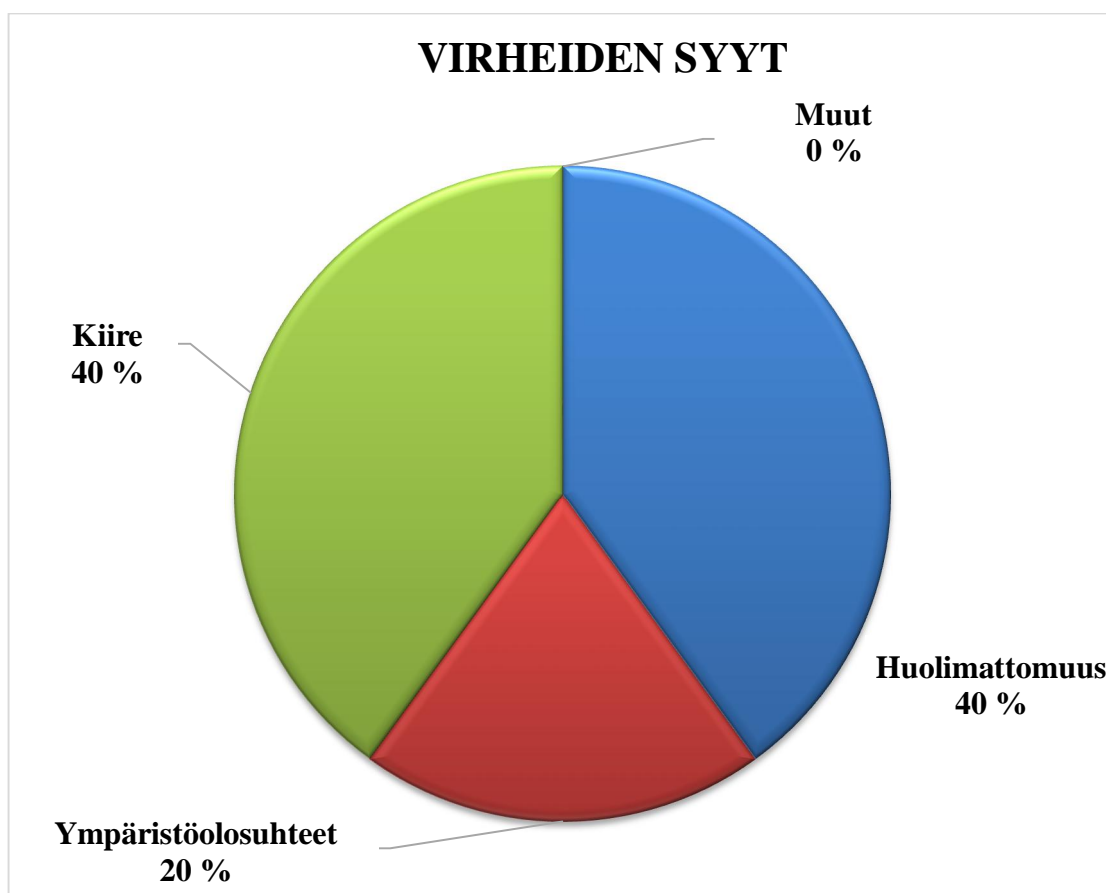
Mittaaajilta kysyttiin, minkälaisia virheitä he ovat työssään huomanneet. Tyypillisimmiksi mittausvirheiksi mainittiin satelliittipaikannuksen korkovirheet. Toiseksi eniten oli laiteasetusvirheitä, sauvakorkeuden asetusvirheitä ja ohjelmistovirheitä. Satelliittipaikannuksen korkovirheiden syntymiseen mittaaaja ei voi suoraan vaikuttaa. Näitä virheitä voi vain välttää oikeilla laitevalinnoilla.

Mittaaaja voi mittauksen aikana seurata satelliittipaikantimen antamia tuloksia. Jos tuloksien luotettavuus alkaa epäilyttää, voidaan mittaus aloittaa alusta, jolloin satelliittipaikannin laskee kojeelle uuden alustuksen. Tämän jälkeen edellisen alustuksen tuloksia voidaan mitata uudelleen. Erilaisten asetusvirheiden tarkistaminen jälkikäteen on haasteellista, mutta mahdollista. Ohjelmistovirheisiin mittaaajan on vaikea puuttua.

Erityisen virhealttiina mittausmenetelmänä pidettiin satelliittipaikannusta (71.4 % vastanneista). Tämä johtui siitä, että mittaaajien oli vaikea havainnoida sitä, mitkä asiat todellisuudessa vaikuttavat satelliittipaikannuksen lopputuloksiin. Satelliittipaikannuksen virhealttius ei tarkoita sitä, että menetelmän mittaukselliset tulokset olisivat epäluotettavia. Mittaamisessa tulee huolehtia siitä, että menetelmä on työhön sopiva ja mittauksen tarkkuus riittävä.

Mittaaajat kokivat, että osa virheistä huomataan ajoissa ja osa jää kokonaan huomaamatta. Osa vastaajista oli sitä mieltä, että virheet huomattiin aina ajoissa ja osan mielestä aina myöhään. Vertailuryhmä A:ssa oli myös vaikeuksia ymmärtää mittausvirhe terminä. Osa vastaajista huomioi virheiksi pienetkin poikkeamat. Pienet poikkeamat ovat kuitenkin osa jokapäiväistä mitaamista.

Tutkimuksessa annettiin vaihtoehtoja virheiden syntymiselle. Vaihtoehtoisissa otettiin kantaa mittaaajan, laitteiston ja ympäristön vaikutukseen mittausmenetelmään. Tämän ryhmän virheitä aiheuttavien syiden järjestys oli huolimattomuus, kiire, kalusto ja ympäristöolosuhteet, (kuvio 8). Ryhmässä tuli vahvasti esiin laitteistojen aiheuttamat virheet.



KUVIO 8. Mittausvirheiden syntymiseen vaikuttavat asiat vertailuryhmä A:ssa.

Mittaajien mielestä virheiden välttäminen onnistuu parhaiten huolellisuudella. Muita virheiden välttämiskeinoja olivat tarkkaavaisuus, kontrollimittaus ja sen tiedostaminen mitä ollaan tekemässä. Vastaukseksi saatiin myös, että mittausvirheitä ei voida estää millään keinolla. Tällä vastauksella tuotiin esille se, että mittausvirheet ovat osa mittaustyötä.

Tutkimuksessa selvitettiin oman työn kontrolloiminen. Lomakkeeseen valittiin kymmenen perusasiaa, joiden avulla omaa mittaustyötä voitaisiin hallita. Vertailuryhmä A:n tulokset on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Vertailuryhmä A: oman työn kontrollointi

| OMAN TYÖN KONTROLLOINTI | MITTAAJAT | | | | | | | | |
|---|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |
| Tarkastan aina lähtötiedot | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 |
| Käytän kiintopisteitä ja pistekortteja | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 |
| Tarkastan mittausaineistoni ennen luovutusta | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| Teen kojeelleni kenttäkalibroinnit (* säännöllisesti) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Huolehdin laitteiston huolloista | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 |
| Osallistun päivityksien yhteydessä koulutukseen | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 |
| teen tarkastuksia epäilyttävissä tilanteissa | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| Muuten | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| kontrollimittaukset | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 |

*) Kenttäkalibrointi opastettu toiminto, jolla voidaan tarkistaa kojeen toimivuutta ja tarkkuutta.

Vertailuryhmän käytännöt poikkesivat toisistaan. Mittaushenkilöstössä ei ollut selkeitä yhtenäisiä käytäntöä, joiden avulla mittauksia ohjataan. Lähtötietojen tarkastaminen oli yleisin vastaus. Kiintopisteiden käyttäminen, laitteiston huolloista huolehtiminen ja osallistuminen koulutukseen olivat yleisiä vastauksia.

Tutkimuksen lopussa kysyttiin mittausvirheisiin suhtautumisesta. Vastaukseksi saatiin, että 43 %:n mielestä virheisiin suhtaudutaan avoimesti, 29 %:n mielestä suhtautumiseen vaikuttavat virheen laatu ja tilanne. Vastaaajista 14 %:lla ei ollut kokemuksia virhetilanteista ja 14 %:n mielestä virheisiin suhtaudutaan huonosti.

