

Mittausohjeet infratyömaiden työkoneille ja mittaushenkilöille

Alex Heikkilä

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2025

Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

HEIKKILÄ, ALEX:

Mittausohjeet infratyömaiden työkoneille ja mittaushenkilöille

Opinnäytetyö 55 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Toukokuu 2025

Tämän työn tarkoituksena oli tuottaa uudet, yhtenäiset ja selkeät mittausohjeet kaivinkoneohjaukseen sekä mittahenkilöiden takymetri- ja GNSS-mittauksiin toimeksiantajana olleen Infra Kiri Oy:n infratyömailla. Puuttuneet mittausohjeet ovat johtaneet työnjohtajien työmäärän lisääntymiseen, koneohjauksen käyttämättä jättämiseen sekä epäselvyyksiin ja virheisiin mittahenkilön tai kaivinkoneenkuljettajan vaihtuessa työmaalla.

Työtä varten haastateltiin työnjohtajaa, työmaapäällikköä ja kaivinkoneenkuljettajia, jotka kaikki ovat mittausten kanssa tekemisissä kyseisessä yrityksessä. Ohjeistus koottiin heidän palautteensa ja opinnäytetyön tekijän oman havainnoinnin ja kokemuksen perusteella sekä yrityksen aikaisempia, keskeneräisiä mittausohjeita työn pohjana käyttäen.

Opinnäytetyön tärkein tavoite oli selkeän ja yhtenäisen mittausohjeen luominen tasalaatuisten mittaustulosten varmistamiseksi mittahenkilöstä tai koneenkuljettajasta riippumatta ja siinä tässä työssä onnistuttiin. Uudet mittausohjeet sujuvoittavat ja helpottavat työskentelyä sekä tarjoavat tasapuolisen mahdollisuuden työssä onnistumiseen ja toiminnan tehokkuuden lisäämiseen. Ohjeistus tullaan pilotoimaan käytännössä työmailla, jonka jälkeen sitä voidaan vielä tarvittaessa helposti ja nopeastikin muokata.

Asiasanat: inframittaukset, koneohjaus, takymetri

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Civil Engineering

HEIKKILÄ, ALEX:

Measurement Guidelines for Construction Machinery and Survey Personnel on Infrastructure Sites

Bachelor's thesis 55 pages, appendices 4 pages
May 2025

This thesis was conducted for Infra Kiri Oy's infrastructure construction sites to standardise and clarify the measurement guidelines for excavator machinery control as well as survey personnel's total station and GNSS measurements. The lack of measurement guidelines has led to an increase in the workload of construction managers, non-usage of excavator machinery control as well as errors when changing personnel at the construction sites.

For this work, interviews were conducted with the site manager, construction manager and excavator operators, all of whom were involved in measurements within the company. The guidelines were compiled based on their feedback, as well as writers personal observations and experience and using the company's previous, unfinished measurement guidelines as a base.

The main goal for this thesis was to create clear and coherent measurement guidelines to ensure consistent measurement results, regardless of the machinery or survey personnel, and this work succeeded in that. The new measurement guidelines clarify work and provide equal opportunity for success at work and increased operational efficiency. The guidelines will be piloted in practice, after which they can be easily and quickly modified if necessary.

Key words: infra measurements, machinery control, total station

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TUTKIMUSSUUNNITELMA.....	8
	2.1 Tausta ja tavoitteet.....	8
	2.2 Aineisto ja tutkimusmenetelmät.....	9
	2.3 Aiheen rajaus	9
3	MITTAUKSEN PERUSTEET INFRATYÖMAILLA.....	11
	3.1 Mittalaitteet ja niiden käyttötarkoitukset.....	11
	3.1.1 Takymetri.....	11
	3.1.2 Satelliittipaikannus.....	13
	3.1.3 Koneohjaus	15
	3.2 Mittalaitteiden hyödyt	16
	3.3 Mittausperusta.....	17
	3.4 Mittausvirheeseen vaikuttavia tekijöitä	18
4	MITTAUSOHJEET	20
	4.1 Takymetrin orientointi.....	20
	4.1.1 Takymetrin pystytys.....	22
	4.1.2 Orientointi tunnetulle pisteelle	22
	4.1.3 Orientointi vapaalle asemapisteelle	23
	4.2 GNSS-vastaanottimeen yhdistäminen	28
	4.3 Integroitu mittaus.....	29
	4.4 Trimble SiteWorks perustoiminnot	31
	4.4.1 Mittaustyyppi	33
	4.4.2 Merkintätila	33
	4.4.3 Viivan lisääminen pisteiden välille manuaalisesti.....	34
	4.5 Trimble EarthWorks perustoiminnot.....	34
	4.5.1 Kauhan määrittäminen ja kalibrointi.....	35
	4.5.2 Tarkastusmittaus	35
	4.5.3 Toteumapisteen tallentaminen	36
	4.6 Mittahenkilöiden mitattavat kohteet.....	37
	4.7 Koneohjauksella mitattavat kohteet.....	41
5	TIEDOSTOON KIRJOITTAMINEN JA SYNKRONOINTI	44
	5.1 Tarkemittaukset.....	44
	5.2 Toteumamittaukset.....	46
6	POHDINTA	47
	LÄHTEET	49
	LIITTEET	52
	Liite 1. Mittavaatimukset (Yleiset inframallivaatimukset 2021).	52

