



Mika Moilanen

Kartoitus- ja merkintämittausprosessien kehittäminen Vantaan kaupungin maatutkimusyksikössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

10.3.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Mika Moilanen
Otsikko:	Kartoitus- ja merkintämittausprosessien kehittäminen Vantaan kaupungin maatutkimusyksikössä
Sivumäärä:	37 sivua
Aika:	10.3.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Maanmittaustekniikka
Ohjaajat:	Maastotutkimusinsinööri Abdikani Isse Lehtori Ilkka Partonen

Opinnäytetyön aiheena oli Vantaan kaupungin maatutkimusyksikön mittausmenetelmien kehittäminen kartoitus- ja merkintämittauksissa. Työn tarkoituksena oli selvittää liitospisteiden sijainnin ja määrän vaikutusta takymetrin orientoinnin tarkkuuteen sekä kartoitettavan pisteen tarkkuuteen. Tätä selvitettiin suorittamalla mittauksia suunnitellulla testiradalla, jolla pyrittiin jäljittelemään todellisia maastomittauskohteita sekä niillä suoritettavia orientointeja. GNSS-vastaanottimen hyödyntämistä takymetrin orientoinnissa selvitettiin mittaamalla tunnetuilla kiintopisteillä ja vertailemalla saatuja tuloksia.

Kartoitusmittauksien osalta työssä tutkittiin erilaisia kaivojen vesijuoksujen mittaustapoja sekä niiden tarkkuutta. Lisäksi työssä selvitettiin ja tulkittiin mittaushjetta siltojen ja alikulkujen kartoituksen sekä koodauksen osalta.

Merkintämittausten kehittämisen osalta opinnäytetyössä keskityttiin pohjatutkimuspisteiden turvalliseen merkitsemiseen. Merkitsemisprosessia kehitettiin tuomalla johtotiedot maastotallentimeen ja nykyaikaisten mittalaitteiden ominaisuuksien tehokkaammalla hyödyntämisellä.

Tutkimusmittausten perusteella takymetrin orientoinnissa tarkinta on käyttää kolmea eri puolilla olevaa liitospistettä. Kapeassa kulmassa olevilla liitospisteillä oli mittausten huonoin tarkkuus. GNSS-vastaanotinta voidaan hyödyntää orientoinnissa mittausten perusteella vain avoimessa maastossa tietyin rajoittein. Kaivojen vesijuoksujen tutkimusmittauksissa tarkimmat tulokset erityyppisistä vesijuoksuista saatiin latan avulla suoritetuilla mittauksilla.

Avainsanat: maanmittaus, kartoitusmittaus, merkintämittaus

Abstract

Author: Mika Moilanen
Title: Developing Mapping and Marking Measurement Processes in Soil Research Unit of City of Vantaa
Number of Pages: 37 pages
Date: 10 March 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Land Surveying
Supervisors: Abdikani Isse, Terrain Research Engineer
Ilkka Partonen, Senior Lecturer

The thesis aimed at establishing the effect of the location and number of connection points on the accuracy of the orientation of a total station, and the accuracy of the mapped point. The total station as a measurement instrument, the principles of orientation, and the measurement instructions for mapping and coding underpasses and bridges were also discussed.

Measurements were taken on a test route simulating real land surveying targets and their orientations. The use of a GNSS receiver in the orientation was studied by measuring known control points and comparing the results, and the accuracy of various mapping measurements was studied by measuring water flows.

The safe marking of soil quality points was improved by importing a cable map to the field controller and by better utilization of the capabilities of the measuring instruments.

The measurements showed that the most accurate orientation for a total station is achieved with three connection points on different sides of the device. The poorest measurement accuracy was achieved with connection points in a narrow angle. A GNSS receiver can only be used in orientation in open terrain with certain limitations. The most accurate water flow measurements were obtained with measurements with a levelling rod.

Keywords: land survey, mapping, marking measurement

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kartoitus- ja merkintämittaus	2
2.1	Kartoitusmittaus	2
2.2	Kaivojen kartoitus	3
2.3	Siltojen ja alikulkujen kartoitus	5
2.4	Merkintämittaus	7
3	Takymetrimittaus	8
3.1	Takymetri	8
3.2	Takymetrin osat ja lisävarusteet	9
3.3	Takymetrin kalibrointi	10
3.4	Takymetrin orientointi	11
4	Takymetrin orientoinnin tarkkuuteen vaikuttavat tekijät	12
4.1	Lähtöpisteiden laatu	12
4.2	Lähtöpisteiden määrä	13
4.3	Lähtöpisteiden sijainti	14
4.4	Tutkimusmittausten suorittaminen	15
4.5	Mittausten valmistelu	15
4.6	GNSS-vastaanottimen hyödyntäminen orientoinnissa	16
4.7	Liitospisteiden sijainti takymetrin orientoinnissa	20
5	Kaivojen kartoitusmenetelmät ja alikulkujen kartoitus	23
5.1	Kaivojen kartoitusmenetelmien vertailu	23
5.2	Väyläviraston mittausohjeen tulkinta alikulkujen kartoituksen osalta	26
6	Pohjatutkimuspisteiden merkintämittausten kehittäminen	29
7	Johtopäätökset	32
8	Yhteenveto	34
	Lähteet	36

Lyhenteet

ETRS-GK: EUREF-FIN -realisaation tasokoordinaattijärjestelmä, jossa mittaukset suoritetaan.

GNSS: *Global Navigation Satellite System*. Eri satelliittijärjestelmien muodostama maailmanlaajuinen paikannusjärjestelmä.

IMU: *Inertial Measurement Unit*. Inertiamittausyksikkö.

N2000: Suomessa käytössä oleva valtakunnallinen korkeusjärjestelmä.

ppm: *Parts Per Million*. Suhdeyksikkö, joka ilmaisee, kuinka monta miljoonasosaa jokin on jostakin.

RTK: *Real Time Kinematic*. Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus.

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on Vantaan kaupungin maatumkimusyksikön kartoitus- ja merkintämittausprosessien kehittäminen. Maatumkimusyksikkö suorittaa kartoitusmittauksia Vantaan alueella, ja mittaukset tukevat infra-, kaavoitus-, viheralue- ja rakennussuunnittelua. Kartoitusmittauksessa maastossa olevat kohteet kartoitetaan ja valmiit mittausaineistot toimitetaan suunnittelijoille. Merkintämittauksissa maastoon merkitään pääsääntöisesti pohjatutkimuspisteitä maatumkimusyksikön kairaajia varten. Pohjatutkimusten luonteesta johtuen merkinnässä on kiinnitettävä erityistä huomiota maanalaisten johtojen sijaintiin sekä varoetäisyyksiin. Kartoitus- ja merkintämittaukset suoritetaan takymetrillä tai GNSS-vastaanottimella.

Opinnäytetyössä keskitytään mittausprosessien osalta kohteisiin, joiden on huomattu aiheuttavan ongelmia sekä virheitä mittausaineistoihin. Tällaisia asioita ovat esimerkiksi takymetrin orientointi sekä GNSS-vastaanottimen käyttö mittauksissa. Lisäksi tarkoituksena on kehittää mittaustoimintaa niin, että nykyaikaisten mittalaitteiden ominaisuuksia hyödynnetään tehokkaammin. Työ sisältää tutkimusmittauksia, joissa selvitetään GNSS-vastaanottimen hyödyntämistä mittauksissa sekä liitospisteiden sijainnin ja määrän vaikutusta takymetrin orientoinnin tarkkuuteen. Mittauksissa tutkitaan myös erilaisten mittaustapojen vaikutusta kaivojen vesijuoksujen mittaustarkkuuteen. Kaivoja on tarpeen kartoittaa suunniteltaessa ja rakennettaessa esimerkiksi uusia teitä, joiden yhteydessä lii-tytään olemassa oleviin verkostoihin. Työssä selvitetään lisäksi siltojen ja alikul- kujen kartoitettavat kohteet sekä niiden koodaus.

Opinnäytetyön pohjalta on tarkoitus laatia Vantaan kaupungin maatumkimusyksikön kartoittajille ohjepaketti, jonka avulla kartoittajien työtapoja pyritään kehittämään sekä yhtenäistämään. Kyseinen ohjeistus ei ole osa opinnäytetyötä.

2 Kartoitus- ja merkintämittaus

Kartoitusmittauksessa kartoitetaan maaston yksityiskohtia koordinaateiltaan tunnettuja runkopisteitä apuna käyttäen. Mittauksessa kerätty data käsitellään ja siitä tuotetaan haluttu sähköinen lopputuote. Merkintämittaus on tavallaan kartoituksen käännteistehävä, koska siinä siirretään suunnitelma maastoon oikealle paikalle toteutettavaksi. [1, s. 17, 216.]

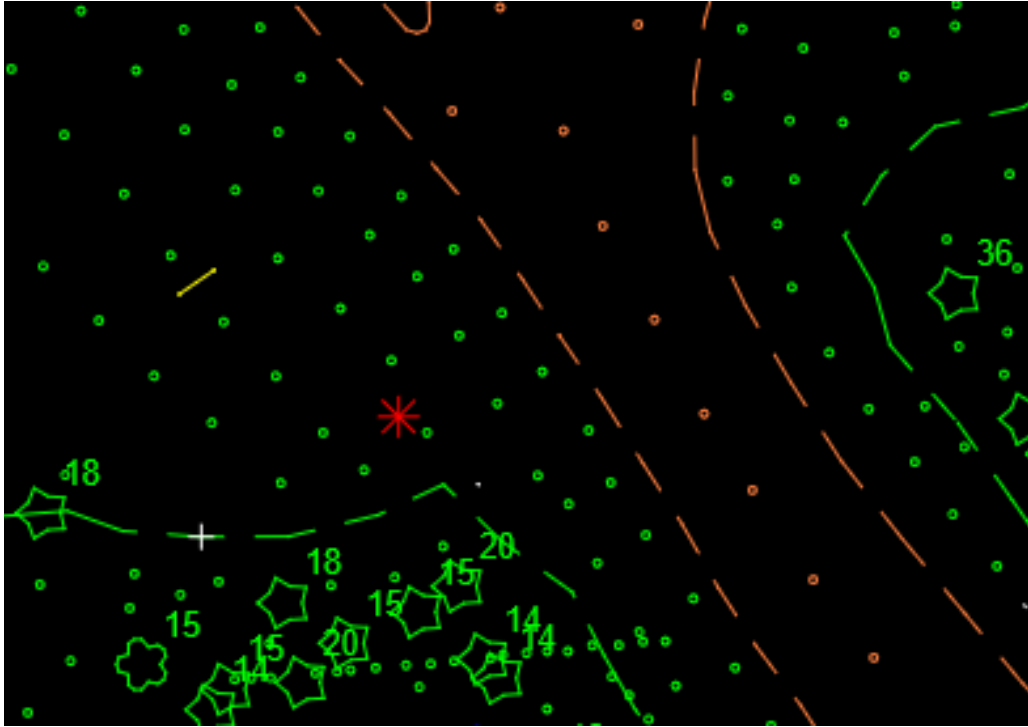
2.1 Kartoitusmittaus

Kartoitusmittauksien avulla pidetään yllä karttakuvia sekä maaston mallia maankäytön suunnittelua, rakentamista ja paikkatietojen esittämistä varten. Kartoitusmittaus on mittausprosessin vaihe, jossa eri maastokohteet ja -muodot tallennetaan mittalaitteilla. Kartoitusmittaus sisältää sekä maastotietojen keruuvaiheen että aineiston käsittelyn ja jalostuksen toivotun lopputuotteen, kuten kartan, maastomallin tai digitaalisen paikkatietoaineiston saavuttamiseksi. [1, s. 216.]