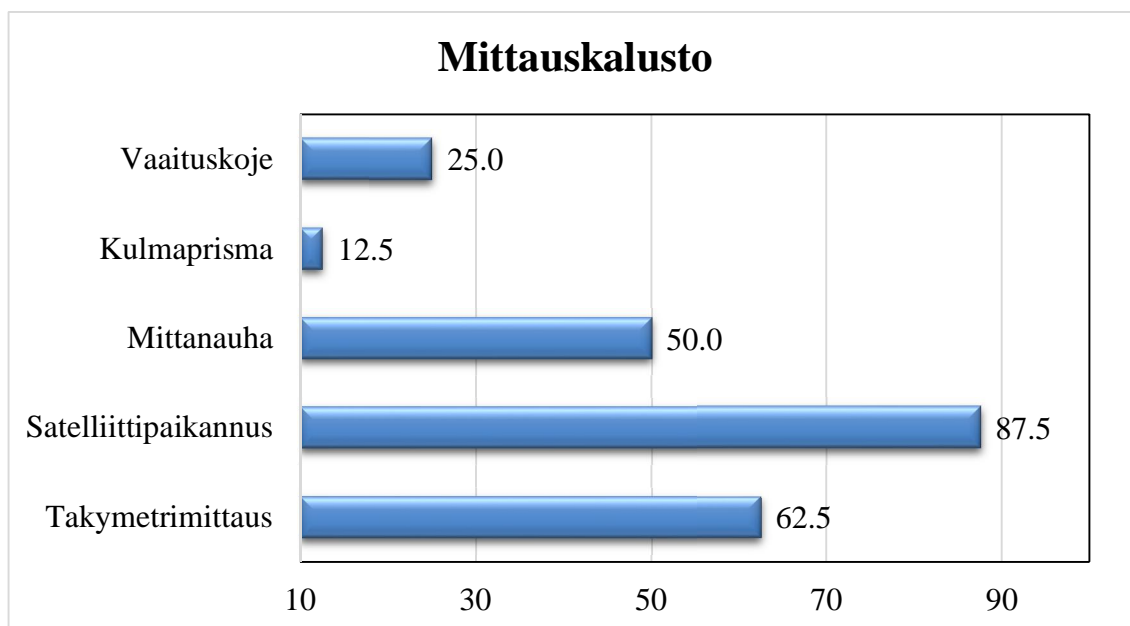
Tutkimuksen lopussa kysyttiin, mitä nykykäytännöissä voitaisiin muuttaa. Alla olevassa luettelossa on esitetty ryhmän A vastaukset.

- Organisaatioon kaikille samanlaiset mittauskalustot
- Mittaajien koulutuksen ja osaamisen monipuolistaminen
- Mittaajien oman huolellisuuden kehittäminen
- Nykykäytännöt hyvät, ei tarvita muutoksia

7.4. Vertailuryhmä B

Ylöjärven kaupungin mittaajat haastateltiin samalla lomakkeella kuin tutkimusryhmä ja vertailuryhmä A:n mittaajat (Liite 1). Haastattelun avulla selvitettiin, miten erikokoisissa organisaatioissa mittausvirheisiin suhtaudutaan ja miten ne koetaan. Haastattelut suoritettiin 15.1.2015. Tähän ryhmään kuului sekä mittaustyönjohtajia että apumiehiä. Haastateltavana oli kahdeksan henkilöä, joiden työkokemus vaihteli muutamasta vuodesta kymmeneen vuosiin. Haastattelut suoritettiin kasvokkain ja kysymyksiä selvennettiin haastattelun aikana. Haastatteluun varattiin aikaa 20 minuuttia henkilöä kohden.

Vertailuryhmä B: n mittausosaamiseen kuuluivat: vaaituskoje, kulmaprisma, mittanauha, satelliittipaikannin ja takymetri, (Kuvio 9) Muista tutkimusryhmistä poiketen tässä ryhmässä ei ollut yhtä yhteistä kalustoa, jonka käytön koko henkilöstö osaisi. Lisäksi tässä ryhmässä mainittiin mittausmenetelmiin myös kulmaprisma, jonka avulla voidaan mitata suoria kulmia maastossa.



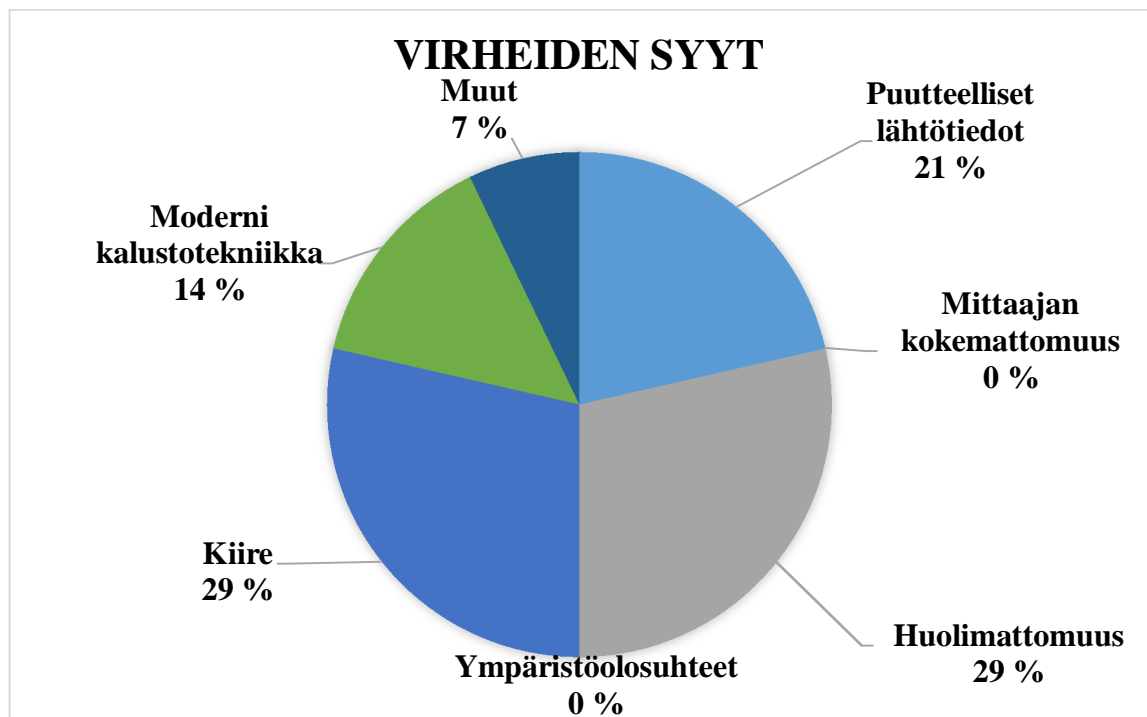
KUVIO 9. Vertailuryhmä B:n mittausosaaminen (%).

7.4.1 Vertailuryhmä B:n mittausvirheet ja niiden estäminen

Vertailuryhmä B:n yleisimmät mittausvirheet olivat laiteasetus, korko, ohjelmisto ja sauvan korkeuden asetukseen liittyvät virheet. Näiden virheiden hallitsemiseen mittaaja voi vaikuttaa erilaisilla rutiineilla. Viriheherkimmäksi mittausmenetelmäksi tässä ryhmässä tuli satelliittipaikannus (87,5 % vastanneista), kuten muissakin tutkimukseen osallistuneissa ryhmissä.

Tässä ryhmässä mittausvirheet huomattiin ajoissa 87,5 %:n mukaan ja liian myöhään 12,5 %:n mukaan. Mittausvirheiden korjaamisen koettiin onnistuvan kaikissa tapauksissa, ja niiden koettiin olevan luonnollinen osa mittaustyötä.

Tutkimuksessa annettiin vaihtoehtoja virheiden syntymiselle. Vaihtoehtoissa otettiin kantaa mittaajan, laitteiston ja ympäristön vaikutukseen mittaussuoritukseen. Virheitä aiheuttavien syiden järjestys oli huolimattomuus, kiire, puutteelliset lähtötiedot ja moderni kalustotekniikka. (Kuvio 10). Huolimattomuus ja kiire ovat riippuvaisia toisistaan, joten molempien esiintyminen ei ollut poikkeavaa. Puutteellisten lähtötietojen vaikutus havaittiin tässä ryhmässä muita ryhmiä selkeämmin. Lähtötietoihin katsottiin kuuluvan kaikki mahdolliset suunnitteluun ja muihin toimenpiteisiin kuuluvat tiedot.