Liite 2. Esimerkki koodilistasta.	53
Liite 3. Käyttökiintopisteiden (E5-E6) mittaaminen reaaliaikaisella GNSS-mittauksella (JHS 184).	54
Liite 4. Käyttökiintopisteiden (E5-E6) mittaaminen takymetrimittauksilla (JHS 184).	55

ERITYISSANASTO

DXF-tiedosto	Drawing Exchange Format: Kaksi tai kolmiulotteinen vektorimuotoinen graafinen tiedostomuoto.
ETRS-GK	Tasokoordinaatisto; Suomi on jaettu 13 eri tasokoordinaatistoon.
ETRS-TM35FIN	Koko Suomen kattava yhtenäiskoordinaatisto.
EUREF-FIN	Koordinaattijärjestelmä; ETRS89 -järjestelmän Suomalainen realisaatio
GNSS	Global Navigation Satellite Systems: yhteisnimitys maailmanlaajuisille satelliittipaikannusjärjestelmille.
GPS	Global Positioning System: USA:n puolustusministeriön ylläpitämä GNSS-järjestelmä.
Kiintopiste	Virallinen maastoon pysyvästi merkitty maastonkohta, jonka sijainti ja/tai korkeus tiedetään ja jonka sijainti on määritetty tarkasti suhteessa muihin kiintopisteisiin.
Liitospiste	Piste, jolle mitataan koordinaatit ja korkeus.
N2000	Valtakunnallinen korkeusjärjestelmä.
Orientointi	Takymetrin sijainnin määrittäminen käytettävässä koordinaatistossa kiintopisteiden avulla.
PDOP	Position Dilution of Precision, luku, jolla kuvataan satelliittigeometrian vaikutusta sijainnin tarkkuuteen.
Takymetri	Maanmittauksessa käytettävä mittalaite, korkeustason ja etäisyyksien mittaamiseen = koje.
Tarkepiste, tarke	Mittaajan mittaama piste.
Tarratähys	Mittaussäteen heijastava tarra = työaikainen liitospiste/apupiste, jolle mitattu koordinaatit ja korkeus.
Toteumapiste	Työkoneen avulla mitattu piste.
TSC7	Mittaamiseen käytettävä maastotietokone.

1 JOHDANTO

Mittaaminen on olennainen osa infrarakentamisen päivittäistä toimintaa ja mittalaitteiden käyttö on keskeisessä roolissa projektien onnistumisen kannalta. Tarkat merkinnät ja mittaukset takaavat sen, että rakenteet ja maaston muutokset toteutuvat suunnitelmien mukaisesti koko urakan ajan ja että jokainen työvaihe täyttää sille asetetut laatuvaatimukset.

Nykyaikaiset mittalaitteet – kuten takymetri, GNSS-järjestelmät ja koneohjaus – ovatkin kehittäneet merkittävästi infratyömaiden toimintatapoja. Näiden teknologioiden avulla toiminta tehostuu, virheet vähenevät ja työmaiden kustannustehokkuus lisääntyy. Samalla ne tekevät työmaista sujuvampia ja turvallisempia. Nykyaikaisten laitteiden lisäksi avainasemassa mittaustyön onnistumisessa ovat huolellisuus, tarkkuus ja laitteiden asianmukainen käyttö.