Kartoitusmittauksia suoritetaan usein maastomittauksena kartoitettavien alueiden ollessa melko suppeita, kuten yksittäisen rakennustyömaan tapauksessa. Lisäksi tarkkuutta vaativat mittaukset suoritetaan maastomittauksin, sillä kaukokartoituksen avulla suoritettavat mittaukset eivät ole riittävän tarkkoja. Tavallisin mittauslaite kartoitusmittauksia varten on takymetri, mutta myös GNSS-RTK-laitteita voidaan hyödyntää mittauksissa tietyin rajoittein. GNSS-RTK-laitteet laskevat mitattaville pisteille koordinaatit käyttäen hyväksi paikannussatelliittien kantaallon vaihetta ja mittaustukiasemaa. GNSS-RTK-laitteilla kartoittamista voidaan harkita avoimessa maastossa, mutta peitteisillä alueilla sekä korkearakenteisessa kaupunkiympäristössä niiden mittaustarkkuus ei ole riittävä. [1, s. 216, 222, 339–342.]

Takymetrillä kartoitettaessa koje mittaa jokaiseen mitattavaan pisteeseen vaakasuunnan, zeniiittikulman sekä vinoetäisyyden, joiden avulla lasketaan pisteille koordinaatit. Kartoitusmittausta suoritettaessa jokainen piste myös koodataan maastotallentimella, jolloin mittausaineistoa käsiteltäessä tiedetään minkälaisia kohteita pisteet ovat. Maastomittausta tehtäessä koodataan maastossa ainakin

pistenumerot, pisteiden lajikoodit, pisteistä muodostuvien viivojen tai alueiden koodit sekä joitain yksilöiviä ominaisuustietoja (kuva 1). Kartoitussmittauksessa pistemäiset kohteet kartoitetaan pisteinä, viivamaiset kohteet pisteistä muodostuvina viivoina ja alueet pisteistä muodostuvina alueina. [1, s. 222–226.]



Kuva 1. 3D-Win -ohjelmassa esitetty kartoitusaineisto, jossa viivamaisia ja pistemäisiä kohteita sekä niiden ominaisuustietoja.

2.2 Kaivojen kartoitus

Vesihuoltoverkostoista olemassa olevat tiedot muodostavat perustan alueiden verkosto-omaisuuden hallinnalle. Verkostojen tietojen mittausta ja dokumentointia koskevaa yhtenäistä ohjeistusta ei ole ollut saatavilla ja mittauskäytännöt ovat olleet vaihtelevia. Tämänhetkisessä tilanteessa edes kaikkeen mittausaineistoon ei voida täysin luottaa, sillä tarkemittausohjeistuksen sekä valvonnan puutteen vuoksi mittausaineistoissa voi olla virheitä. Verkostotietojen epätäydellisyys aiheuttaa ongelmia etenkin työkohteissa, joissa on tarkoitus liittyä olemassa oleviin verkostoihin. Verkostotietojen kerääminen mittaamalla onnistuu rakennusvaiheessa, mutta pääosin maan alla oleva kartoittamaton vesihuoltoverkosto asettaa haasteita tiedonkeruulle. Laadukkaan tietosisällön avulla

mahdollistetaan vesihuoltolaitosten toiminnan kehittäminen sekä laadukkaamat työmaasuunnitelmat. [2.]

Liikenne- ja viestintäviraston vuonna 2022 antama Määräys verkkotietojen ja verkon rakentamissuunnitelmien toimittamisesta [3] velvoittaa vesihuoltolaitoksia. Määräyksen mukaan ennen vuotta 2021 rakennettujen verkkojen putkista pitää löytyä vähintään seuraavat ominaisuustiedot:

- sijainnin x- ja y-koordinaatit
- sijainnin z-koordinaatti (jos tieto on digitaalisessa muodossa saatavilla)
- sijaintitarkkuus ja sijainnin määrittelytapa
- rakennusvuosi (jos tieto on saatavilla)
- käyttötila.

Vuonna 2021 tai sen jälkeen rakennetuista verkkojen putkista täytyy toimittaa aina myös z-koordinaatti sekä rakennusvuosi.

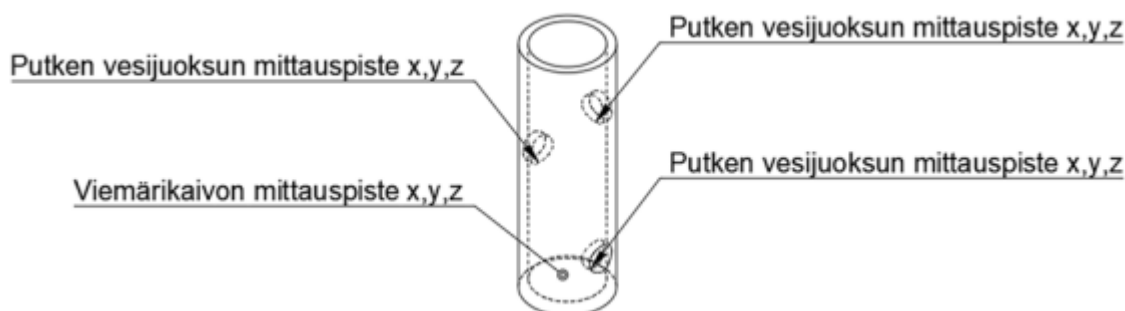
Kaivoista on ilmoitettava vähintään seuraavat ominaisuustiedot:

- sijainnin x- ja y-koordinaatit
- maanalaisen kannen z-koordinaatti, sijainnin syvyystieto tai kaivon paikannussondin tunnistetieto (jos digitaalisessa muodossa saatavilla)
- sijaintitarkkuus ja ilmoittamistapa.

Verkkotietojen ja verkon rakentamissuunnitelmien toimittamismääräys ei koske vesijohtoverkoston, mutta vesijohtoverkon vastaavat tiedot ovat olennaisia vesihuoltolaitosten kannalta. [2.]

Verkoston sijaintitietoja voidaan täydentää täydennysmittauksilla niiltä osin, kuin se on mahdollista. Täydennysmittaukset sopivat hyvin kohteisiin, jotka saavutetaan kaivamatta, ja ne suoritetaan tarkemittausten kaltaisesti. Viemärikaivoista voidaan täydennysmittauksissa mitata myös putkiin liittyviä tietoja, kuten tulevan ja lähtevän putken suunta viemärikaivosta, putken materiaali sekä

putken sisähalkaisija. Putkien osalta mittauksia ei suoriteta kaivon keskipisteestä vaan putken päästä, kuten kuvassa 2 on esitetty. [2.]



Kuva 2. Kaivon vesijuoksujen mittaaminen [2].

Mittauksissa suositellaan käytettäväksi kaivokärkeä tai muuta apuvälinettä, jolloin prismasauva saadaan pidettyä suorassa ja saadaan tarkkoja mittaustuloksia [2]. Vantaan maatutkimusyksikössä noudatettavan Väyläviraston mittausohjeen mukaan mittaukset suoritetaan ETRS-GKn-koordinaattijärjestelmässä ja N2000-korkeusjärjestelmässä, ja kaivojen sekä putkien mittaustuloksissa tulee päästä x-, y- ja z-koordinaattien yhteisvirheessä alle 50 millimetriin [4]. Suomen vesilaitosyhdistyksen mukaan mittaustarkkuuden tulee puolestaan täyttää x-, y- ja z-koordinaattien osalta ± 2 cm tarkkuus [2].

2.3 Siltojen ja alikulkujen kartoitus

Suomen maantieverkolla on noin 15 000 siltaa, joista jopa 800 oli luokiteltu huonokuntoisiksi vuonna 2022. Huonokuntoisten siltojen lukumäärä tulee kasvamaan tulevaisuudessa ja tyydyttäväkuntoisten siltojen lukumäärä kasvaa voimakkaasti. Siltojen kunnan heikkeneminen johtuu erityisesti 1960- ja 1970-luvuilla rakennettujen siltojen korjausvelasta sekä siitä, että 1980- ja 1990-luvuilla rakennetut sillat alkavat tulla peruskorjausikään. [5.]

Ennen siltojen korjaustöiden aloittamista sillat kartoitetaan, jotta voidaan varmistua sillan todellisesta koosta, sijainnista, muodosta sekä korkeustasosta. Näin lähtötiedot saadaan dokumentoitua, jolloin niitä voidaan tarkastella sillan

purkamisen jälkeen. Lisäksi voidaan varautua mahdollisiin muutoksiin korjaustöiden aikana, sillä käytettävissä olevat suunnitelmat eivät aina vastaa todellisuutta. Korjattavat sillat ovat aina erilaisia ja tämä tulee huomioida mittauksia suoritettaessa. Kartoitusmittauksen pistetiheys tulee määrittää kohteen perusteella siten, että mitattavan kohteen muodot tulevat selkeästi esille. [6.]

Silloista kartoitettavat kohteet vaihtelevat eri ohjeiden ja erilaisten korjaustöiden tarpeen vuoksi. Väyläviraston Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot mittausohjeen [4] mukaan silloista kartoitetaan seuraavat kohteet:

- sillan keskilinja
- sillan reunapalkin alareuna
- sillan reunapalkin yläreuna
- maatuki
- pilari
- palkki
- kannen alapinta
- arkku
- maaliviiva sillalla
- muu sillan taiteviiva.

Edellä mainittujen kohteiden lisäksi silloilta kartoitetaan muut mittausohjeen koodilistalta löytyvät kohteet kuten kaiteet [4].

Siltojen kartoituksen lisäksi myös alikulut tulee kartoittaa. Alikulkujen osalta kartoittaessa tulee huomioida alikulun rakenne, jonka perusteella kohteet kartoitetaan joko pinnalle 1, joka on maanpinnan pintatunnus, tai pinnalle 9, joka on numeeriseen maastomalliin mukaan tulematon kartoituspinta. Siltamaisessa alikulussa siltarakenne koodataan kokonaisuudessaan pinnalle 9 ja sillan alla olevat kohteet pinnalle 1. Putkimainen rakenne ja betonirakenne puolestaan koodataan niin, että tierakenne koodataan kokonaisuudessaan pinnalle 1 ja tierakenteen sisässä oleva alikulku pinnalle 9. [4.]

2.4 Merkintämittaus

Merkintämittauksella tarkoitetaan mittausta, jossa jokin suunniteltu piste merkitään maastoon. Merkintämittauksissa käytetään takymetriä, GNSS-RTK-mittausta tai muuta mittaustekniikkaa, joka on vaadittuun tehtävään riittävän tarkka. Usein merkintämittaukset ovat tarkkuutta ja vastuullisuutta vaativia mittauksia, joissa tehdyt virheet aiheuttavat taloudellisia menetyksiä, joten takymetri on tarkkuutensa ja muiden ominaisuuksien puolesta soveltuvin mittalaite niiden suorittamiseen. [7, s. 266–267.]

Merkintämittauksissa suunnitelman tiedot siirretään sopivassa tiedostomuodossa maastotallentimelle. Maastossa takymetri orientoidaan tunnetulle tai vaapaalle asemapisteelle niin, että merkittävät pisteet ovat näkyvissä. Tämän jälkeen takymetri ohjaa mittaajan prisman avulla merkittävälle pisteelle ja piste merkitään sovitulla tavalla maastoon. Perinteinen merkitsemistapa on puupaalu ja naula, jonka vuoksi merkintämittausta usein kutsutaankin paalutukseksi. Nykyaikaiset takymetrit ja mittausohjelmat vähentävät perinteisten merkintätapojen käyttöä työmailla, sillä mittaukset voidaan suorittaa tarkasti ja nopeasti ilman tilaa vieviä merkintöjä. [7, s. 266–267.]

3 Takymetrimittaus

3.1 Takymetri

Takymetri on yhdistetty kulman- ja etäisyydenmittauskoje, jolla voidaan tehdä pysty- ja vaakakulmahavaintoja sekä mitata kohteen etäisyyttä kojeesta. Näiden havaintojen avulla koje osaa laskea omat koordinaattinsa sekä mitattavien kohteiden koordinaatit. [7, s. 238.]