Kuvio 10. Mittausvirheiden syntymiseen vaikuttavat asiat vertailuryhmä B:ssä.

Mittaajilta kysyttiin keinoja mittausvirheiden estämiseen. Huolellisuus oli kaikkien mitaustyötä tekevien mielestä tärkein keino. Muita keinoja olivat mittaajan tarkkaavaisuus, työn kontrollointi ja se, että mittaajan pitää tiedostaa mitä tekee. Nämä keinot ovat osa huolellisuutta, mutta ne haluttiin nostaa esille niiden tärkeyden takia.

Vertailuryhmä B:n tulokseksi saatiin, että mittausvirheisiin suhtaudutaan hyvin 62,5 %:n mukaan, huonosti 12,5 %:n mukaan, riippuu tilanteesta ja kohteesta 12,5 %:n mukaan ja yhdellä haastatteluun osallistuneella ei ollut kokemusta mittausvirheistä. Yleisesti mittausvirheisiin suhtauduttiin hyvin tässä ryhmässä eikä mittausvirheistä puhumista koettu ongelmalliseksi.

Tutkimuksessa selvitettiin oman työn kontrolloiminen. Lomakkeeseen valittiin kymmenen perusasiaa, joiden avulla omaa mitaustyötä voitaisiin hallita. Vertailuryhmä B:n tulokset on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Vertailuryhmä B:n omantyön kontrollointi

| OMAN TYÖN KONTROLLOINTI | MITTAAJAT | | | | | | | | | |
|---|-----------|---|---|---|---|---|---|---|--|------|
| | | | | | | | | | | Yht. |
| Tarkastan aina lähtötiedot | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | | 3 |
| Käytän kiintopisteitä ja pistekortteja | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | | 2 |
| Tarkastan mittausaineistoni ennen luovutusta | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 1 |
| Teen kojeelleni kenttäkalibroinnit säännöllisesti | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | | 5 |
| Huolehdin laitteiston huolloista | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 2 |
| Osallistun päivityksien yhteydessä koulutukseen | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 1 |
| Teen tarkastuksia epäilyttävissä tilanteissa | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | | 3 |
| Muuten, miten? | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| Kontrollimittaukset | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 1 |

Oman työn kontrollointi oli ryhmässä vähäistä ja eri osa-alueisiin painottuvaa. Kaikkiin kaavakkeen vaihtoehtoihin saatiin vastauksia. Ryhmältä puuttuvat yhtenäiset käytännöt, joilla työtä kontrolloidaan. Kenttäkalibroinnin tärkeys oli erikoisen hyvin tiedossa tässä ryhmässä.

Tämän ryhmän työjärjestelyt poikkeavat, muiden ryhmien töistä. Ryhmässä työtehtävät olivat henkilösidonnoisia, mikä osittain selittää yhteisten käytäntöjen puuttumista. Jokaisella työntekijällä oli oma työnkuva, eikä henkilön poissa ollessa hänen tehtäviään ei hoi-
tanut kukaan muu. Tämä käytäntö koettiin huonoksi ja siihen toivottiin parannusta.

Tutkimuksen lopussa kysyttiin, mitä nykykäytännöissä voitaisiin muuttaa. Alla olevassa luettelossa on esitetty ryhmän B vastaukset.

- Koulutuksen lisääminen ja monipuolistaminen
- Tiedonkulun parantaminen
- Töiden organisoinnin kehittäminen
- Työtehtävien uudelleen järjestely
- Nykykäytännöt ovat hyvät
- Mittaajien tarkkaavaisuus
- Kaikille samanlaiset mittauskalustot

7.5. LAITEMAAHANTUOJAT

Tässä työssä oli tarkoitus selvittää myös laitemaahantuojiin ja jälleenmyyjien suhtautumista erilaisiin mittausvirheisiin ja siihen, missä niitä tavataan. Kyselykaavake, (liite 2) lähetettiin kolmelle maahantuojoille, joista vain yksi vastasi määräaikaan mennessä. Tutkimuksessa haluttiin selvittää, miten paljon yhteydenottoja ongelmatilanteissa tulee ja kuinka ne vaikuttavat esim. laitekoulutus tilaisuuksien kehittämiseen.

Laitemaahantuoja oli kohdannut mittavirheitä kaikilla eri kalustoilla. Virheiden syyksi oletettiin mittaajan huolimattomuutta, kaluston väärää käsittelyä ja kalibroinnin laiminlyöntiä. Virheiden välttäminen olisi mahdollista, jos mittaaja olisi tietoinen siitä, mitä on tekemässä. Mittaajan huolellisuutta ja vastuuta pidettiin tärkeänä. Laitemaahantuojan mielipide virheiden syistä oli sama kuin eri tutkimusryhmien.

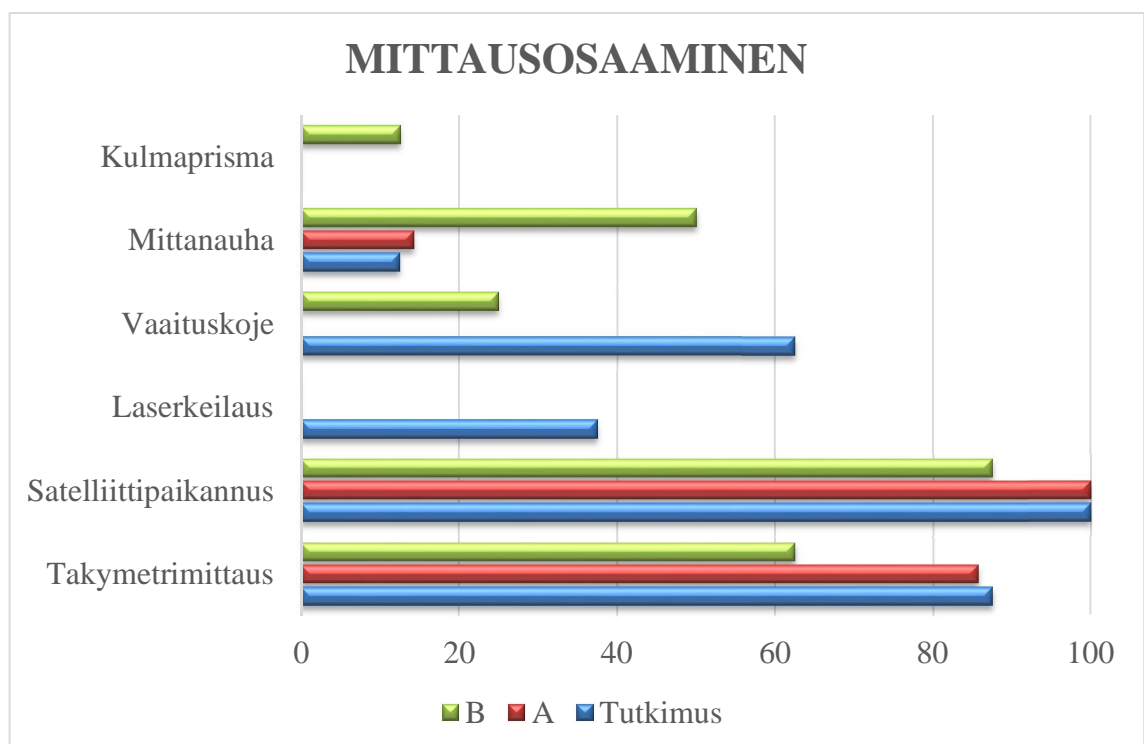
Maahantuojoilta kysyttiin, mikä laitteisto vaatii eniten huolellisuutta. Kaikki kalustot vaativat huolellisuutta, jotta virheitä ei synny. On myös tärkeää, että mittaaja käyttää oikeanlaista kalustoa. Siihen, miten maahantuoijat voisivat parantaa omaa toimintansa, ei saatu vastausta.

7.6. RYHMIEN VERTAILU JA ONGELMAKOHDAT

Ryhmien vastausten analysoinnissa tuli huomioida, että mittaajien työtehtävät olivat erilaisia. Vertailuryhmien työtehtävät olivat kapea-alaisemmat kuin tutkimusryhmällä ja työskentely-ympäristöt poikkesivat toisistaan useilla eri tavoilla. Tutkimusryhmän mittaajat työskentelevät jatkuvasti eri koordinaattikaistoilla ja eri tilaajien alaisuudessa, kun taas vertailuryhmien työt olivat aluesidonnaisia.