Mittaamisen toteuttamisessa voi kuitenkin olla eroavaisuuksia, mikäli ohjeistus on puutteellinen tai esimerkiksi koneohjausta ei hyödynnetä sen täydellä kapasiteetilla. Tällaiset tilanteet voivat johtaa sekaannuksiin ja virheisiin. Yhteneväinen mittausohje selkeyttää ja helpottaa työskentelyä sekä tarjoaa kaikille tasapuolisen mahdollisuuden työssä onnistumiseen. Tällainen ohjeistus toimii kuitenkin vain peruspohjana mittaustoiminnoille. Tilaajan urakkakohtaiset laatu- ja mittausvaatimukset määrittelevät lopulta, millä ehdoilla mittaukset tehdään kullakin työmaalla. Mittausten suorittajalla tulee myös olla riittävä osaaminen niin maastomittauksesta kuin koneohjauksesta, tuntemus käytettävistä laitteista sekä perehtyneisyys urakan suunnitelmiin ennen työn aloittamista.

Tämä työ tehdään yhteistyössä Infra Kiri Oy:n kanssa, joka on pääurakoitsijana toimiva pirkanmaalainen infra-alan yritys ja jonka erikoisosaamista on vesihuollon rakentaminen, syvät kaivannot, teräsponntituennat sekä ohipumppaus.

2 TUTKIMUSSUUNNITELMA

2.1 Tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa mittausohjeet erityisesti koneohjauksella, takymetrilla ja GNSS-mittalaitteistolla toteutettaviin mittauksiin Infra Kiri Oy:n työmailla. Työn tavoitteena on selkeät ja yhtenäiset mittausohjeet, joita koneenkuljettajat ja mittaamista tekevät työnjohtajat pystyvät hyödyntämään työssään. Ohjeistuksen on tarkoitus olla myös avuksi uusille työntekijöille. Uusien mittausohjeiden myötä työmailla tapahtuva mittaaminen on tehokkaampaa ja johdonmukaisempaa, jolloin myös tarke- ja toteumamittausten käsittely on jatkossa helpompaa, nopeampaa ja tuottavampaa.

Toimeksiantajayrityksessä on aikaisemmin yritetty jalkauttaa toimivaa mittausohjetta mittaushenkilöille ja koneenkuljettajille siinä kuitenkaan onnistumatta. Selkeän ja yhtenäisen ohjeistuksen puuttuessa mittaamisen toteutuksessa on ollut suuriakin eroja mittahenkilöiden välillä ja koneohjausta on käytetty suhteellisen vähän. Tämän vuoksi tarkkeiden mittaaminen on pitkälti jäänyt työnjohdon vastuulle. Eriävien mittaustyylien takia tarkkeiden jälkikäsitelyssä on ollut epäselvyyksiä ja sekaannuksia on tapahtunut erityisesti tilanteissa, joissa mittaamista suorittava työnjohtaja tai koneenkuljettaja on vaihtunut työmaan aikana.

Tämän opinnäytetyön Infra Kirille julkaistava osuus alkaa kappaleesta 4; Mittausohjeet. Ohjeet pilotoidaan käytännössä 1–2 työmaalla noin kuukauden ajan, jonka jälkeen käydään läpi ohjeiden soveltuvuus käytännön työhön. Tämän seurauksena ohjeisiin tehdään tarvittavat lisäykset tai muutokset. Julkaistavaan mittausohjeeseen eritellään koneohjauksen osuus. Ohje on kuitenkin vain peruspohja mittaus-toiminnoille. Tilaajan määrittämät urakkakohtaiset laatu- ja mittausvaatimukset määrittelevät aina tarkemmin millä ehdoilla mittaaminen toteutetaan tietyn urakan osalta.

Mittausohjeisiin liittyvän opinnäytetyön tekeminen tuntui luontevalta koska olen työskennellyt Infra Kirillä työnjohtotehtävissä huhtikuusta 2024 alkaen ja mittaaminen on sisältynyt päivittäisiin työtehtäviini. Uudesta ohjeistuksesta on hyötyä koko yritykselle ja omaan työhöni.

2.2 Aineisto ja tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön sisältö ja tutkimusmenetelmät perustuvat pääsääntöisesti omaan työkokemukseeni sekä alan kirjalliseen aineistoon. Takymetri ja GNSS-laitteilla mittaaminen sisältyy päivittäisiin työtehtäviini, joka toimii hyvänä perustana tarkasteltavalle aiheelle. Lisäksi olen hyödyntänyt työn teoriaosuuksissa lähteitä kuten alan verkkosivustoja ja kirjallisuutta, joiden avulla olen voinut täydentää ja vahvistaa työni sisältöä. Tutkimusmenetelmänä on käytetty myös Infra Kirin henkilöstön haastatteluita. Haastattelut toteutettiin henkilöille, joilla mittaaminen sisältyy päivittäisiin työtehtäviin ja joille mittaamiseen liittyvä ohjeistus voi olla jatkossa hyödyksi. Haastattelut tarjosivat kattavampaa näkökulmaa tutkimusaiheeseen ja mahdollistivat käytännönläheisten johtopäätösten tekemisen.