Nykyaikainen takymetri syntyi, kun teodoliitti, elektro-optinen etäisyydsmittari ja tietokone yhdistettiin yhdeksi laitteeksi. Ensimmäisissä valmistetuissa takymetreissä etäisyydsmittari oli lisäosa, joka asennettiin kaukoputken päälle, mutta vuonna 1978 markkinoille tulivat takymetrit, joissa etäisyydsmittari oli asennettu kojeen sisään koaksiaalisesti. [8, s. 44–46.]

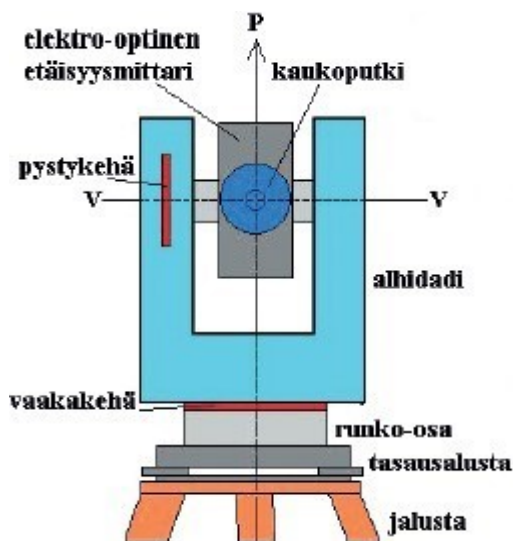
Ensimmäisten valmistettujen takymetriensä kanssa työskentely oli kahden mittajaan työtä toisen kuljettaessa prismaa mitattaville kohteille ja toisen kohdistuessa kojeen prismaan. Nykyiset takymetrit on varustettu servomootorein, ja mittaja voi ohjata niitä etäkäyttöyksiköllä. Tämän takia ns. robottitakymetrillä (kuva 3) mittaaminen on muuttunut yhden mittajaan suorittamaksi työksi. Uusimpiin takymetreihin on lisätty myös digitaalinen kamera, jolloin kameran kuva näkyy etäyksikön näytöllä ja takymetrin voi suunnata haluttuun kohteeseen kuvan avulla. [9, s. 18–20.]



Kuva 3. Trimble S6 -takymetri.

3.2 Takymetrin osat ja lisävarusteet

Rakenteellisesti takymetrin pääosia ovat mittauskaukoputki, elektro-optinen etäisyysmittari, runko-osa, alhidadi sekä tasausalusta (kuva 4). Lisäksi takymetrissä löytyy erilaisia tasaimia, kuten putkitasain, rasiatasain ja elektroniset tasaimet eli kompensattorit, jalkaruuvit, joiden avulla takymetri säädetään vaakasuoraan, optinen luoti takymetrin keskistykseen suorittamiseksi ja liikeruuvit takymetrin suuntaamista varten. [7, s. 239.]



Kuva 4. Takymetrin akselit ja pääosat [7, s. 239].

Takymetrin alla oleva tasausalusta on kojeesta irrallinen osa ja sen avulla koje kiinnitetään jalustaan. Tasausalustassa olevien kolmen jalkaruuvien avulla takymetrin asentoa voidaan muuttaa ja koje saadaan asetettua jalustan päälle vaakasuoraan. Takymetrin runko kiinnitetään tasaalustaan, jossa yleensä sijaitsee myös optinen luoti, jonka avulla takymetri voidaan asettaa maanpinnalla olevan merkin päälle pystysuoraan. Takymetrin keskistys ja tasaus on toimenpide, jossa koje asetetaan jalkaruuvien, tasainten ja optisen luodin avulla vaakasuoraan ja pystysuoraan pistemerkin päälle. [7, s. 239.]

Takymetrillä suoritettavissa mittauksissa tarvitaan itse mittalaitteen lisäksi kolmijalka takymetrin jalustaksi, tähyksiä ja prismoja kulmien ja etäisyyksien mittaukseen sekä kartoitussauva. Takymetrin painon vuoksi kolmijalan on oltava

tukeva ja melko raskas. Kolmijalkana suositaan puisia jalustoja, sillä se pysyy lämpötilan vaihtelusta huolimatta hyvin samoissa mitoissa. Mittauksissa käytetään useita erilaisia prismoja mittauskohteen mukaan, mutta yleisimmin käytetty prisma on kartoitus- ja merkintämittauksissa käytettävä kartoitussauvaan kiinnitetty prisma. Maastotallennin on kartoitussauvaan kiinnitettävä tietokone, joka on säänkestävä ja maastokelpoinen. Tietokoneeseen tallennetaan mittauksen lähtötiedot, mittaushavainnot ja kaikki mittauksissa tarvittavat tiedot. [7, s. 242–244.]

3.3 Takymetrin kalibrointi

Takymetreille suoritetaan kahta erilaista kalibrointia, määrittyskalibrointia ja seurantalibrointia eli niin sanottua kenttäkalibrointia. Lisäksi kalibrointitoiminnan minimitasona voidaan pitää laitteiden ohjeiden mukaista käyttöä. Laboratorio-oloissa suoritettavassa määrittyskalibroinnissa selvitetään, onko laitteen mittaus-tarkkuus määräysten, valmistajan ilmoituksen sekä suoritettavien mittaustehtävien vaatimusten mukainen. Määrittyskalibrointi on suositeltavaa suorittaa laitteen hankinnan yhteydessä, suurempien huoltojen jälkeen sekä kojeille, joiden tarkkuus on muuttunut. [7, s. 364–365].

Kojeen käyttäjän suorittamassa kenttäkalibroinnissa ei määritetä arvoja kojevirheille vaan seurataan pysyvätkö kojeen ominaisuudet ja mittaustulokset samoina kuin edellisessä määrittyskalibroinnissa. Kenttäkalibroinnin menetelmät kuvataan kojeiden käyttöohjeissa, mittausstandardeissa ja -ohjeissa sekä yleisessä ammattikirjallisuudessa. Lisäksi kenttäkalibrointiin voidaan rinnastaa ohjekirjojen mukaiset säätö- ja tarkastusmenettelyt. [7, s. 365].

Trimblen S-sarjan takymetriä kenttäkalibroinnissa suoritetaan kompensattorin kalibrointi, vaakakollimaatio ja tappikaltevuuden määrittäminen sekä autolock-kollimaatio. Kompensattorin kalibroinnissa koje tasataan mahdollisimman tarkasti, jonka jälkeen kone pyörii hitaasti itsensä ympäri ja automaattisesti kalibroi kompensattorin. Vaakakollimaatiossa suoritetaan havaintoja kojeen putken ollessa lähes vaakasuorassa asennossa kojeen ykkös- ja kakkosasennoissa. Tappikaltevuuden määrittämisessä kojeen putken on puolestaan oltava riittävän pystyssä,

sillä tappikaltevuuden merkitys näkyy ylös- tai alaspäin suuntautuissa tähtäyksissä. Autolock-kollimaatiossa koje suorittaa molemmissa kojeasunnoissa tähtäykset prismaan ja näiden havaintojen perusteella laskee korjaukset autolock-tähtäyksille. Autolock on kojeen ominaisuus, jossa koje automaattisesti lukittuu ja seuraa heijastavaa kohdetta, kuten prismaa. [10.]

3.4 Takymetrin orientointi

Takymetrin orientoinnissa määritetään mittalaitteen sijainti valitussa koordinaatistossa. Takymetrin orientointi voidaan suorittaa joko koordinaateiltaan tunnetulle pisteelle tai paikkaan, jota ei tunneta, jolloin puhutaan takymetrin orientoinnista vapaalle asemapisteelle. Tunnetulle pisteelle orientoitaessa aloitetaan takymetrin keskistyksellä sekä tasauksella, kun vapaalle asemapisteelle orientoitaessa riittää pelkkä takymetrin tasaus. [7, s. 252–260.]

Tunnetulle pisteelle orientoitaessa kojeen sijainti määritetään keskistämällä ja tasaamalla koje tunnetun pisteen päälle sekä mittaamalla kojekorkeus, jolla saadaan kojeen korkeusasema määritettyä, mikäli pisteen korkeus on tunnettu. Kojekorkeuden lisäksi laitteelle syötetään käytettävä prismavakio sekä lämpötila, joiden avulla takymetri tekee korjauksia etäisyshavaintoihin. Näiden toimien jälkeen vähintään yhdelle tunnetulle liitospisteelle tehdään suuntahavainto, jonka avulla määritetään vaakakehän orientointi, joka mahdollistaa tehtävien mittausten suuntakulmien määrittämisen. [11, s. 14.]

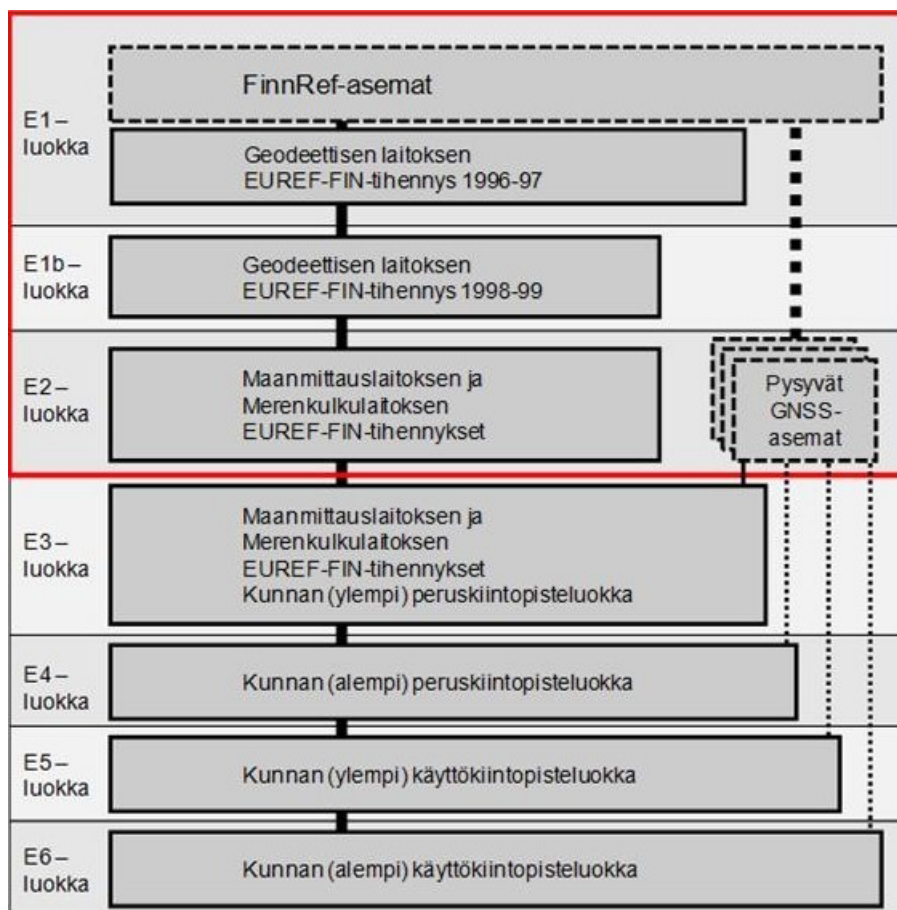
Vapaalle asemapisteelle orientoitaessa takymetri voidaan pystyttää suoritettavien mittausten kannalta parhaiten soveltuvaan koordinaateiltaan tuntemattomaan paikkaan. [11, s. 15.]

4 Takymetrin orientoinnin tarkkuuteen vaikuttavat tekijät

Takymetrillä tehtävät mittaukset suoritetaan orientoinnissa kojeelle määritettyjen koordinaattien perusteella säteittäisellä mittauksella. Tästä johtuen orientointi vaikuttaa mittausten luotettavuuteen sekä tarkkuuteen, jonka takia orientointi on suositeltavaa tarkistaa tunnetulle pisteelle. Orientoinnin luotettavuutta voidaan parantaa lähtöpisteiden laadulla sekä lukumäärällä. [7, s. 259.]