Mittaajien vastuu ja oma-aloitteisuus olivat erilaisia. Tämä johtui organisaatioiden rakenteista. Vertailuryhmä A:ssa oli selkeä asetelma, että virheet johtuvat laitteista. Asetelma vaikuttaa tutkimusryhmän tuloksiin, sillä asian tarkastelusta jäi pois useita osa-alueita ja mahdollisuuksia.

Kaikissa ryhmissä päämittausmenetelmät olivat takymetrimittaus ja satelliittipaikannus, (Kuvio 11). Tämä kuvastaa nykypäivän kehitystä ja teknologian hyödyntämisen merkitystä.



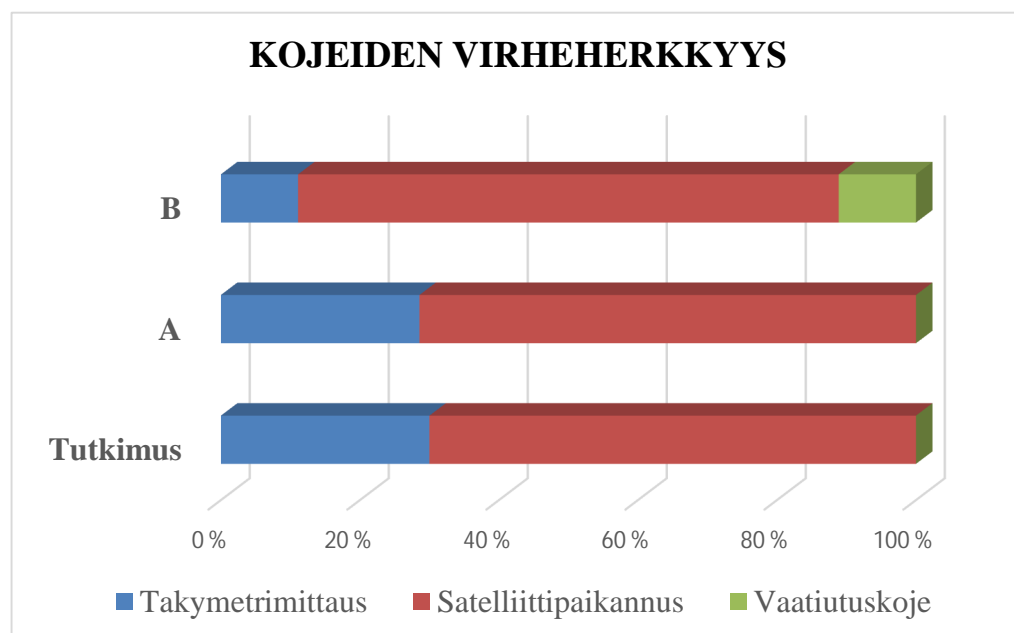
KUVIO 11. Tutkimusryhmien mittausosaaminen, %.

Tutkimusryhmän osaaminen kuvaa nykypäivän mittauskäytäntöjä ja sitä, että yksityisen konsulttitoimiston mittaushenkilöstössä kaikki ovat valmiita suorittamaan eri tehtäviä. Ryhmä A on keskittynyt nykytekniikoiden käyttöön ja ryhmä B hyödyntää kaikkia perusmittausmenetelmiä. Tutkimustulos osoittaa, että mittausosaaminen on kaikissa ryhmissä samankaltaista. Organisaation koolla ei ole vaikutusta mittausosaamiseen. Tutkimusryhmän kannalta mittausosaaminen vastasi odotuksia. Mittaustyöskentely ympäristöjen erilaisuus ei vaikuttanut mittausosaamiseen.

Satelliittipaikannus osoittautui virheiden kannalta haasteellisimmaksi menetelmäksi. Muiden menetelmien virheet olivat helpommin havaittavissa, ja niitä voitiin paremmin estää. Satelliittipaikannuksen virheisiin huomioitiin myös mittausmenetelmälle ominaiset korkeusvaihtelut. Satelliittipaikannuksen sopivuutta kaikkiin mittauskohteisiin tulee aina harkita tapauskohtaisesti.

Tutkimusryhmän ja vertailuryhmän A: n tulokset laitteiden virheherkkyydestä olivat hyvin samalaiset. Virheherkkyys havaittiin yleisimmissä mittausmenetelmissä. Ryhmä B:ssä virheitä huomioitiin esiintyväksi kaikissa käytössä olevissa eri mittausmenetelmissä.

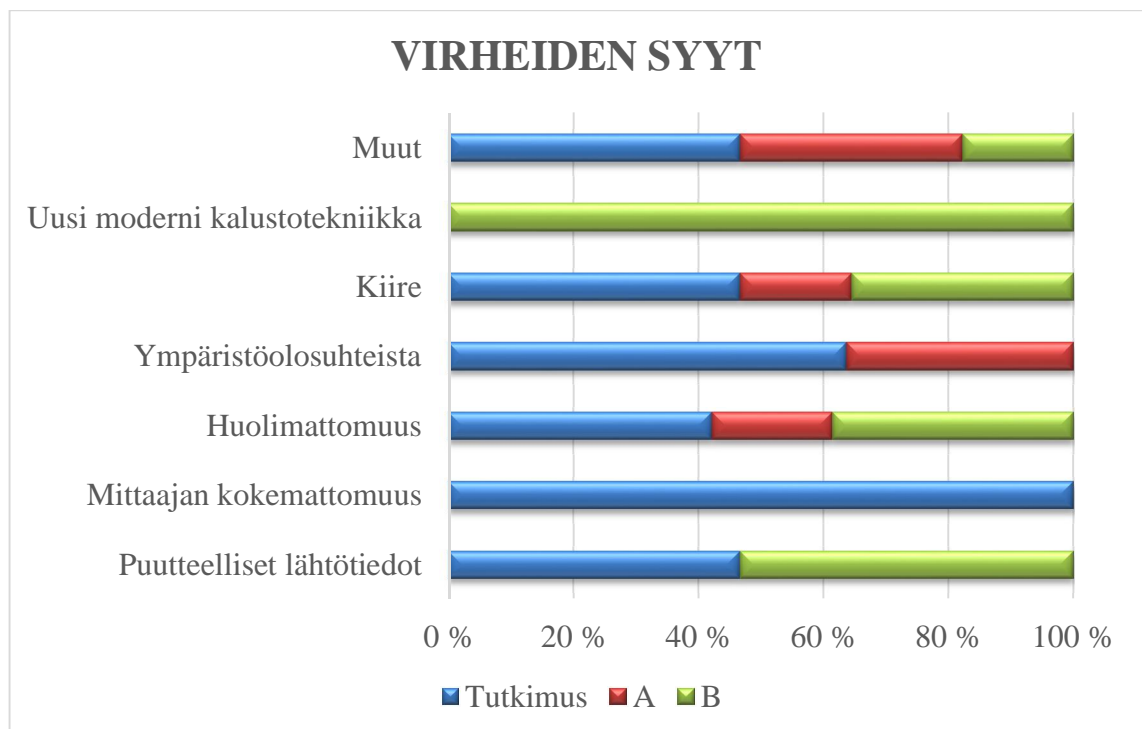
Kuviossa 12 on esitelty ryhmien vastaukset mittauskojeiden virheherkkyydestä. Haastattelussa kysyttiin herkintä mittausmenetelmää. Tämä sanamuoto saattoi vaikuttaa tutkimusryhmän ja ryhmän A: n vastauksiin.



KUVIO 12. Mittauskojeiden virheherkkyys % :na.