Kysymykset, joita haastateltavilta kysyttiin:

- 1. Minkälaisia hyötyjä kokisit firman yhtenäisestä mittausohjeesta olevan? (esim. hyötyjä omaan mittaustyöhön tai hyödyt yritykselle)*
- 2. Mitä toivot uuden mittausohjeen sisältävän ja minkälaisessa muodossa toivot asioiden olevan siinä esitettynä?*

Vastauksissa toistui yhtenäisen mittauksen tärkeys, jonka ansiosta lomien ja muiden poissaolojen sijaistaminen helpottuu. Koneohjauksen osalta tärkeänä pidettiin sitä, että mittausohjeissa on tiivis ja selkeä koonti vain oikeasti tärkeistä ja oleellisista asioista ja että ohjeistuksessa olisi mahdollisimman vähän tekstiä.

2.3 Aiheen rajaus

Tässä opinnäytetyössä keskitytään Infra Kirin maanrakennustyömailla tapahtuvaan mittaamiseen eli miten, mitä ja millä mittalaitteilla mitataan.

Laajan aihealueen takia työstä on rajattu pois projektien luominen sekä mallien ja suunnitelmien tuominen maastotietokoneeseen. Myös tarkemittausten jatko-

käsittely on jätetty työstä pois. Työssä on kuitenkin huomioitu tarkkeiden kirjoittaminen oikeaan tiedostomuotoon sekä mittaustiedostojen synkronointi pilvipalvelimelle, joka voidaan tehdä työmaalla heti mittausten jälkeen.

3 MITTAUKSEN PERUSTEET INFRATYÖMAILLA

Mittaaminen on infratyömaiden keskeinen perustoiminto. Mittaajan vastuulla on ymmärtää työmaan suunnitelmat, havaita mahdolliset virheet ja ehdottaa ongelmatilanteisiin ratkaisuja. Nykypäivänä tärkeimmät mittauslaitteet työmailla ovat takymetri, GNSS-laitteet ja koneohjausjärjestelmät. Ne mahdollistavat sekä korkeuden että tasosijainnin mittaamisen eli mittausten avulla voidaan määrittää esimerkiksi rakennekerrosten ylä- ja alapinnat, alueiden rajat ja sijainti sekä asennettavien kaivojen, putkien, valopylväiden ja muiden rakenteiden paikat. Tarkkojen mittausten ansiosta suunnitelmat ja todellisuus kohtaavat, ja jokaisen työvaiheen laadun varmistaminen on mahdollista. (Laurila 2012, 16; Palviainen, Kainuvaara, Kostamo 2020; YIT 2020).

Mittaaminen infratyömailla jakautuu useisiin eri vaiheisiin. Ensin kerätään lähtötiedot maastomittauksilla, jonka jälkeen suunnitelmien toteutusvaiheessa varmistetaan, että rakenteet sijoittuvat oikein. Viimeisessä vaiheessa, kun työvaiheet valmistuvat, mittauksilla tarkistetaan työn laatu ja lopputuloksen vastaavuus suunnitelmiin ja esimerkiksi urakassa toteutuneet määrät. (YIT 2020).

3.1 Mittalaitteet ja niiden käyttötarkoitukset

3.1.1 Takymetri

Takymetri on maanmittauksessa käytettävä mittauskoje, jolla mitataan etäisyyksiä ja kulmia maastossa, jotta voidaan selvittää tarkasti pisteiden sijainti suhteessa mittauspaikkaan (Suomen Ammattiakatemia 2023). Takymetri on ollut käytössä yli 40 vuotta, ja sen ominaisuudet ovat kehittyneet merkittävästi teknisten uudistusten myötä (Wikman 2010). Nykyisin käytössä olevat, etäkäytettävät ja automatisoidut robottitakymetrit (kuva 2) ovat mittaajien monipuolisia yleistyökaluja, jotka mittaavat pysty- ja vaakakulmia sekä etäisyyksiä. Näistä mittaushavainnoista voidaan laskea esimerkiksi koordinaatteja, korkeuksia ja muita suureita. (Laurila 2012, 223–283).