4.1 Lähtöpisteiden laatu

Takymetrin orientoinnissa apuna käytettäviä kiintopisteitä kutsutaan lähtöpisteiksi. Maastoon rakennetut kiintopisteet on jaettu kuuteen eri luokkaan E1 – E6. Jokaisella luokalla on omat vaatimuksensa, joiden määrittelemällä tavalla pisteiden koordinaatit tulee mitata. Luokat E1 ja E2 ovat valtakunnallisia peruskiintopisteitä, ja niiden mittausvaatimukset ovat tarkimpia. Luokat E3 ja E4 ovat peruskiintopisteitä, joiden tarkkuusvaatimukset ovat seuraavaksi tarkimmat. Luokat E5 ja E6 ovat käyttökiintopisteitä, ja niiden tarkkuusvaatimukset ovat heikoimmat. Kuvassa 5 on esitetty yllä kuvailtu kiintopisteiden luokittelu. Kiintopisteiden mittaamisessa täytyy aina käyttää lähtöpisteinä tarkemman luokan kiintopisteitä, kuin mitä ollaan mittaamassa. [12.]



Kuva 5. Kiintopisteiden luokittelu luokkiin E1 – E6 [12].

Pääsääntöisesti takymetrimittauksissa lähtöpisteinä käytetään E5- ja E6-luokan pisteitä, sillä niitä on huomattavasti tiheämmässä kuin tarkempien luokkien pisteitä. Mikäli tarkempien luokkien pisteitä on käytettävissä, ne kannattaa valita lähtöpisteiksi, sillä silloin orientoinnin tarkkuutta saadaan parannettua. [12.]

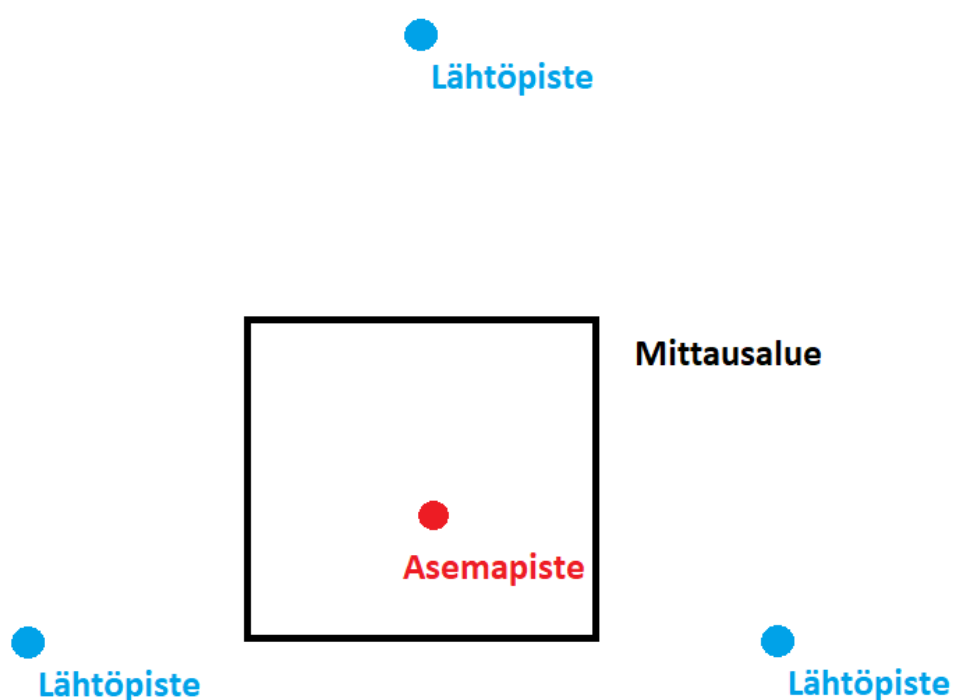
4.2 Lähtöpisteiden määrä

Takymetrin orientoinnissa tunnetulle pisteelle sekä vapaalle asemapisteelle tarvitaan aina vähintään kaksi koordinaateiltaan tunnettua lähtöpistettä. Molemmilla tavoilla orientoitaessa ylimääräisten lähtöpisteiden käyttö kuitenkin parantaa orientoinnin tarkkuutta, sillä ylimääräisten havaintojen avulla voidaan suorittaa tasoituslaskenta. Tasoituslaskennan avulla lähtöpisteisiin tehtyjen havaintojen virheet eivät poistu, mutta virheet jaetaan laskennallisesti uudelleen. Tämän

avulla takymetrin koordinaatit saadaan menetelmällä tarkemmiksi. [7, s. 252–260, 355.]

4.3 Lähtöpisteiden sijainti

Orientoinnissa käytettävien lähtöpisteiden sijainti takymetriin nähden vaikuttaa orientoinnin tarkkuuteen. Kun lähtöpisteet sijaitsevat takymetriin nähden tasaisesti eri suunnissa, orientoinnissa päästään parhaisiin tuloksiin (kuva 6). Jos lähtöpisteet sijaitsevat samassa suunnassa tai samalla suoralla takymetriin nähden, orientoinnista saattaa tulla epätarkka. [13.]



Kuva 6. Hyvät lähtöpisteet.

Takymetriä orientoitaessa on suositeltavaa valita lähtöpisteet niin, että ne sulkevat sisäänsä alueen, jolla mittauksia suoritetaan orientoinnin jälkeen. Tällä varmistetaan asemapisteeltä suoritettavien mittauksien hyvä laatu. [14, s. 21–22.]

4.4 Tutkimusmittausten suorittaminen

Opinnäytetyössä tutkittiin takymetrin orientoinnin tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä tekemällä mittauksia. GNSS-vastaanottimen hyödyntämistä orientoinnissa tutkittiin suorittamalla mittauksia taso- sekä korkeuskiintopisteillä, ja vertaamalla mittauksissa saatuja koordinaatteja tunnettuihin koordinaatteihin. Liitospisteiden sijainnin ja määrän vaikutusta orientoinnin tarkkuuteen tutkittiin suorittamalla tutkimusmittauksia, joissa jäljiteltiin tavanomaisia mittaustilanteita.

4.5 Mittausten valmistelu

Kaikissa tutkimusmittauksissa, joissa käytettiin takymetriä, kojeena oli Trimble S6 DR plus, jonka kulmanlukutarkkuus on 3" ja prismattoman etäisyyden mittauksen tarkkuudeksi on ilmoitettu 2 mm + 2 ppm tarkalla mittaussuorituksella. Mittausten tavoitteena oli saada tarkkoja tuloksia, joten kojeelle suoritettiin kenttäkalibrointi, sillä edellisestä kalibroinnista oli kulunut aikaa kaksi vuotta. Kenttäkalibrointi sisälsi kompensattorin kalibroinnin, vaakakollimaation ja tappikaltevyyden määrittämisen sekä autolock-kollimaation. Kenttäkalibroinnissa vaakakollimaatiolle, pystykollimaatiolle ja tappikaltevyydelle sekä autolock-kollimaatiolla vaakakollimaatiolle ja pystykollimaatiolle saatiin uudet arvot (kuva 7). Nämä arvot on mahdollista tallentaa kojeelle, jolloin koje laskee niiden perusteella korjaukset jatkossa suoritettaville mittauksille. Arvojen tallentamisen jälkeen kenttäkalibrointi suoritettiin uudelleen, jolloin vain tappikaltevyyden arvo muuttui 0°00'01", mutta muut arvot pysyivät täysin samoina.

Kollimaatio ja tappikaltevuus		Autolock kollimatio	
Vaakakollimaatio	Pystykollimaatio	Vanhat arvot	
0°00'00"	0°00'00"	Vaakakollimaatio	Pystykollimaatio
Tappikaltevuus		0°00'00"	0°00'00"
		Uudet arvot	
Uudet arvot		Vaakakollimaatio	Pystykollimaatio
Vaakakollimaatio	Pystykollimaatio	-0°00'00"	0°00'13"
0°00'04"	0°00'14"		
Tappikaltevuus			
0°00'18"			

Kuva 7. Kenttäkalibroinnissa saadut uudet arvot.

Kenttäkalibroinnin lisäksi tarkistettiin prisma-auvan kuplan paikkansa pitävyys, koska aikaisemmin oli havaittu, että kuplan taso saattaa olla virheellinen. Tarkistus suoritettiin tasaamalla sauva tukijalan avulla kuplan mukaan suoraksi. Takymetri tasattiin tarkasti kolmijalan päälle, jonka jälkeen takymetrin laser kohdistettiin prisma-auvan kärkeen (kuva 8). Tämän jälkeen laserkohdistinta nostettiin pystysuorasti prisma-auvaa ylöspäin ja tarkistettiin, että laserosoitin pysyy keskellä prisma-auvaa. Takymetriä kierrettiin prisma-auvaan nähden 90 astetta ja tarkistus suoritettiin myös toisesta kojeasemasta. Kartoitussauvan tasain oli kunnossa, joten sitä ei ollut tarvetta kalibroida säätöruuveilla. Lisäksi prisma-auvaan vaihdettiin uusi kärki, jottei kulunut kärki aiheuta virhettä mittauksiin.



Kuva 8. Kartoitussauvan tasaimen tarkistus.

4.6 GNSS-vastaanottimen hyödyntäminen orientoinnissa

Tutkimuksen yhtenä osana oli selvittää GNSS-vastaanottimen hyödyntämistä takymetrin orientoinnissa niin sanotulla yhdistetyllä mittauksella ja selvittää, kuinka paljon virhettä tällä menetelmällä aiheutuu kiintopisteisiin verrattuna. Tutkimuksissa etsittiin erilaisilla alueilla olevia taso- ja korkeuskiintopisteitä, jotta

voitiin vertailla, kuinka ympäristön peitteisyys sekä rakennukset vaikuttavat mitaustarkkuuteen. Tasokiintopisteillä suoritettiin mittauksia rakennetussa ympäristössä sekä peitteisellä alueella ja korkeuskiintopisteillä edellä mainittujen lisäksi avoimessa maastossa. Tarkoituksena oli selvittää, saadaanko GNSS-vastaanottimella riittävän tarkkoja mitaustuloksia, jotta sitä voidaan hyödyntää takymetrimittauksissa, mikäli mitattavan kohteen lähistöltä ei löydy kiintopisteitä.

Mittauslaitteena käytettiin Trimble R12i GNSS -vastaanotinta, joka pystytettiin mitausten ajaksi tukijalkojen avulla pisteen päälle (kuva 9), jotta vältettiin kartoitussauvan mahdollisesta huojunnasta aiheutuvat virheet tuloksiin. Mittaukset tehtiin niin, että jokaista mittausta varten suoritettiin oma alustus, jolloin saadut havainnot ovat toisistaan riippumattomia. Jokaisella kiintopisteellä suoritettiin kymmenen mittausta ja havaintoaikana käytettiin 3:a sekuntia.



Kuva 9. Trimble R12i GNSS -vastaanotin korkeuskiintopisteellä.

Rakennetun ympäristön tasokiintopiste oli rakenteeseen kiinnitetty naula, joka sijaitsi Tikkurilan keskustassa, ja ympärillä oli rakennuksia, joissa oli enintään neljä kerrosta. Rakennukset eivät kuitenkaan sijainneet pisteen välittömässä läheisyydessä. Peitteisessä ympäristössä tasokiintopiste oli putki kalliossa, joka sijaitsi melko harvassa mäntymetsässä, mutta puita oli kaikissa ilmansuunnissa. Mittausten tulokset on esitelty taulukossa 1, josta huomataan, että mittauksissa on ollut enemmän virhettä peitteisessä ympäristössä. Osaltaan tähän saattaa vaikuttaa pisteiden tyyppi, sillä kartoitussauvan asettaminen on tarkempaa nauhan kuin putken päälle. Taulukossa mainitulla poikkeamalla tarkoitetaan suurinta mittausvirhettä tunnetun pisteen koordinaattiin, eli kaikki mitatut havainnot mahduttavat poikkeaman sisään.