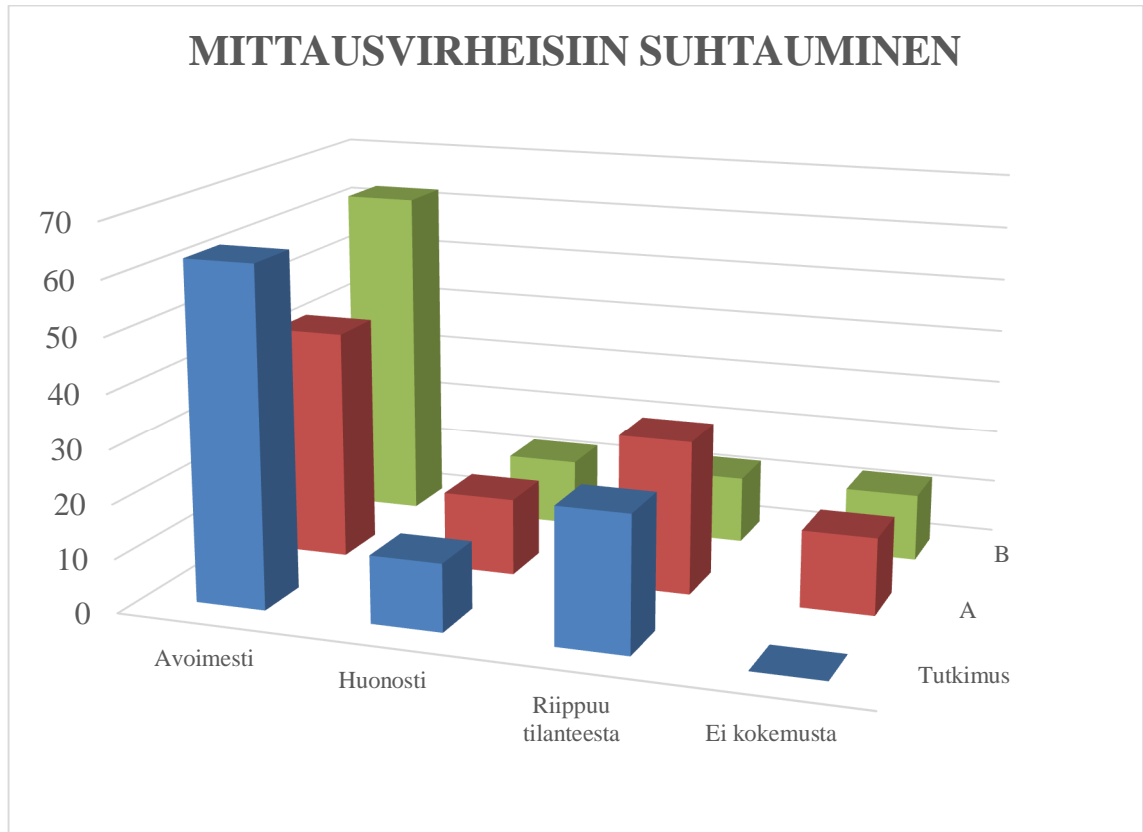
Mittausvirheiden syitä selvitettiin kuuden eri vaihtoehdon ja avoimen kommenttikentän avulla. Kaikkiin vaihtoehtoihin saatiin vastauksia. Kaikkien ryhmien mielestä mittausvirheiden syntymiseen vaikuttaa eniten kiire ja huolimattomuus. Lisäksi kaikki ryhmät nimesivät muita vaihtoehtoja. Kuviossa 13 on esitelty vastausten jakautuminen.

Yksi ryhmä koki, että nykyaikainen tekniikka heikentää mittauksen laatua. Toisen ryhmän tuloksista näkyi se, että mittaajan kokemattomuus vaikuttaa tuloksien oikeellisuuteen. Kaksi ryhmää kokivat ympäristöolosuhteilla olevan vaikutusta mittaustuloksiin. Erityisesti satelliittipaikannuksen ja ympäristöolosuhteiden välillä oli vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi kaksi ryhmää koki puutteellisten lähtötietojen johtaneen mittausvirheisiin. Mittaustyö on suuri prosessi, jonka viimeisenä vaiheena on maastotyöskentely, joten virhe voi olla peräisin myös suunnitelmista tai tietojen kasaamisvaiheesta. Tällöin mittaaja vain todentaa tapahtuneen virheen.



KUVIO13. Mittausvirheiden syyt %:ina.

Mittausvirheisiin suhtautuminen jakaantui ryhmässä haastateltujen kesken. Ryhmien väliset suhteelliset osuudet olivat samankaltaiset, (Kuvio 14). Kaikissa ryhmässä oltiin sitä mieltä, että mittausvirheisiin suhtaudutaan rakennusalalla hyvin. Mittausvirheiden katsottiin olevan osa joka päiväistä työtä. Niiden syntymistä vältetään kaikilla keinoilla, mutta esiintymisen ei katsottu olevan huolenaihe.



KUVIO 14. Mittausvirheisiin suhtautuminen %:na.

Mittaustyön laadukkuuden parantamista pidettiin ryhmissä tärkeänä asiana. Parannuksia toivottiin sekä laitteistojen valmistajilta että työnantajilta. Mittaajien oman osaamisen kehittämistä ja koulutuksen ajantasaisuuden ylläpitoa pidettiin merkittävänä. Alan jatkuva kehittyminen edellyttää mittaajilta jatkuvaa perehtyneisyyttä, jotta työ sujuu hyvin. Myös ryhmien sisäinen tiedonkulku koettiin merkitykselliseksi.

7.7. YRITYKSEN LAATUTARKASTELU

Mittaustyön laatua tarkasteltaessa on aina muistettava, että mittaustulokset eivät ole ikinä absoluuttisesti samanlaisia. Mittaustyön laatua ei voi todentaa täysin esimerkiksi työn toistettavuudella, mutta sitä voidaan tarkastella mittaajien tekemien valintojen, lähtötietojen tarkkuuden, lopputuloksien jäljitettävyyden ja oman työn kontrolloinnin avulla.

Tässä työssä tarkastellaan tutkimusryityksen käytäntöjen toimivuutta. Haastattelussa saatiin selville mittaustyön tekijöiden laiteosaaminen, virheiden tunnistettavuus ja virheisiin vaikuttavat asiat. Näiden avulla voidaan todentaa tutkimusryhmän valmiudet ja vahvuudet.

Monipuolinen laiteosaaminen kertoo tutkimusryityksen osaamisesta, sillä mittaajat pysyvät työssään tekemään valintoja, joiden avulla voidaan välttää virheitä. Laitteisto-osaamisen jakautuminen mittaajien kesken oli hyvä asia, koska koko henkilöstö voi hoitaa monipuolisesti erilaisia tehtäviä.

Tutkimusryhmässä virheitä havaittiin monissa eri tilanteissa eli niitä tunnistettiin hyvin. Virheisiin vaikuttaviksi tekijöiksi nimettiin useita eri asioita. Mittausvirheiden kokonaisuus havaittiin hyvin tutkimusryhmässä.

Tutkimusryhmän mittaustyön laadussa ei havaittu puutteita, jotka vaikuttaisivat mittaustulosten laatuun. Mittaustyön laadun säilyttämisen ja parantamisen kannalta olisi tärkeää, että organisaation henkilöstöllä olisi samankaltaiset käytännöt ja perusasettelu mittaustyön suorittamisessa.

Tutkimusryhmällä oli toimivat käytännöt ja valmiudet suorittaa maastomittaustehtäviä. Vahvuuksia olivat monipuolinen osaaminen ja joustavuus. Parannettavaa oli yhteisten käytäntöjen täsmentämisessä ja toteutuksessa.

7.8. OHJEEN KÄYTTÖÖNOTTO JA TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

Tutkimuksen avulla laadittiin maastomittauksen menettelyohje osaksi laatukäsikirjaa. Ohjeessa esitettiin mittaajan velvollisuudet ja vastuut sekä laadittiin mittaustyön suoritusohje. Työnsuoritusohjeessa huomioitiin, että jokainen mittaustyö on ainutkertainen. Tästä johtuen ohjeessa painotettiin mittaajan vastuuta mittaustyön suorittamisessa ja mitauskaluston valitsemisessa. Ohje on luovutettu työn tilaajalle, ja se otetaan organisaatiossa käyttöön kevään 2015 aikana. (Liite 4).

Tutkimuksessa havaittujen ongelmakohtien poistamiseksi tulisi ryhtyä toimenpiteisiin. Mittaustyön suorituksen toteutukselle pitäisi antaa tarpeeksi aikaa, jotta huolimattomuus ja kiire voidaan välttää. Lähtötietojen tarkastaminen olisi helpompaa kiireettömässä ympäristössä.

Ylläpitokoulutusta tulisi tehostaa tutkimusryhmien osalta. Ylläpitokoulutukseen voitaisiin laatia organisaation sisällä omat ohjelmat ja ajankohdat. Ohjelmiston laadinnassa tulisi huomioida organisaation tarpeet sekä pyytää mittaajilta asialista, joka käsiteltäisiin koulutuksen yhteydessä. Tällöin koulutus saataisiin paremmin toimintaa kehittäväksi ja yrityksen tarpeita palvelevaksi.