Takymetria käytetään kolmijalalle asennettuna ja mittaustyö hoidetaan kartoitusauvan ja maastotietokoneen avulla. Kartoitusauvan yläpäähän asennetaan

heijastinprisma (kuva 1), joka heijastaa takymetristä lähtevän lasermittaussäteen takaisin kojeeseen. Takymetrin optiikka lukittuu prismaan eli koje seuraa prisman liikkeitä automaattisesti. Tästä syystä niiden välinen näkymä pitää olla avoin, jotta sijainti- ja korkeustiedot päivittyvät jatkuvasti maastotietokoneelle ja mittaaminen onnistuu. Sauvassa on rasiatasain, jonka avulla sauva saadaan pidettyä vakaana tarkkojen mittausten varmistamiseksi. Rasiatasaimesta käytetään myös nimitystä kuplatasain. (Laurila 2012, 238–246).



KUVA 1. MT1000 prisma kartoitus-sauvaan kiinnitettynä (Geotrim n.d)



KUVA 2. SPS930 robottitakymetri (Sitech n.d.)

Maastotietokone on säänkestävä tietokone, joka kiinnitetään kartoitussauvaan kiinni ja jonka avulla itse mittaustyö tehdään. Laite sisältää mittausohjelmiston, johon tallennetaan urakassa tarvittavat lähtötiedot, mittaushavainnot ja muut mittauksessa tarvittavat tiedot. (Laurila 2012, 223–224). Maastotietokoneelta voi valita taustalle eri suunnitelmapiirustuksia, jotka helpottavat mittaamista eri tilanteissa. Mittaukset toteutetaan töiden mukaisesti omiin kansioihin mitattavan kohteen mukaan esimerkiksi hulevesi, jätevesi, reunakivi, asfaltti ym.

Mitattu data siirretään maastotietokoneelta pilvipalvelimelle tai otetaan talteen muistitikulle, josta tiedot siirretään tietokoneelle käsiteltäväksi.

Infra Kirillä on käytössä koneohjauskäyttöön tarkoitettut Trimblen SPS930 -robottitakymetrit (kuva 3), joita hallitaan TSC7 -maastotietokoneilla (kuva 5). Tietokoneet toimivat Microsoft Windows 10 käyttöjärjestelmässä. Käytettävä mittausohjelma on Trimble SiteWorks -ohjelmisto. Pilvipalvelu toimii TCC Explorer -apuohjelman avulla ja tarkkeiden jatkokäsittely tapahtuu tietokoneohjelma Trimble Business Centerissä.



KUVA 3. Robottitakymetri pystytettynä (Kuva: Alex Heikkilä).

3.1.2 Satelliittipaikannus

Satelliittipaikannus- eli GNSS-järjestelmä (Global Navigation Satellite System) mahdollistaa tarkan paikanmäärittämisen, joka perustuu etäisyyksien mittaamiseen satelliittien ja maanpinnalla toimivan vastaanottimen välillä. Satelliittipaikannuksesta kuulee usein puhekielessä käytettävän nimitystä GPS. Huomioitavaa on, että GPS on vain yksi satelliittinavigointijärjestelmä, kun taas GNSS sisältää GPS:n lisäksi myös GLONASS, Galileo ja BeiDou -järjestelmät. (Laurila 2012, 279–290).

Satelliittipaikannusjärjestelmä koostuu tyypillisesti 20–30 satelliitista, jotka liikkuvat maata kiertävillä radoilla yli 20 000 kilometrin etäisyydellä maan pinnasta. Jokaisessa satelliitissa on tarkka atomikello, jonka perusteella lähetetään aikasiignaali sekä satelliitin sijaintitieto vastaanottimille. Paikannuksen onnistumiseksi vastaanottimen on saatava samanaikainen signaali vähintään neljältä satelliitilta. Satelliittipaikannuksen tarkkuutta ja luotettavuutta vahvistaa sijainniltaan tunnettu tukiasemayhteys, jonka avulla GNSS-laitteistolla voidaan saavuttaa senttimetri- luokan paikannustarkkuus. (Maanmittauslaitos 2024).

GNSS-järjestelmien tarkkuus on kehittynyt merkittävästi ja se on vähentänyt takymetrimittausten tarvetta. Takymetriin verrattuna GNSS-laitteilla mittaaminen on myös nopeampaa sillä mittaamiseen ei tarvita erillistä mittakojetta, kolmijalkaa eikä asemapisteen orientointia, sillä mittaus tapahtuu kartoitussauvan ja maastotietokoneen avulla. Prismen sijasta sauvan päähän asennetaan satelliitivastaanotin (kuva 4), jonka avulla muodostetaan satelliitti- ja tukiasemayhteydet. Satelliittipaikannuksen avulla saadaan selville XYZ-koordinaatit eli sijainti (pohjois- ja itäkoordinaatit) ja korkeusasema. Mittaamiseen liittyvät toiminnot tapahtuvat Infra Kirillä käytössä olevalla GNSS-laitteistolla samalla tavalla kuin takymetrillä mitattaessa, sillä mittaaminen tapahtuu samalla TSC7 maastotietokoneella ja Trimble SiteWorks -ohjelmistolla.