Taulukko 1. Tasokiintopisteiden ja mittausten koordinaatit sekä mittausten poikkeama.

	Rakennettu ympäristö		Peitteinen ympäristö	
	x-koordinaatti	y-koordinaatti	x-koordinaatti	y-koordinaatti
tasokiintopiste	6686856.332	25502268.377	6687803.770	25500539.458
mittaus 1	6686856.333	25502268.379	6687803.774	25500539.453
mittaus 2	6686856.335	25502268.380	6687803.775	25500539.455
mittaus 3	6686856.336	25502268.381	6687803.765	25500539.462
mittaus 4	6686856.326	25502268.380	6687803.778	25500539.461
mittaus 5	6686856.336	25502268.376	6687803.763	25500539.463
mittaus 6	6686856.330	25502268.381	6687803.777	25500539.453
mittaus 7	6686856.331	25502268.374	6687803.779	25500539.465
mittaus 8	6686856.328	25502268.378	6687803.775	25500539.458
mittaus 9	6686856.336	25502268.377	6687803.767	25500539.457
mittaus 10	6686856.337	25502268.374	6687803.764	25500539.460
poikkeama:	± 6 mm	± 4 mm	± 9 mm	± 7 mm

Korkeuskiintopisteistä rakennetussa ympäristössä ollut pultti sijaitsi aivan 4-kerroksisen talon vieressä Tikkurilan keskustassa, peitteisessä ympäristössä ollut pultti harvassa mäntymetsässä, mutta noin metrin etäisyydellä lähimmästä puusta ja avoimessa maastossa ollut pultti sijaitsi laajalla pellolla voimalinjapylvään jalustassa. Kaikki korkeuskiintopisteet olivat merkitty pallopäisellä kiintopistepultilla. Mittausten tulokset on esitetty taulukossa 2, josta voidaan huomata, että rakennetussa ja peitteisessä maastossa korkeudessa on jonkin verran virhettä, kun avoimessa maastossa päästään huomattavasti tarkempiin mittaustuloksiin. Taulukossa mainitulla poikkeamalla tarkoitetaan suurinta mittausvirhettä tunnetun pisteen korkeuteen, eli kaikki mitatut havainnot mahtuvat poikkeaman sisään.

Taulukko 2. Korkeuskiintopisteiden ja mittausten korkeudet sekä mittausten poikkeama.

	Rakennettu ympäristö	Peitteinen ympäristö	Avoin ympäristö
	z-koordinaatti	z-koordinaatti	z-koordinaatti
korkeuskiintopiste	18.488	22.752	20.695
mittaus 1	18.536	22.761	20.688
mittaus 2	18.435	22.731	20.699
mittaus 3	18.494	22.772	20.691
mittaus 4	18.524	22.720	20.693
mittaus 5	18.456	22.727	20.709
mittaus 6	18.515	22.769	20.689
mittaus 7	18.525	22.736	20.686
mittaus 8	18.458	22.759	20.705
mittaus 9	18.515	22.746	20.710
mittaus 10	18.462	22.743	20.682
poikkeama:	± 53 mm	± 32 mm	± 15 mm

4.7 Liitospisteiden sijainti takymetrin orientoinnissa

Liitospisteiden sijainnin vaikutusta takymetrin orientoinnin tarkkuuteen tutkittaessa käytössä oli Trimble S6+ -robottitakymetri. Maastotietokoneena käytössä oli Trimblen TSC5 ja takymetrin orientointi suoritettiin Trimble R12i GNSS -vastaanottimella, sillä mittauksia suoritettiin alueella, jossa ei ollut näkyvyyttä kiintopisteille, ja ensimmäisen asemapisteen koordinaattien tarkkuudella ei ollut merkitystä suoritettaviin tutkimuksiin. Tutkimusten tarkoituksena oli selvittää kuinka liitospisteiden määrä ja sijainti vaikuttaa asemapisteen koordinaatteihin orientoinnissa sekä orientoinnin jälkeen suoritettavaan mittaukseen.

Mittauksia suoritettaessa takymetri orientoidaan nykyisin useimmiten vapaalle asemapisteelle ja orientointi suoritetaan prismattomalla mittauksella tarratähyksien tai muiden vastaavien kiinnitettävien tähyksien avulla. Takymetristä riippuen prismattoman etäisyydenmittauksen tarkkuus on noin millimetrin epätarkempaa kuin prismallinen etäisyydenmittaus. Orientoinnin nopeus ja havaintojen helppo suorittaminen kojeelta on kuitenkin johtanut prismattoman etäisyydenmittauksen hyödyntämisen yleistymiseen. Tästä johtuen myös tutkimusmittaukset suoritettiin tarratähyksiä ja prismatonta mittausta hyödyntäen. Mittaukset suoritettiin yhden päivän aikana ja ajankohdaksi valittiin tyyni päivä, jotta tuuli ei vaikuta mitaustuloksiin. Lisäksi mittalaitteen ja muun mittauskaluston annettiin asettua ulkolämpötilaan reilun tunnin ajan.

Mittaukset aloitettiin orientoimalla koje vapaalle asemapisteelle, jolla takymetri oli koko mittausten ajan, jotta tulosten vertailu olisi mahdollisimman yksiselitteistä. Tämän jälkeen kartoitettiin liitospisteet ja kartoitettava piste (1), joka sijaitsi 55 metrin päässä asemapisteestä (kuva 10), kahteen kertaan kummastakin kojeasennosta. Liitospisteiden kartoittamisen jälkeen suoritettiin erilaiset orientointivariaatiot, joita olivat kahden noin 90 asteen kulmassa takymetriin nähden olevat liitospisteet (ap3 ja ap4), samalla suoralla olevat liitospisteet (ap1 ja ap4), kapeassa kulmassa olevat liitospisteet (ap1 ja ap2), kolme liitospistettä (ap1, ap3 ja ap4) sekä kapeassa kulmassa ja niitä vastapäätä olevat liitospisteet (ap1, ap2 ja ap4).



Kuva 10. Liitospisteiden ja kartoituspisteen sijainti asemapisteeseen nähden.

Mahdollisesta kojeen liikkumisesta johtuva tulosten vääristymä pyrittiin ehkäisemään suorittamalla eri orientointivariaatiot sarjassa peräkkäin. Kun kaikki orientointitavat oli mitattu kertaalleen, orientointisarja toistettiin samassa järjestyksessä uudelleen. Orientoinnit suoritettiin tekemällä havainnot molemmilla kojeasennolla, mutta orientoinnin jälkeen suoritettu havainto mitattavaan pisteeseen vain yhdellä kojeasennolla.

Kolmella liitospisteellä orientoitaessa asemapisteen kaikki koordinaatit olivat millimetrilleen samoja alkuperäisten kanssa toisen kierroksen z-koordinaattia lukuun ottamatta, jossa oli millimetrin virhe. Kartoitettavan pisteen koordinaateissa ainoa millimetrin virhe oli toisella kierroksella x-koordinaattilukemassa. Kahdella noin 90 asteen kulmassa olevalla liitospisteellä orientoitaessa asemapisteen x- ja z-koordinaateissa oli molemmilla kerroilla millimetrin virhe y-koordinaatin ollessa täysin sama alkuperäisen kanssa. Myös kartoitettavan pisteen koordinaatit olivat joko samoja kuin alkuperäiset tai niissä oli millimetrin virhe. Samoihin korkeintaan millimetrin suuruisiin virheisiin päästiin orientoimalla kolmella liitospisteellä, joista kaksi oli kapeassa kulmassa ja yksi lähes niitä vastapäätä.

Samalla suoralla vastakkaisissa suunnissa takymetriin nähden olevien pisteiden orientoinnissa x- ja y-koordinaatit olivat molemmilla kierroksilla täsmälleen

samat kuin alkuperäiset, mutta korkeudessa oli molemmilla kerroilla millimetri liikaa. Kartoittavan pisteen x-koordinaatissa oli toisella kierroksella millimetrin virhe, muuten x- ja y-koordinaatit olivat samoja kuin alkuperäiset, mutta korkeudessa oli molemmilla kerroilla kaksi millimetriä virhettä. Kapeassa noin 50 asteen kulmassa olevien liitospisteiden orientoinnissa asemapisteen x- ja y-koordinaateissa oli virhettä kaksi millimetriä, pois lukien toisen kierroksen y-koordinaatti, jossa virhettä oli kolme millimetriä. Korkeudessa virhettä oli molemmilla kierroksilla millimetri. Kartoitettavan pisteen x-koordinaatissa oli molemmilla kerroilla 7 mm, y-koordinaatissa 3 ja 4 millimetriä sekä z-koordinaatissa 2 millimetriä virhettä. Kaikkien orientointivariaatioiden asemapisteen ja kartoitettavan pisteen koordinaatit on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Eri orientointivariaatioilla saadut asemapisteen sekä kartoitetun pisteen koordinaatit.

	Asemapisteen koordinaatit			Kartoitettavan pisteen koordinaatit		
	x	y	z	x	y	z
Alkuperäiset	6687449.060	25500562.720	22.065	6687412.384	25500520.175	23.085
Kolme pistettä	6687449.060	25500562.720	22.065	6687412.384	25500520.175	23.085
	6687449.060	25500562.720	22.066	6687412.385	25500520.175	23.085
2 pistettä 90° kulma	6687449.061	25500562.720	22.066	6687412.384	25500520.174	23.085
	6687449.061	25500562.720	22.066	6687412.385	25500520.175	23.086
Samalla suoralla	6687449.060	25500562.720	22.066	6687412.384	25500520.175	23.087
	6687449.060	25500562.720	22.066	6687412.385	25500520.175	23.087
Kapea kulma	6687449.062	25500562.722	22.066	6687412.391	25500520.172	23.087
	6687449.062	25500562.723	22.066	6687412.391	25500520.171	23.087
Kapea kulma ja vastapäätä	6687449.060	25500562.720	22.065	6687412.385	25500520.175	23.086
	6687449.060	25500562.720	22.066	6687412.384	25500520.174	23.086

5 Kaivojen kartoitusmenetelmät ja alikulkujen kartoitus

5.1 Kaivojen kartoitusmenetelmien vertailu

Kaivojen kartoituksen osalta opinnäytetyössä tutkittiin erilaisia käytettävissä olevia mittaustapoja viemäriputkien vesijuoksujen kartoitukseen. Mittaukset suoritettiin prismasauvaan asennettavan kaivokulman avulla, mittaukseen soveltuvalla latalla sekä Trimble R12i GNSS -vastaanottimella. Suoritettujen mittausten tarkoituksena oli vertailla menetelmien tarkkuutta ja soveltuvuutta kartoitusmittaukseen. Kaivokulman ja latan avulla suoritettavat mittaukset suoritettiin takymetrillä samalta asemapisteltä, jotta mittaustulokset olisivat vertailukelpoisia keskenään. Lisäksi mittaukset suoritettiin GNSS-vastaanottimella, jossa oli IMU:n eli inertiamittausyksikön kallistuskompensaatio, jotta voitiin tutkia laitteen mahdollista hyödyntämistä kaivojen kartoituksessa. Kaikilla tavoilla suoritettiin mittaukset kaksi kertaa.