Koulutustilaisuuden yhteydessä olisi hyvä käydä läpi mahdollisia ongelmatilanteita tai läheltä piti tilanteita. Tällöin saataisiin parempi käsitys siitä, minkälaisissa tilanteissa virheitä saattaa tulla. Tiedon jakaminen parantaa muiden mahdollisuuksia huomioida oman toimintamallinsa puutteet.

Ohjelmistojen jatkuva kehittyminen edellyttää kouluttautumista. Koulutuksen sisältöön tulisi lisätä laitteiden kalibroinnin eli säätämisen merkitys. Osassa laitteistoja on ohjelmoitu selkeä mittaussarja, jolla voidaan todentaa laitteen käyttökelpoisuus tai huollontarve. Koska käytössä on monen eri valmistajan laitteistoja, ei voida olettaa, että tämä asia on kaikille tuttua.

Laitteistojen päivityksen yhteydessä tulisi organisaatiossa sopia, että muutokset kirjataan ja tiedot viedään kaikkien saataville. Maahantuojien tulisi tarjota päivityksiin liittyvää koulutusta.

8 POHDINTA

Maastomittauksen historia on pitkä ja sen kehitys on edennyt viime vuosina uudelle tasolle. Nykyajan mittauskalustot ovat erilaisia monitoimityökaluja, joiden avulla voidaan tallentaa sekä numeerisia että visuaalisia tietoja. Nykyajan mittauskäytännöt ovat monipuolisia ja tarkkoja. Mittaustyö edellyttää mittaajilta erikoisosaamista. Tämä osaaminen vaatii kuitenkin koulutusta ja jatkuvaa perehtyneisyyttä asiaan. Mittaajat eivät saa unohtaa vanhoja menetelmiä tai käytäntöjä täysin, koska jos mittaaja ei osaa tarkistaa mittaamaansa tulosta, mittaustulosten luotettavuus vaikeutuu merkittävästi.

Mittaustyöhön suhtautumiseen vaikuttavat monet osatekijät, joista tärkein on mittaajan oma osaaminen. Mittausvirheiltä ei voida täysin välttyä, mutta niiden tunnistettavuutta voidaan parantaa mittaajien ammattitaidon ylläpidolla. Mittaajien on vaikea saada ylläpitokoulutusta, vaikka laitteet kehittyvät jatkuvasti. ATK-ohjelmistojen myötä mittauksien lopputulokset tulevat helposti suoraan mittalaitteesta. Mittaajien on kuitenkin muistettava, että nämä tulokset vaativat monia erilaisia matemaattisia ratkaisuja ja laskelmia.

Maastomittauksessa esiintyvien mittausvirheiden havaitseminen ei aina ole helppoa, mutta sitä voidaan parantaa oman työn kontrolloinnin avulla. Organisaation omilla ohjeilla ja rutiineilla on virheitä vähentävä vaikutus. Tämän takia organisaation on syytä panostaa selkeisiin käytäntöihin, joiden avulla voidaan parantaa mittaustulosten laatua.

Mittaustyön ympäristöllä on vaikutusta mittaajien käyttäytymiseen ja asenteisiin. Kun työtehtävät ovat vaihtelevia, mittaajan on helpompaa kontrolloida omaa työnsuoritustaan. Mittaajien pitäisi pystyä kontrolloimaan työtä myös yksipuolisemmissä ja samankaltaisissa työtehtävissä. Mittaajien ei tulisi luottaa täydellisesti laitteiden automaatioon.

Mittaustyön laatu koostuu ammattitaidosta, käytännöistä ja kokemuksesta. Laadukas mittaustyö edellyttää valmistelua ja huolellista työskentelyä. Laadukkaat mittaustulokset saavutetaan oikeilla laitevalinnoilla ja tilanteen hallinnalla.

LÄHTEET

Salmenperä Hannu. Maasto- ja rakennusmittausten perusteet. Opetusmoniste 5/2004. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto.

Laurila Pasi. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3. Rovaniemi 2012.

Rantanen Pasi. Maastomittauksenperusteet. Vammalan kirjapaino Oy 2001.

Pasi Häkli, Jyrki Puupponen, Hannu Koivula, Markku Poutanen. Suomen geodeettiset koordinaatit ja niiden väliset muunnokset, tiedote 30. Geodeettinen laitos 2009.

Kimmo Jäppinen. Maankäyttö (1) 2003

Geodeettinen laitos Teematieto paikannussatelliittijärjestelmät
<http://www.fgi.fi/fgi/fi/teemat/paikannussatelliittij% C3% A4rjestelm% C3% A4t>
(saatavilla 15.10.2014)

Maanmittauslaitos <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/kartoitus/gps-mittaus> (Luettu 19.10.2014)

Risto Jäppinen, <http://www.geostar.fi/huolto/mittaukset-taerkeae-osa-rakentamista/> Luettu 29.10.2014

Maanmittauslaitos Kaavoitusmittaohje MML/1/012/2003 31.1.2003

LIITTEET

Liite 1. Mittaajien haastattelu lomake

1(3)

MITTAAJAN HAASTATTELULOMAKE

1) Mitä mittauskalustoa käytät?

Takymetrimittaus Laserkeilaus Satelliittipaikannus Muu, mikä

2) Missä mittausmenetelmässä olet havainnut virheitä?

3) Minkälaisia virheitä?

(jatkuu)

2(3)

4) Olisiko virheiltä voitu välttyä/miten?

5) Miten tilanne huomattiin ja mitä tehtiin, huomattiinko virhe liian myöhään?

6) Mistä virhe johtui?

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Puutteelliset lähtötiedot | <input type="checkbox"/> Kiire |
| <input type="checkbox"/> Mittaajan kokemattomuus | <input type="checkbox"/> Uusi modernikalustotekniikka muu, |
| <input type="checkbox"/> Huolimattomuus | <input type="checkbox"/> mikä? _____ |
| <input type="checkbox"/> Ympäristö olo-suhteista | _____ |

7) Onko mielestäsi jo mittausmenetelmä muita herkempi mittausvirheille?
Miksi?

(jatkuu)

3(3)

8) Miten mittaaja voi estää mittausvirheiden syntymisen?

9) Miten kontrolloit omaa mittaustyötäsi?

- Tarkastan aina lähtötiedot
- Käytän kiintopisteitä ja pistekortteja
- Tarkastan mittausaineistoni ennen luovutusta
- Teen kojeelleni kenttäkalibroinnit säännöllisesti
- Huolehdin laitteiston huolloista
- Osallistun päivityksien yhteydessä koulutukseen
- teen tarkastuksia epäilyttävissä tilanteissa muuten, mi-
- ten?

10) Miten mittausvirheisiin suhtaudutaan yleisesti ottaen?

- Hyvin Huonosti

11) Miten nykykäytäntöjä voisi muuttaa?

KIITOS !

Liite 2. Laitemaahantuojan kyselykaavake

LAITEMAAHANTUOJIEN KYSELYKAAVAKE

1(2)

1) Minkälaisiin mittausvirheisiin olette törmänneet?

2) Mistä virheet johtuivat?

3) Oliko virheet voitu välttää, miten?

(jatkuu)

4) Mikä mittausmenetelmä vaatii mittaajalta eniten huolellisuutta?

- | | | | |
|---------------------------|--------------------------|--------|-------|
| Takymetrimittaus | <input type="checkbox"/> | koska, | _____ |
| Satelliittipaikan- nus | <input type="checkbox"/> | koska, | _____ |
| Laserkeilaus | <input type="checkbox"/> | koska, | _____ |

5) Mikä mielestänne on suurin syy mittausvirheiden syntymiseen?

- | | | | |
|---------------------------|--------------------------|--------|-------|
| Mittaajan osaaminen | <input type="checkbox"/> | koska, | _____ |
| Kalusto | <input type="checkbox"/> | koska, | _____ |
| Ympäristö olosuh- teet | <input type="checkbox"/> | koska, | _____ |
| Muu, mikä | | | |

(jatkuu)

6) Onko maahantuojan toiminnassa parannettavaa?

- Ohjeistus
- Koulutus, opastus
- Päivityspalveluissa
- Muu, _____

KIITOS VASTAUKSISTA!