GNSS-mittauksia tehdessä täytyy kuitenkin huomioida, ettei tarkkuus ole yhtä tarkka kuin takymetrillä mitattaessa ja GNSS-laitteistoa voidaankin käyttää luotettavasti vain avonaisilla alueilla, joissa ei ole satelliittiyhteyteen vaikuttavia häiriötekijöitä, kuten puita tai korkeita rakennuksia, jotka aiheuttavat mahdollisia katvealueita. Lähtökohtaisesti takymetrillä voidaan mitata millimetrin tarkkuudella ja GNSS-mittalaitteilla senttimetrin tarkkuudella. Mittausohjelmisto antaa virheilmoituksen, jos mittauksen tarkkuus ei ole tarpeeksi luotettava. (Maanmittauslaitos n.d.).

Merkittävimmät virhelähteet GNSS-paikannuksen mittaustarkkuuteen ovat satelliittien rata- ja kellopoikkeamat, sekä signaalien vaimeneminen ja heijastukset. Myös ilmakehän ionosfäärin ja troposfäärin vaikutukset hidastavat ja vääristävät

signaalin kulkua satelliittien ja vastaanottimen välillä. Ionosfääri onkin GNSS-mittausten merkittävin yksittäinen virhelähde. Satelliittipaikannuksen osalta on myös mahdollista kohdata tahallista häirintää. (Maanmittauslaitos 2024).



KUVA 4. GNSS-vastaanotin (Ritchie list n.d.).



KUVA 5. TSC7 -maastotietokone (Ritchie list n.d.).

3.1.3 Koneohjaus

Koneohjaus voidaan toteuttaa monella eri tavalla mutta tavallisimmat tavat ovat satelliittipaikannus ja takymetriohjaus. Koneohjaus on yksinkertaistettuna sitä, että kaivinkone tai muu työmaalla käytettävä työkonne on yhdistetty takymetrin tai satelliittipaikannuksen avulla ja kone on varustettu tietokoneella, johon kaksi- tai kolmiulotteinen työmaasuunnitelma tulee näkyviin. Työkoneen kuljettaja näkee siis näytöltään koko ajan työmaan kokonaisuuden, kaivuussyvyudet, korkeudet ja sijainnit ilman, että mittaushenkilö mittaa maastoa käsin. Näin ollen kuljettaja pysyy työskentelemään suunnitelmien mukaisesti tehokkaammin ja tarkemmin. (YIT 2020).

Koneohjausjärjestelmässä käytetään koneohjausmalleja, jotka voivat olla piste-tiedostoja, viivamalleja tai pintamalleja. Koneohjausmallien avulla saadaan yksityiskohtaista tietoa poikki- ja pituusleikkauksista kuten rakennekerroksista, kaltevuuksista ja korkeuksista. Koneohjausmallien pintamallit voivat olla esimerkiksi kaivannoista, eri rakennekerroksista, luiskista tai viheralueista ja ne muodostuvat

taiteviivoista luoduista kolmioista. Viivamallit taas puolestaan ovat viivamaisia rakenteita kuten esimerkiksi sadevesi- ja jätevesiputkia. Pistetiedostot ovat pistemäisiä rakenteita kuten esimerkiksi kaivot, valopylväät, puut ja liikennemerkkien betonijalat. (3D-Koppi n.d.)

Kuljettajalla on keskeinen rooli työn onnistumisessa, sillä teknologia kehittyy koko ajan ja kuljettajan pitää olla tietoinen muuttuvista asioista. Erityisesti kaupunkiympäristössä työskennellessä kuljettajan täytyy myös olla tietoinen ympäröivästä alueesta, sillä siellä voi liikkua ulkopuolisia ihmisiä tai kaivannosta voi löytyä yllätyksiä, joita ei ole suunnitelmissa. (YIT 2020).

3.2 Mittalaitteiden hyödyt

Nykyaikaiset mittalaitteet kuten koneohjaus, takymetri ja GNSS-laitteisto ovat kehittäneet infratyömaiden arkea, sillä ne vaikuttavat koko rakentamisprosessiin niin suunnitteluun kuin työmailla tehtävään työhön. (Maanmittauslaitos n.d.)