Kaivokulman avulla mitatessa kaivokulma työnnetään viemäriputken sisään ja asetetaan vesijuoksuun, jonka jälkeen piste voidaan kartoittaa. Kartoitus on yksinkertaista, sillä prismakorkeus saadaan suoraan kartoitussauvasta pois lukien syvemmät kaivot, joissa apuna joudutaan käyttämään jatkovarsia. Kaivokulman avulla suoritettavissa mittauksissa ongelmaksi muodostuu etenkin kartiolliset kaivot ja kauempaa sivulta liittyvät putket (kuva 11), sillä niissä kartoitussauvaa ei saa pystysuoraan, jolloin mittauksesta saatavat koordinaatit eivät pidä täysin paikkaansa ja niitä joudutaan korjaamaan. Tällöin mittausten aikana täytyy myös tehdä huolelliset muistiinpanot, sillä eri suuntiin lähtevien putkien vesijuoksuista otetut pisteet saattavat olla hyvin lähellä toisiaan ennen mittausdatan editointia.



Kuva 11. Vesijuoksun mittaus kaivokulmalla.

Kaivojen mittaukseen tarkoitetulla latalla mitataan vesijuoksut käytännössä samalla tavalla kuin kaivokulmalla. Latalla mitatessa kaivon kannen reunan kohdalta luetaan latasta korkeuslukema (kuva 12), johon lisätään kannen reunan päälle asetettavan kartoitussauvan prismakorkeus. Latan avulla suoritettavassa mittauksessa vesijuoksun x- ja y-koordinaatit saadaan helpommin oikeaan paikkaan kuin kaivokulmalla suoritettavassa mittauksessa. Korkeuden osalta tarkkuus riippuu latan lukemisen tarkkuudesta.



Kuva 12. Vesijuoksun mittaaminen latan avulla.

Kaivojen mittausta suoritettiin avoimessa maastossa, jossa tutkittiin myös GNSS-vastaanottimen soveltuvuutta vesijuoksujen mittaukseen. Vastaanottimessa olleen IMU:n kallistuskompensaation avulla mittaaminen oli hyvin yksinkertaista, sillä kartoitussauvan kärki oli helppo asettaa vesijuoksuun, kun sauva sai olla kallistettuna. GNSS-mittauksissa sekä IMU:n käytössä syntyy kuitenkin aina virhettä, joten tätä mittausmenetelmää ei voida käyttää kaikkialla. Eri mittausmenetelmillä mitatut vesijuoksujen koordinaatit on esitelty taulukossa 4.

Taulukko 4. Vesijuoksujen mitatut koordinaatit.

	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti
	Vesijuoksu 1 (kaivon suoralla seinämällä)		
kaivokulma	6686673.857 6686673.853	25499969.524 25499969.512	12.221 12.225
latta	6686673.862 6686673.864	25499969.536 25499969.537	12.232 12.231
GNSS	6686673.844 6686673.823	25499969.518 25499969.509	12.211 12.216
	Vesijuoksu 2 (kaivon kartiollisella seinämällä)		
kaivokulma	6686673.992 6686673.973	25499969.345 25499969.341	12.006 12.009
latta	6686674.110 6686674.113	25499969.230 25499969.234	11.993 11.994
GNSS	6686674.142 6686674.134	25499969.253 25499969.233	11.989 11.993

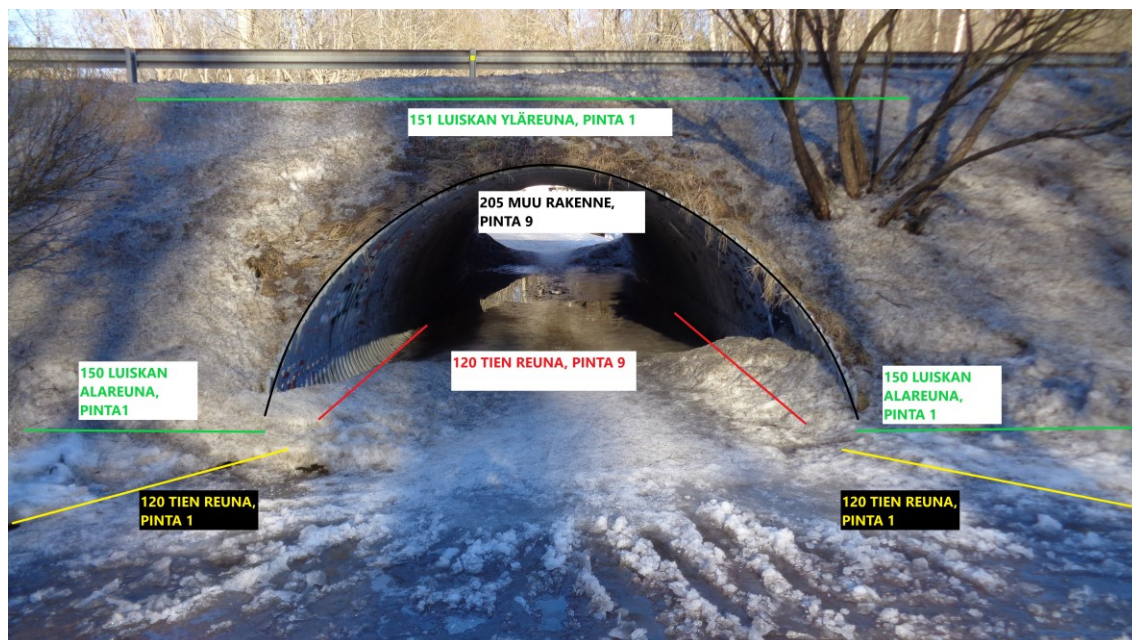
Tuloksista voidaan huomata, että kaivon suoralla seinämällä kaikki mittaustulokset mahtuvat Väyläviraston tarkkuusvaatimuksen sisälle. Kartiollisella seinämällä tarkkuusvaatimuksen sisään mahtuu vain lattan avulla ja GNSS-vastaanottimella mitatut koordinaatit. Kaivokulman avulla mitatuissa x- ja y-koordinaateissa on noin 10 senttimetrin ero muihin mittauksiin ja korossa ero on noin 1-2 senttimetriä.

5.2 Väyläviraston mittausohjeen tulkinta alikulkujen kartoituksen osalta

Erityyppisten alikulkurakenteiden kartoittamista ja koodaamista pyrittiin selvittämään Väyläviraston maastomallin mittausohjeen tulkinnan avulla. Erityyppisiä alikulkujen rakenteita ovat putkimainen rakenne, betonirakenne ja siltamainen rakenne. Erilaisilla rakenteilla kartoitettavien kohteiden koodit lähestulkoon samat, mutta kohteiden koodaaminen eri pintatunnuksille vaihtelee rakenteiden välillä.

Putkimainen rakenne

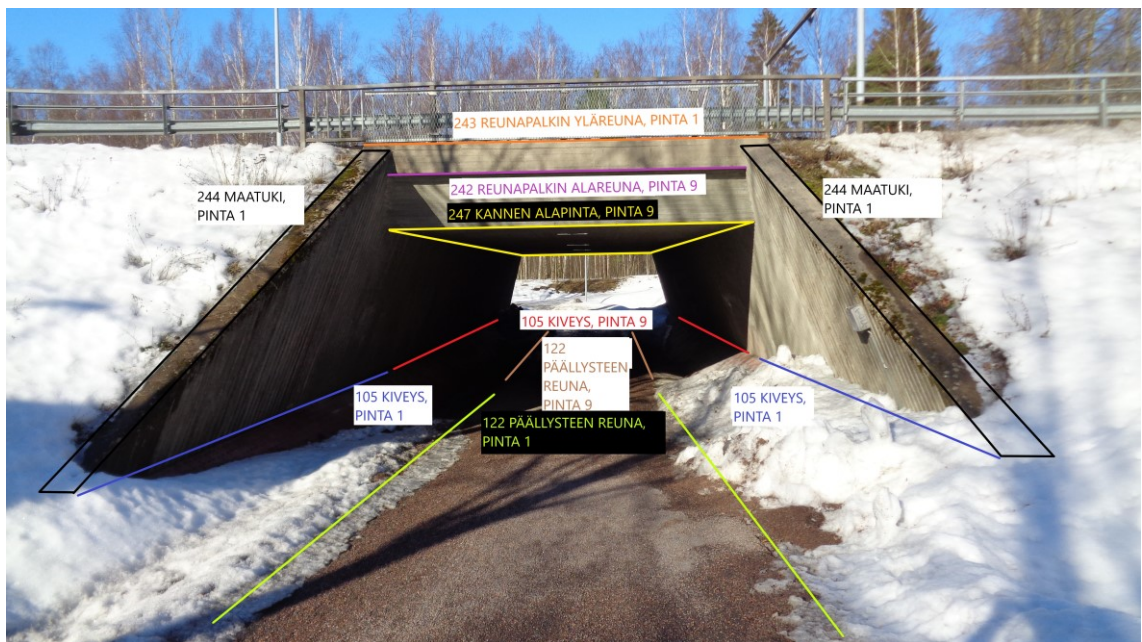
Putkimaisella rakenteella toteutettu alikulku on yksinkertaisin kartoittaa ja koodata. Alikulun päällä oleva tiealue koodataan kokonaisuudessaan pinnalle 1 eli maanpinnaksi, pois lukien kohteet, jotka normaalistikin koodataan pinnalle 9, kuten kaiteet ja valaisimet. Alikulun putken suuaukot kartoitetaan koodilla 205 (muu rakenne) pinnalle 9. Alikulun sisällä kulkevan tien reunat koodataan putken sisällä pinnalle 9 ja tieluiskan alareunan kohdalta eteenpäin pinnalle 1 (kuva 13).



Kuva 13. Putkimaisen alikulun koodaus.

Betonirakenne

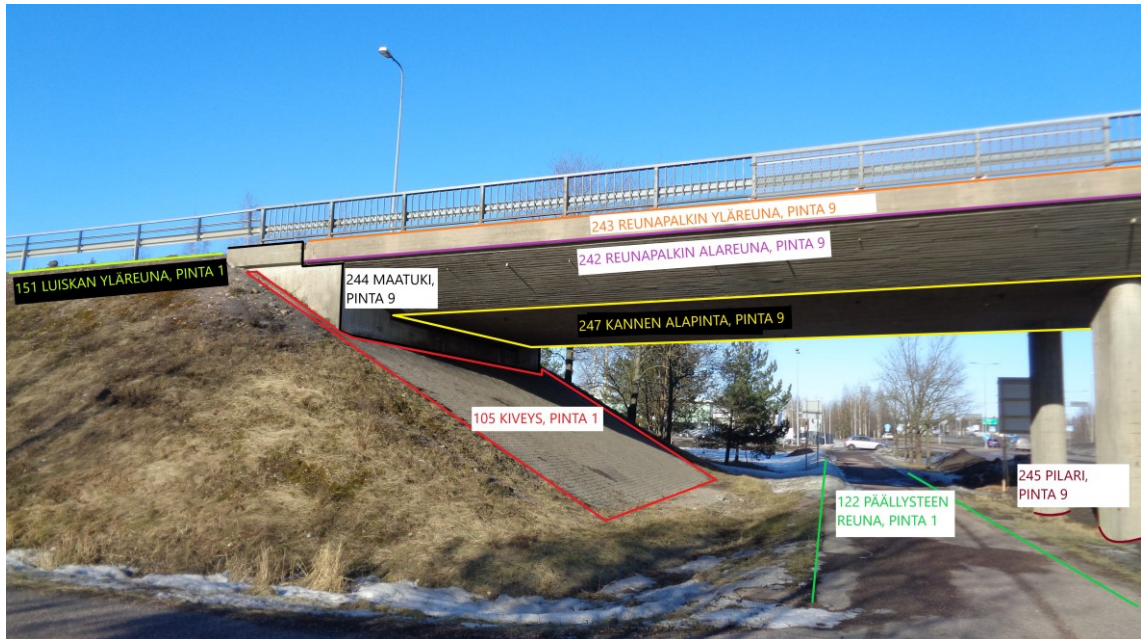
Myös betonirakenteisen alikulun osalta yläpuolinen tiealue koodataan pinnalle 1, pois lukien normaalisti pinnalle 9 koodattavat kohteet. Tien sisällä olevan alikulun kohteet koodataan pinnalle 9 ja kohteiden pintatunnus vaihtuu reunapalkin ulkoreunan kohdalla pinnaksi 1. Alikulun betonirakenteet kartoitetaan sillan koodeilla 242 (reunapalkin alareuna), 243 (reunapalkin yläreuna), 244 (maatuki) ja 247 (kannen alapinta). Näistä maatuki ja reunapalkin yläreuna koodataan pinnalle 1 sekä reunapalkin alareuna ja kannen alapinta pinnalle 9 (kuva 14).