Kartoitettavien kohteiden pistekeskivirheet laskettuna määrittämisen perustana olevien kiintopisteiden suhteen on esitetty seuraavissa taulukoissa.

Mittausluokassa 1 on kaksi vaatimustasoa. Mittausluokan yleiset tarkkuusvaatimukset on tarkoitettu lähinnä 1:1000- mittakaavaisten karttojen tulostamiseen tarkoitetuille karttatietokannoille.

Tarkempaa vaatimustasoa, mittausluokkaa 1e, suositellaan käytettäväksi, jos karttatietokanta on tarkoitettu käyttöön osana kunnan maastotietojärjestelmää ja hyödyntää suurta tarkkuutta edellyttävässä teknisessä suunnittelussa.

Taulukoissa on käytetty julkaisun Kaavan pohjakartta 1997 karttakohdemallin mukaisia kohteita. Mittausluokassa 1e on yleensä tarpeellista käyttää myös karttakohdemallia tarkempaa kohdeluokitusta ja kauttaaltaan kolmiulotteista mallinnusta.

Mittausluokassa 2 karttatietokannalta edellytetään taulukossa esitettyjä tarkkuuksia kartan mittakaavasta riippumatta.

Mittausluokassa 3 on esitetty myös väljemmät tarkkuusvaatimukset 1 : 5000 -mittakaavaisia karttoja varten.

Mittausluokassa 2 karttatietokannalta edellytetään taulukossa esitettyjä tarkkuuksia kartan mittakaavasta riippumatta.

Mittausluokassa 3 on esitetty myös väljemmät tarkkuusvaatimukset 1 : 5000 -mittakaavaisia karttoja varten.

2(5)

Määrityksen pistekeskivirhe [m]

| Rakennukset ja rakennelmat | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|----------|----------|---------------|---------------|
| Mittausluokka | 1e | 1 | 2 | 3 | |
| Kohde | | | | 1:2000 | 1:5000 |
| Rakennuksen | | | | | |
| -seinälinja | 0.15 | 0.3 | 0.5 | 1.5 | 3.0 |
| -yksityiskohta | 0.15 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 3.0 |
| Rakennelman seinälinja | 0.20 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 3.0 |
| Rakennelmaviiva | 0.20 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 5.0 |
| Tukivaijeri | 0.20 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 5.0 |
| Kannatinpylväs | 0.20 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 5.0 |
| Ilmarata | 0.20 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 5.0 |
| Aita | 0.20 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 5.0 |
| Tukimuuri | 0.20 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 5.0 |
| Portaat | 0.20 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 5.0 |
| Masto | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 7.5 |
| Pohjavesikaivo | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 7.5 |
| Suihkukaivo | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 7.5 |
| Muistomerkki | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 7.5 |
| Savupiippu | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 7.5 |
| Johdot | | | | | |
| Johto tai kaapeli | 0.20 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 10.0 |
| Pylväs | 0.20 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |
| Johdon tai kaapelin rakennelma | 0.20 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |

(jatkuu)

Määrityksen pistekeskivirhe [m]

| Liikenne | | | | | |
|----------------------------|------|-----|-----|--------|--------|
| Mittausluokka | 1e | 1 | 2 | 3 | |
| Kohde | | | | 1:2000 | 1:5000 |
| Liikenneväylän reuna | | | | | |
| -kestopäällystetty | 0.20 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 3.0 |
| -päällystämätön | 0.50 | 1.0 | 1.5 | 2.5 | 5.0 |
| -rakenteilla | 0.50 | 1.0 | 1.5 | 2.5 | 5.0 |
| Kevytväylän reuna | | | | | |
| -päällystetty | 0.20 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 3.0 |
| -päällystämätön | 0.50 | 1.0 | 1.5 | 3.0 | 5.0 |
| -polku | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 5.0 | 20.0 |
| Liikennealueen reuna | | | | | |
| -päällystetty | 0.20 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |
| -päällystämätön | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 10.0 |
| Raide | 0.20 | 0.5 | 1.5 | 2.5 | 3.0 |
| Sillan reuna | 0.20 | 0.5 | 1.5 | 2.5 | 5.0 |
| Siltapilari | 0.20 | 0.5 | 1.5 | 2.5 | 5.0 |
| Henkilö- ja lastauslaituri | 0.20 | 0.5 | 1.5 | 2.5 | 5.0 |
| Tunnelin suu | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 7.5 |
| Rummun suu | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 7.5 |
| Suojakaide | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 7.5 |
| Lähestymisvalo | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 7.5 |
| Merenkulun turvalaite | 0.50 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 10.0 |

(jatkuu)

Määrityksen pistekeskivirhe [m]

| Maasto | | | | | |
|------------------------------------|-----------|----------|----------|---------------|---------------|
| Mittausluokka | 1e | 1 | 2 | 3 | |
| Kohde | | | | 1:2000 | 1:5000 |
| Maastokuvion reuna | | | | | |
| -yksikäsitteinen | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 10.0 |
| -epämääräinen | - | - | - | - | - |
| Rakennetun maan reuna | | | | | |
| -yksikäsitteinen | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 10.0 |
| -epämääräinen | - | - | - | - | - |
| Rakennettu jyrkäne | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 10.0 |
| Luonnon jyrkäne | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 15.0 |
| Luiskan reuna | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 3.0 | 10.0 |
| Kivi | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 15.0 |
| Kasvillisuus | | | | | |
| Puu | 0.7 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 10.0 |
| Puurivi | 0.7 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 10.0 |
| Vesistöt | | | | | |
| Rantaviiva | | | | | |
| -yksikäsitteinen | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 7.5 |
| -epämääräinen | - | - | - | - | - |
| Säännöstellyn vedenpinnan yläreuna | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 5.0 | 15.0 |
| Ojan (leveän) reuna | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 5.0 |
| Oja, puro | | | | | |
| -yksikäsitteinen | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 5.0 |
| -epämääräinen | - | - | - | - | - |
| Lähde | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 20.0 |
| Vesikivi | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 20.0 |

(jatkuu)

Korkeustarkkuus

Korkeuskäyrällä olevan pisteen tai numeerisesta korkeusmallista interpoloidun pisteen korkeuskeskivirhe (dh) saa olla enintään

| | |
|---|-----------------|
| $dh = 0.3 \text{ m} + 1.0 \text{ m} * \tan v$ | mittausluokka 1 |
| $dh = 0.5 \text{ m} + 2.0 \text{ m} * \tan v$ | mittausluokka 2 |
| $dh = 1.0 \text{ m} + 5.0 \text{ m} * \tan v$ | mittausluokka 3 |

$v =$ maaston kaltevuus

Erittäin vaikeassa rikkonaisessa maastossa keskivirhe saa olla kaksinkertainen.

Kartassa esitetyn maanpinnan korkeusluvun keskivirhe (dh) saa olla enintään

| | |
|----------------------|-----------------|
| $dh = 0.3 \text{ m}$ | mittausluokka 1 |
| $dh = 0.5 \text{ m}$ | mittausluokka 2 |
| $dh = 1.0 \text{ m}$ | mittausluokka 3 |

Liite 4: Geopalvelu Oy Kartoitus ja merkintämittausta yleisohje

1(4)

KORVAA OHJEEN: -
TYÖN SUORITTAJA: Mittaushenkilö
VASTUUHENKILÖ: Mittaushenkilö

Tavoite

Yleisohje työmaille, joilla kartoitetaan erilaisia maastomalleja ja mitataan pohjatutkimuspisteitä.

Huomioon otettava

Mittaajan on selvitettävä työmaakohtaiset koordinaatit ja erityispiirteet. Mittaajan on tarvittaessa huomioitava kiinteistön kaapeli- ja johtotiedot. Luovutettaviin tiedostoihin on merkittävä selvästi, mitä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmää mittauksissa on käytetty.

Mittaustarkkuuden ja maasto-olosuhteiden mukaisesti valitaan tarvittava kalusto. Liitteessä 1 on esitelty Maanmittauslaitoksen kaavoitusohjeen mukaisia laitevalintasuosituksia. Kartoitus ja pintavaaitys tehdään satelliittipaikantamalla, takymetrillä tai näiden yhteiskäyttömenetelmällä. Mittausten aloituksen yhteydessä mittaja selvittää onko kyseessä yksittäinen mittaustyö vai onko kyseessä suurempi kokonaisuus ja tarvittaessa tekee jatkuvaan työhön liittyvät järjestelyt.