Takymetrit ja GNSS-laitteet ovat tärkeä työkalu infrarakentamisessa, sillä ne tarjoavat mittaustöihin tarkkuutta, nopeutta ja tehokkuutta. Näiden ominaisuuksien myötä työmaiden kustannustehokkuus ja aikataulujen hallinta paranee, jonka takia tämänkaltaiset mittalaitteet onkin olennainen väline monilla infrarakentamisen osa-alueilla, niin suurissa kuin pienissäkin projekteissa. Yksi keskeinen etu on myös se, että mittaukset voidaan suorittaa yksin, mikä vähentää resurssitarpeita. Takymetrit ja GNSS-laitteet toimivat luotettavasti myös haastavissa sää- ja maasto-olosuhteissa, jonka takia niiden käyttö soveltuu monipuolisiin ympäristöihin ympäri vuoden. (M-Mies Oy n.d.).

Koneohjaus tuo infratyömaille useita merkittäviä hyötyjä niin tarkkuuden kuin tehokkuuden muodossa. Koneohjaus aiheuttaa myös vähemmän ylimääräistä kaivamista ja korjaustarpeita, joten se tuo myös kustannussäästöjä sekä huomioi ympäristöasiat optimaalisella maansiirrolla ja sitä myöden vähäisemmällä polttoaineen kulutuksella. Koneohjausjärjestelmän avustuksella mittahenkilön jatkuva tarve työmaalla pienenee, joten myös mittahenkilöistä aiheutuvat kulut pienentyvät ja työmaan turvallisuus paranee, sillä mittaajien ei tarvitse olla koneiden läheisyydessä niin usein. Kokonaisuudessaan koneohjaus parantaa rakentamisen

laatua ja sujuvuutta, tehden työmaista tehokkaampia ja turvallisempia. (Mölsä 2018; Novatron n.d.).

3.3 Mittausperusta

Mittausperusta on pysyvistä kiintopisteistä muodostuva verkko, jonka avulla maastossa tehtävät mittaukset liitetään käytettävään taso- ja korkeusjärjestelmään. Mittausperustan avulla varmistetaan, että kaikki rakentamiseen liittyvät mittaukset voidaan tehdä riittävän tarkasti. Mittausperustan pisteitä hyödynnetään mittausten lähtöpisteinä, eli kaikki alueen mittaukset sidotaan tähän verkkoon. Jotta mittaukset pysyvät tarkkoina ja luotettavina, tulee mittausperustan ulottua koko mitattavalle alueelle ja sen uloimpien pisteiden tulee sijoittua alueen ulkopuolelle. Mittausperustaa kutsutaan myös nimillä kiintopisteverkko, runkoverkko ja kolmioverkko. Pysyviä kiintopisteitä taas kutsutaan kiintopisteverkoksi. Kiintopisteet luokitellaan valtakunnallisiin pisteisiin (E1-E2) ja paikallisiin pisteisiin (E3-E6), joista E3-E4 ovat peruskiintopisteistä ja E5-E6 käyttökiintopisteitä. (Laurila 2012, 12–13; Liikennevirasto 2017, 10–11).

Tie- ja ratahankkeissa käytettävä koordinaattijärjestelmä on EUREF-FIN ja korkeustietojen osalta N2000-järjestelmä. Mittausperusta sidotaan valtakunnallisiin E1–E3-luokan kolmiopisteisiin tai pysyviin GNSS-tukiasemiin. Lähtöpisteitä tulee olla vähintään kolme, ja mittausalueen on sijaittava niiden muodostaman kuvion sisällä. Lähtöpisteiksi valitaan ensisijaisesti "erinomaiseksi" tai "hyväksi" luokiteltuja GNSS-pisteitä. Tarvittaessa voidaan käyttää myös "tyydyttäviä" tai maastossa tarkastettuja "välttäviä" pisteitä. Korkeusmittauksissa käytetään valtakunnallisia I–III-luokan kiintopisteitä, ja poikkeustilanteissa kuntien pisteitä tilaajan luvalla. (Liikennevirasto 2017, 10–11).