Kuva 14. Betonirakenteisen alikulun koodaus.

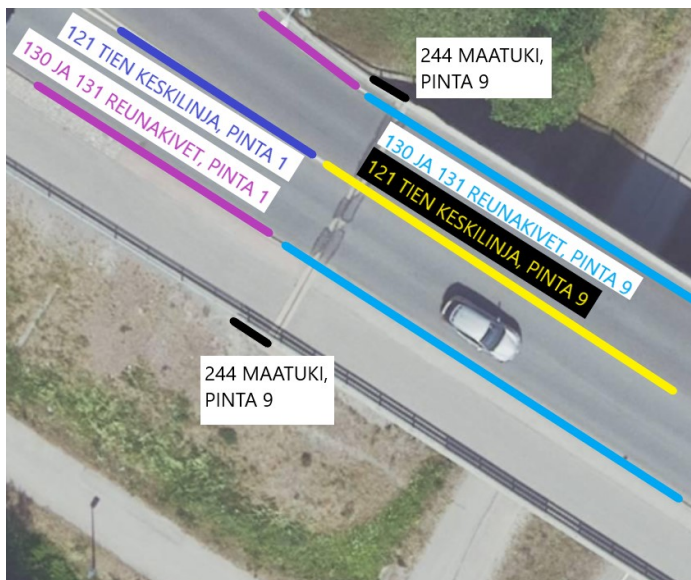
Siltamainen rakenne

Siltamaisessa rakenteessa kaikki siltarakenteen kohteet koodataan pinnalle 9 ja sillan alle jäävät maanpinnan kohteet pinnalle 1 (kuva 15).



Kuva 15. Sillan alapuolisten kohteiden koodaus.

Sillan päälle jatkuvien kohteiden koodaus vaihtuu maatuen ulkoreunan kohdalla pinnasta 1 pinnalle 9 (kuva 16).



Kuva 16. Viivojen pintatunnuksen vaihtuminen sillalle tullessa.

6 Pohjatutkimuspisteiden merkintämittausten kehittäminen

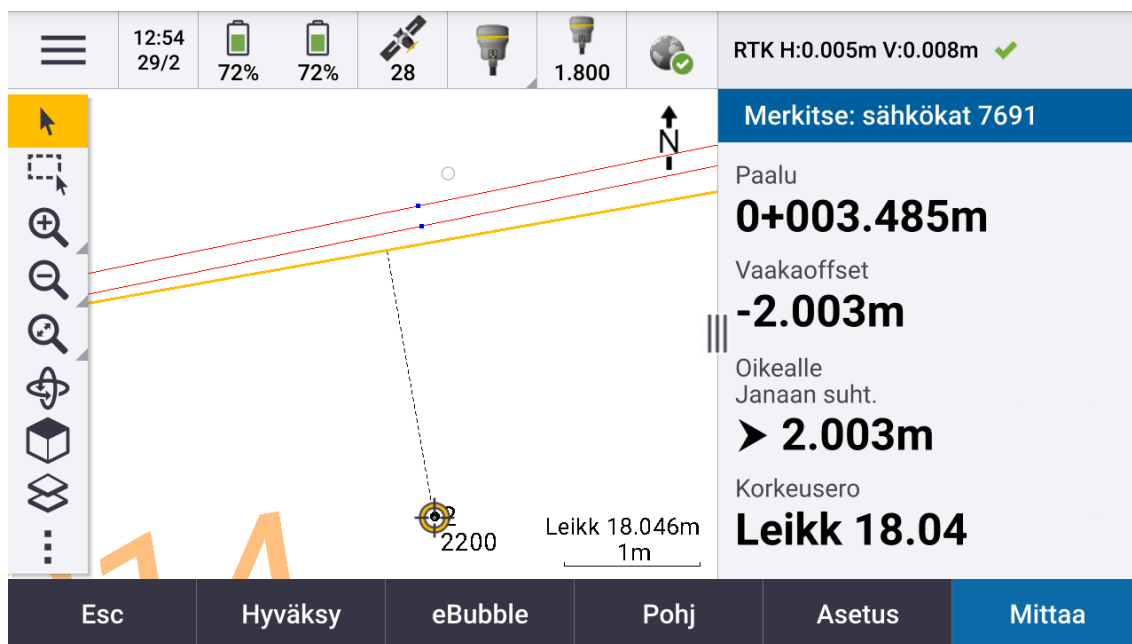
Pohjatutkimuspisteiden merkitsemisessä ei yleensä vaadita senttimetrin tarkkuutta vaan suunnittelijoilta saatuja pisteitä saa usein siirtää, jollei toisin mainita, kunhan siirto on alle kolme metriä. Haastavinta pisteiden merkitsemisessä on maanalaisten johtojen sijainnin tietäminen ja pisteiden merkitseminen turvalliseen paikkaan. Erilaisilla maanalaisilla johdoilla on eri turvaetäisyydet, joiden ulkopuolella kairaukset on suoritettava. Etenkin katualueilla johtoja on runsaasti, jolloin sopivan pisteen merkitseminen voi olla hyvin haastavaa.

Alueilla, joilla maanalaisia johtoja on vähän, voidaan pohjatutkimuspisteitä merkitä maastoon vain kartan avulla. Tässä tapauksessa suunnittelijoilta saadaan pisteiden koordinaatit, jotka sijoitetaan johtotietojen kanssa samalle kartalle. Jos piste osuu johdon kohdalle, sitä voidaan maastossa siirtää turvaetäisyyden päähän ja merkitä piste sekä kartoittaa pisteelle uudet koordinaatit. Kun maanalaisia johtoja on paljon, toimimalla samalla tavalla täytyy merkinnän jälkeen tarkistaa siirretyt pisteet ja etäisyydet johtoihin uudelleen. Kartan perusteella pisteitä siirrettäessä piste saattaa tulla merkityksi liian lähelle toista johtoa tai jopa sen kohdalle, ja merkintä täytyy käydä suorittamassa uudelleen. Tämän työn osuutena oli kehittää ja helpottaa pohjatutkimuspisteiden merkitsemistä alueilla, joilla on runsaasti maanalaisia johtoja.

Merkitysprojektin kehittämisessä annettiin koordinaatit kahdelle pohjatutkimuspisteelle tiealueelle, jossa on runsaasti maanalaisia johtoja. Nämä pisteet siirrettiin gt-muodossa maastotallentimeen. Merkintämitta-alueen dwg-muotoista johtokarttaa muokattiin muuttamalla johtojen tunnistetietoina olleet koodit tunnistettavaan muotoon, kuten hulevesiputki tai sähköjohto. Johdot sisältävä tiedosto kirjoitettiin ulos dxf-muodossa, jotta se voitiin siirtää maastotallentimeen.

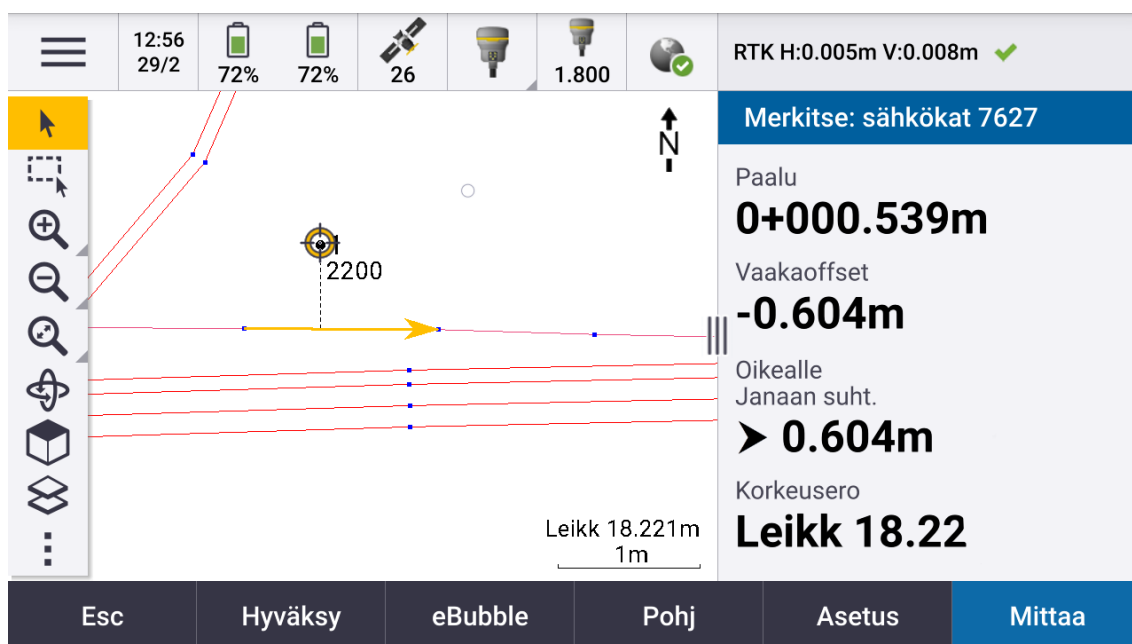
Merkittävien pisteiden ja johtokartan maastotallentimeen viemisen jälkeen pisteiden turvallinen merkitseminen maastoon oli mahdollista. Merkintämittauksessa käytettiin Trimble TSC5 -maastotallenninta ja mittausvälineenä Trimble R12i GNSS -vastaanotinta. Merkintämittauksessa menttiin laitteen ohjeiden

mukaan merkittävälle pohjatutkimuspisteelle, jonka löydyttyä mittalaitte pidettiin paikallaan ja vaihdettiin merkintämittaus lähimpään johtoon, joka tässä tapauksessa oli sähköjohto (kuva 17). Sähköjohdon turvaetäisyys on kaksi metriä, joten piste oli riittävän kaukana siitä. Tämän jälkeen mittalaitte pidettiin edelleen samalla pisteellä ja merkittiin toisella puolella olevaa hulevesiputkea, johon oli myös riittävä yli kahden metrin etäisyys, joten pohjatutkimuspiste oli turvallisessa paikassa.



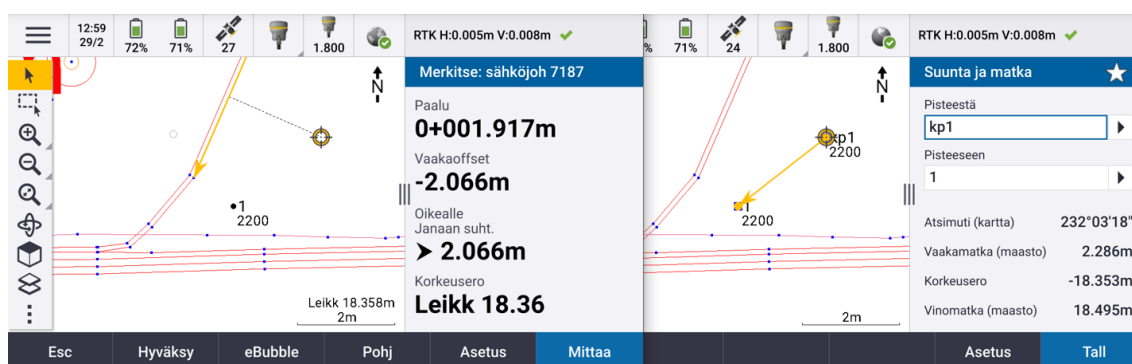
Kuva 17. Kuvassa merkittävänä oleva sähköjohto mittalaitteen ollessa pohjatutkimuspisteellä.