Työohje

Kartoitus tulee tehdä sovitulla koodituksella ja sovitussa koordinaatistossa. Mittauskalustoksi tulee aina valita se kalusto, jolla päästään haluttuun mittaustarkkuuteen. Mittauksissa voidaan käyttää myös useampaa mittaustekniikkaa samanaikaisesti. Mittaustyön tiedot tulee yhdistää ennen toimistolle toimittamista. Tiedot tulee myös tarkistaa.

Mittaustyön kontrollointi

Takymetrimittauksessa on huomioitava, että mittauksen aloituksessa koje on kunnossa ja tarkastettu. Myös kaikkien apuvälineiden kunto on tarkastettava ennen mittauksen aloittamista. Mittauksen suorituksessa on huomioitava prismavakion määritys ja prismasauvan korkeusasetukset.

Satelliittipaikannuksen aloittamisessa tulee tarkastaa tallentimen asetukset. Erityisen tarkasti tulee huomioida koordinaattijärjestelmiin liittyvät asetukset. Satelliittimittauksissa tulee tarkastaa mittaukset tunnettuun kiintopisteeseen tai mittaus tulee alustaa uudelleen ja tehdä tarkistusmittauksia mitatuilla pisteillä. Kiintopisteet mitataan, jotta tieto dokumentoituu. Jos alustus katoaa kesken mittauksen, on eri alustuksella tehtyjen mittauksen välillä tehtävä tarkistuksia.

(jatkuu)

2(4)

Käytettäessä tunnettuja kiintopisteitä lähtöpisteinä kirjataan niiden numerot ylös. Mikäli pisteet rakennetaan mittaukseen alussa, tulee dokumentoida miten pisteet on tehty. Jos mittaukseen tulee koodituksen ulkopuolisia merkintöjä pitää niiden selvitykset kirjata huolella. Kun mittaukseen osallistuu useampia mittajia, on huolehdittava siitä, ettei tiedostoihin tule samoja piste- tai viivanumeroita.

Raportointi

Mittauksista tulostetaan GT -tiedosto, joka toimitetaan toimistolle. Tiedoston nimeen tai ensimmäiselle riville tulee liittää käytetyn koordinaatiston ja korkeusjärjestelmän tunnukset. Tiedoston nimestä tulisi ilmetä organisaation käyttämä työnumero. Tiedostosta ei saa poistaa kiintopisteiden mittauksia.

Pistenumeroihin ja koodeihin ei saa laittaa pisteitä eikä kirjaimia. Merkintämittauksissa tiedostoista poistetaan teoreettiset pisteet ennen toimistolle toimitusta.

OHJEITA KARTOITUKSEEN

- Maksimipisteväli 10 m (ellei erillistä ohjetta ole annettu)
- Havainnointitiheys valitaan kohteen mukaan. Rinnetontit kartoitetaan tiheämmin kuin tasaiset alueet
- Kaikki maastotaitepisteet kartoitetaan
- Olemassa olevat rakenteet, (aidat, tukimuurit, rummut, ovat kaivot, sähköpylväät ja –linjat, vesi- ja viemärijohtokaivot yms.) ja rakennukset kartoitetaan.
- Tonttiin liittyvät tiet, kadut, pyörätiet jalkakäytävät kartoitetaan
- Mahdollisuuksien mukaan kartoitetaan viereiset rakennukset ja niiden lattiakorot tai ainakin sokkelikorkeudet
- Maaston erikoismuodot ja kohdat kartoitetaan
- Vesipinnat kartoitetaan järvistä, ojista, lammista ja vesikaivoista
- Metsäalueiden puustorajat ja taimikot
- Puustokartta tonttialueelta tehdään erikseen pyydettäessä
- Kartoitus ulotetaan aina 10-20m tontin ulkopuolelle

Työmaalle jätetään tarkka korkeusmerkki, mikäli työmaan läheisyydessä ei ole korkeuskiintopistettä. Korkeusmerkki jätetään sopivaan kiinteään paikkaan mahdollisia jatkotöitä varten. Mikäli tunnetut pisteet eivät ole aivan työmaan vieressä, työmaalle jätetään myös apupisteet.

Kartoitettavasta alueesta tehdään aina tutkimuspaikkaselostus, missä selvitetään maaston yleiset olosuhteet ja mahdolliset rakenteet. Selostukseen kirjataan myös koordinaattijärjestelmä ja mittaja. Selostukseen on olemassa valmis lomake. Lomake toimitetaan työnsuorittamisen jälkeen muiden papereiden kanssa toimistolle. Mikäli mittausaineisto toimitetaan sähköpostilla, vastaavat tiedot kirjataan aina saateviestiin. (jatkuu)

Mittaaajan muistilista:

- Tarkastan aina lähtötiedot
- Käytän kiintopisteitä ja pistekortteja
- Tarkastan mittausaineistoni ennen luovutusta ja täytän tutkimuspaikkaselostuksen
- Teen kojeilleni kenttäkalibroinnit säännöllisesti
- Huolehdin laitteiston huolloista
- Teen tarkastuksia epäilyttävissä tilanteissa
- Teen kontrollimittaukset
- Valmistelen mittaustyön ennen toteutusta

(jatkuu)

LIITE 6. Yhteenveto kaavoitusmittausohjeessa määritellyistä kohteista, niiden mittausmenetelmistä ja tarkkuusvaatimuksista.

| Kohde | Suosittelava mittausmenetelmä | Muut hyväksyttävät mittausmenetelmät | Tarkkuusvaatimukset |
|--|--|--|--|
| Tasokiintopisteet - Peruskiintopiste - Käyttökiintopiste | Satelliittimittaus (staattinen) Jonomittaus | Jonomittaus Satelliittimittaus (staattinen) | Suhteellinen tasotarkkuus: ≤ 20 ppm. Suhteellinen tasotarkkuus: - mittausluokat 1 ja 2: ≤ 50 ppm (15 mm, kun sivunpituus l ≤ 300 m) ≤ 80 ppm (25 mm, kun l ≤ 300 m). - mittausluokka 3: Suhteellinen korkeustarkkuus: - mittausluokat 1 ja 2: ≤ 50 ppm (5 mm, kun l ≤ 100 m) ≤ 80 ppm (8 mm, kun l ≤ 100 m). - mittausluokka 3: |
| Korkeuskiintopisteet | Tarkkavaaitus | Jonovaaitus, satelliittimittaus (staattinen) | Korkeuseron suhteellinen tarkkuus ≤ 5 ppm. |
| Rajamerkit - Karttusmittaus | Satelliittimittaus (RTK), takymetrimittaus | Analyttinen ja digitaalinen kuvamittaus | Pistekequivirhe laskettuna määrityksen perustana olevien kiintopisteiden suhteen: - mittausluokka 1: ≤ 120 mm - mittausluokka 2: ≤ 180 mm - mittausluokka 3: ≤ 250 mm. |
| - Merkintä | Satelliittimittaus (RTK), takymetrimittaus | Muut valvojan hyväksymät menetelmät, joilla saavutetaan ohjeen edellyttämä tarkkuus. | Pistekequivirhe laskettuna määrityksen perustana olevien kiintopisteiden suhteen: - mittausluokka 1: ≤ 40 mm - mittausluokka 2: ≤ 80 mm - mittausluokka 3: ≤ 160 mm. |
| Rakennukset - Karttusmittaus - Merkintä | Satelliittimittaus (RTK), takymetrimittaus Satelliittimittaus (RTK), takymetrimittaus | Ilmakuvaakartoitus (stereodigitointi) Muut valvojan hyväksymät menetelmät, joilla saavutetaan ohjeen edellyttämä tarkkuus. | Ks. liite 5 tai Karttakohdemalli 1997. Tasotarkkuusvaatimus määritellään ennakkoon tapauskohtaisesti. Korkeuden määrityksen sulkuvirhe: $\leq 10 \text{ mm} \times \sqrt{L}$, missä L on jonon pituus kilometreinä. |
| Muut kohteet | Ilmakuvaakartoitus (stereodigitointi) | Takymetrimittaus, satelliittimittaus (RTK), muut valvojan hyväksymät menetelmät, joilla saavutetaan Karttakohdemallin 1997 edellyttämä tarkkuus. | Ks. liite 5 tai Karttakohdemalli 1997. |