Seuraava pohjatutkimuspiste etsittiin samalla tavalla ja mittalaitteen ollessa pisteellä merkittiin lähintä sähköjohtoa. Tässä tapauksessa sähköjohto oli vain 60 senttimetrin päässä (kuva 18), joten vaadittu turvaetäisyys ei täytynyt vaan pistettä täytyi siirtää kauemmas johdosta. Merkitsemällä samaa sähköjohtoa voitiin siirtää mittalaitetta kauemmas johdosta, kunnes oltiin vaaditun kahden metrin etäisyydellä ja samalla katsottiin tallentimen kartalta, että ollaan silmämääräisesti yhtä kaukana vieressä olevasta toisesta sähköjohdosta.



Kuva 18. Pohjatutkimuspisteen etäisyys sähköjohdosta ei ole riittävä.

Kun kohta, josta merkittävään sähköjohtoon oli riittävä turvaetäisyys, oli löytynyt, pidettiin mittalaite paikallaan ja vaihdettiin merkitsemään viereistä sähköjohtoa. Viereiseen sähköjohtoon oli vaadittava kahden metrin turvaetäisyys, joten piste oli siirretty turvalliseen paikkaan (kuva 19). Tämän jälkeen suoritettiin vielä tarkistus, ettei pistettä ollut siirretty sallittua kolmea metriä enempää.



Kuva 19. Pohjatutkimuspiste yli 2 metrin päässä johdosta sekä alle 3 metrin päässä suunnitellusta pisteestä.

7 Johtopäätökset

Mittaustuloksista voidaan tehdä johtopäätöksiä GNSS-vastaanottimen hyödyntämisestä takymetrin orientoinnissa. Saatujen tulosten perusteella tasokoordinaatteja voidaan hyödyntää mittauksissa, joissa ei vaadita suurta tarkkuutta. Korkeuden osalta GNSS-vastaanotinta voidaan hyödyntää orientoinnissa vain avoimessa maastossa, jos mittauksen tarkkuusvaatimukset täytetään. GNSS-vastaanottimen havaintoaikaa pidentämällä päästäisiin todennäköisesti tarkempiin mittauksiin, mutta havaintoajan pituuden kasvattamista ei tässä opinnäytetyössä tutkittu.

Liitospisteiden sijainnin ja määrän vaikutusta takymetrin orientoinnin tarkkuuteen tutkittiin viidellä eri orientointivariaatiolla. Tuloksista voidaan huomata, että kolmea liitospistettä käyttämällä orientointi on varsin tarkka. Kahden liitospisteen avulla päästään myös hyvään tarkkuuteen orientoinnissa, kun liitospisteet sijaitsevat noin 90 asteen kulmassa tai samalla suoralla takymetriin nähden. Samalla suoralla olleiden liitospisteiden avulla tehdyn orientoinnin jälkeiseen kartoitukseen tuli kuitenkin korkovirhettä. Kapeassa kulmassa olevien liitospisteiden avulla orientoitaessa tarkkuudessa oli suurempaa virhettä, eikä kapeassa kulmassa olevien liitospisteiden käyttöä orientoinnissa voida suositella tarkkuutta vaativissa mittauksissa. Kaikkien orientointien osalta kojeen ilmoittamat keskivirheet olivat x-, y- ja z-koordinaattien osalta enintään millimetrin verran, joten mittaajan olisi helppo vetää johtopäätös, että orientointi on onnistunut. Virhe on kuitenkin suurempi, kuten kapean kulman liitospisteiden orientoinnista voidaan huomata, ja kartoitettavan pisteen osalta virhe vain kasvaa.

Kaivojen vesijuoksujen kartoitusmittauksissa tutkittiin eri mittaustapojen käytännöllisyyttä ja tarkkuutta. Latan avulla saatiin tarkkoja mittauksia kaikentyyppisistä vesijuoksuista, kun taas kartoitussauvaan asennetun kaivokulman kanssa tarkkoja tuloksia saatiin vain kaivon suoralta seinämältä. Tutkimusmittaukset suoritettiin avoimessa maastossa ja siellä saatiin riittävän tarkkoja tuloksia myös IMUn kallistuskompensaatiolla varustetulla GNSS-vastaanottimella. GNSS-vastaanottimella suoritettujen mittauksen tarkkuus on kuitenkin riippuvainen

sijainnista, satelliittien määrästä sekä sijainnista, eikä näin vähäisellä tutkimuksella voida todeta sen olevan soveltuva laite vesijuoksujen mittaamiseen.

Merkintämittausten osalta pohjatutkimuspisteiden merkintää alueilla, joilla on runsaasti maanalaisia johtoja, saatiin yksinkertaistettua ja helpotettua muuntamalla johtotiedot maastotallentimeen saatavaan tiedostomuotoon. Kehityksen jälkeen käytössä olevien mittalaitteiden ominaisuuksia voidaan hyödyntää huomattavasti tehokkaammin ja näin vähentää toimistolla tehtävää työtä sekä mahdollisesti myös maastossa käyntien määrää. Lisäksi työskentely uudella tavalla on huomattavasti nopeampaa, pisteet saadaan merkittyä varmasti turvalliseen paikkaan eikä maastossa tarvitse kantaa paperisia karttoja mukana.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tutkimuksissa keskityttiin Vantaan kaupungin maatutkimusyksikön mittauksissa ilmenneisiin ongelmakohtiin. Tavoitteena oli kehittää maatutkimusyksikön mittausprosesseja luotettavammiksi sekä pyrkiä hyödyntämään nykyaikaisten mittalaitteiden ominaisuudet tehokkaammin.

Tutkimusmittauksissa selvitettiin GNSS-vastaanottimen hyödyntämistä takymetrin orientoinnissa. Suoritettujen mittausten perusteella GNSS-vastaanottimella saadut x- ja y-koordinaatit olivat tarkkoja kaikissa ympäristöissä, joissa mittauksia suoritettiin. Korkeuden osalta tuloksissa oli huomattavia virheitä peitteisessä ja rakennetussa ympäristössä. Avoimessa maastossa korkeusvirheet olivat pienempiä, mutta hyvää tarkkuutta vaativiin mittauksiin kelpaamattomia.

Liitospisteiden sijainnin ja määrän vaikutusta takymetrin orientoinnin tarkkuuteen tutkittiin suorittamalla mittauksia testiradalla, jolla pyrittiin jäljittelemään todellisia maastomittauskohteita sekä niissä syntyviä orientointivariaatioita. Suoritettujen mittausten perusteella orientoinnissa on suositeltavaa käyttää kolmea eri suunnassa olevaa liitospistettä, joiden avulla saavutettiin todella hyvä tarkkuus. Myös kahdella takymetriin nähden optimaalisessa kulmassa olevalla liitospisteellä päästiin hyvään tarkkuuteen. Samalla suoralla ja erityisesti kapeassa kulmassa olevien kahden liitospisteen käyttämistä orientoinnissa ei voida suoritettujen mittausten tuloksien perusteella suositella.

Kaivojen vesijuoksujen osalta työssä tutkittiin erilaisten mittaustapojen tarkkuutta ja käytettävyyttä. Tutkimuksessa vertailtiin kaivokulman, latan sekä GNSS-vastaanottimen avulla suoritettavia mittauksia. Kaivon suoralla seinämällä olevasta vesijuoksusta saatiin kaikilla menetelmillä tarkkoja tuloksia, mutta kartiollisella sivulla kaivokulman avulla suoritetuissa mittauksissa x- ja y-koordinaateissa oli huomattavia virheitä. Latan avulla vesijuoksujen mittaaminen on mahdollisesti hieman haastavampaa ja hitaampaa, mutta erilaisten vesijuoksujen tarkka mittaaminen mahdollistaa mittausten suorittamisen vain yhtä menetelmää käyttäen. GNSS-vastaanottimella, joka oli varustettu IMUn kallis-tuskompensaatiolla, saatiin avoimessa maastossa Väyläviraston mittaushjeen

vaatimukset täyttäviä tuloksia, mutta hyödyntämistä peitteisessä tai rakennetussa ympäristössä ei tutkittu.

Merkintämittausten osalta opinnäytetyössä tutkittiin ja selvitettiin johtotietojen tuomista maastotallentimeen, jotta pohjatutkimuspisteiden merkitsemistä kehitetään yksinkertaisemmaksi ja turvallisemmaksi. Maastotallentimeen saatujen johtojen avulla voidaan maastossa pisteitä merkitessä tarkistaa, että vaaditut vaaroetäisyydet johtoihin täyttyvät ja kairausten suorittaminen on turvallista.

Lisäksi opinnäytetyössä tulkittiin Väyläviraston mittausohjetta siltojen ja alikulkujen kartoituksen osalta. Tulkinnessa pyrittiin selvittämään eri kohteiden koodaus sekä pintojen että kooditunnusten osalta ja kohdat, joissa viivojen pintatunnukset muuttuvat. Lopputuloksena saavutettiin selkeät kuvalliset ohjeet erityyppisten alikulkujen ja siltojen kartoitusta sekä koodausta varten.

Lähteet

- 1 Vermeer, Martin. 2019. Geodesia: Kaiken perusta. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. Aalto-yliopiston julkaisusarja Tiede + Teknologia 3/2019. <<https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/d8199c0e-b119-463a-860b-effdf1f243a8/content/>>. Luettu 10.1.2024.
- 2 Laakso, Tuija; Hell, Kimmo; Malmlund, Jenni; Sivonen, Karoliina & Laukkanen, Janne. 2021. Vesihuoltoverkoston mittaus ja dokumentointi. Verkkoaineisto. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. <https://www.vvy.fi/site/assets/files/5659/vesihuoltoverkosto_004_19022021.pdf>. Luettu 16.1.2024.
- 3 Määräys verkkotietojen ja verkon rakentamissuunnitelmien toimittamisesta. 2022. M71/27.9.2022.
- 4 Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot, Mittausohje 18/2017. 2017. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf>. 4.4.2017. Luettu 10.2.2024.
- 5 Maantieverkon sillat. 2021. Verkkoaineisto. Traficom. <<https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/maantieverkon-sillat?toggle=L%C3%A4hteet%20ja%20lis%C3%A4tiedot/>>. Päivitetty 7.12.2023. Luettu 13.2.2024.
- 6 Mulari, Kalle. 2013. Sillankorjausurakoiden mittaukset. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 7 Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. uudistettu painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
- 8 Wikman, Esa. 2004. Nykyaikaisen takymetrin anatomia. Maankäyttö, 4/2004, s. 44–46.
- 9 Wikman, Esa. 2010. Takymetri - Mittaustyökalu moneen käyttöön. Maankäyttö, 4/2010, s. 18–20.
- 10 Kärkkäinen, Tapio. 2023. Kenttäkalibrointi Trimble S-sarjan takymetreille. Verkkoaineisto. Geotrim. <<https://geotrim.fi/yritys/blogi/blog-mmit/kenttakalibrointi-trimble-s7-takymetrille/>>. 27.4.2023. Luettu 15.2.2024.
- 11 Virtanen, Ari. 2019. Rakennusmittaustyöt takymetrillä. Insinööriyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 12 JHS 184 Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä. 2020. Verkkoaineisto. JHS Julkisen hallinnon suositukset.

<<https://www.suomidigi.fi/ohjeet-ja-tuki/jhs-suositukset/jhs-184-kiintopiste-mittaus-euref-fin-koordinaattijarjestelmassa/>>. Päivitetty 28.9.2020. Luettu 28.1.2024.

- 13 Alatakkari, Timo. 2023. Liitospisteiden vaikutus takymetrin orientointiin. Insinööriyö. Lapin AMK. Theseus-tietokanta.
- 14 Palmunen, Jaakko. 2022. Mittausperustan mittaus, käyttö ja vaikutukset infrahankkeiden maastomittauksissa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.