Mitattavalta alueelta pitää aina ottaa kontrollipisteeksi yksi saman luokan kiintopiste, mikäli sellainen alueelta löytyy. Kontrollipiste otetaan mukaan mittaukseen, jotta voidaan varmistua mittausten yhteensopivuudesta alueella jo olevaan pisteistöön. Kontrollipisteitä ei käytetä lähtöpisteinä vaan niille jo mitattuja XYZ-koordinaatteja verrataan mittaustulokseen. Jos kontrollipisteelle tehtävän mittauksen koordinaatit ovat toleranssissa, jäävät alkuperäiset koordinaatit voimaan. Muussa

tapauksessa tarvitsee selvittää erojen syyt, joita voivat olla uuden tai vanhan mittauksen virheet, pisteen liikkuminen tai jopa koordinaatiston deformatuminen eli sen muuttuminen tai vaurioituminen. Kun mitataan käyttökiintopisteitä (E5-E6) takymetrillä tai reaaliaikaisella GNSS-mittauksella tarvitsee mittausalueelta mitata vähintään yksi kontrollipiste, jonka ero alkuperäisiin koordinaatteihin saa olla enintään pohjois-, itäsuuntaisesti 40 mm ja korkeuden osalta 70 mm (liite 3 ja 4). (JHS 2017, 14).

Jos mittauksia ja kiintopisteitä halutaan virallisesti luokitella johonkin EUREF-FIN-luokkaan, on noudatettava Julkisen hallinnon JHS184 suosituksen mukaisia kiintopisteiden luokitusperiaatteita, mittausmenetelmiä ja tarkkuusvaatimuksia. Suosituksessa annetut ohjeet ja raja-arvot määrittelevät vähimmäistason, jolla varmistetaan kiintopisteiden tarkkuus ja yhtenäisyys kyseisessä luokassa. (JHS 184 2017, 2).

3.4 Mittausvirheeseen vaikuttavia tekijöitä

Mittaustarkkuuteen vaikuttavat aina useat eri tekijät ja voidaankin todeta, että virheetöntä mittauksia on mahdotonta suorittaa. Mittausvirheet voidaan yleisesti ottaen jakaa karkeisiin-, systemaattisiin-, ja satunnaisvirheisiin. (Laurila 2008, 32–33).

Karkeat virheet syntyvät mitaajan tai olosuhteiden takia esimerkiksi mittauslaitteiston vääränlaisesta käytöstä tai tulkintavirheestä. Karkeilla virheillä on aina jokin taustatekijä, mutta ne vaikuttavat vain yksittäisiin tapauksiin. (Laurila 2008, 33).

Systemaattiset virheet ilmenevät mitaushavainnoissa samansuuruisina. Kuten karkeissakin virheissä, myös systemaattisissa virheissä on aina jokin vaikuttava tekijä kuten mittalaitteen epätarkkuus tai mitaajan samalla tavalla toistama virhe. Tällaisia tekijöitä voi olla esimerkiksi laitteiston vääränlaiset asetukset kuten väärin asetettu prismakorkeus tai kojeen sisäisen tarkkuuden virhe. (Laurila 2008, 33).

Satunnaiset virheet esiintyvät kaikissa mittauksissa. Nämä voidaan huomata mit-taushavaintojen vaihteluna, vaikka mittaukset toistetaan saman henkilön toi-mesta samalla mittalaitteella ja samoissa olosuhteissa. Satunnaisille virheille ei ole löydettävissä erityistä syytä. Satunnaiset virheet ovat kuitenkin helposti hallit-tavissa, koska niiden suuruusluokka saadaan selvitettyä suhteellisen hyvin tois-tamalla mittauksia tarpeeksi. (Laurila 2008, 33–34).

Yhteenvetona voidaankin todeta, että infratyömaiden mittaustapahtumien merkit-täviltä virheiltä voidaan välttyä työskentelemällä tarkasti ja huolellisesti sekä var-mistamalla mittalaitteiden toimivuus ja niiden oikeaoppinen käyttö.

4 MITTAUSOHJEET

Infra Kirille julkaistava ohje on vain peruspohja mittausstoiminnoille. Tilaajan määrittämät urakkakohtaiset laatu- ja mittausvaatimukset määrittelevät aina tarkemmin millä ehdoilla mittaaminen toteutetaan tietyn urakan osalta. Mittausten suorittajalla tulee olla tarvittava osaaminen maastomittauksesta/koneohjauksesta ja tuntemus mittalaitteistosta. Hänen tulee myös perehtyä Infra Kirin mittaustyöhöohjeeseen, urakan rakennussuunnitelmiin ja työn tilaajan laatuvaatimukseen ennen mittaustöiden aloittamista. Uuden työntekijän kohdalla kokeneempi työntekijä käy mittaamisen perusteet ja mittalaitteet läpi, jonka jälkeen työntekijä voi hyödyntää tätä ohjeistusta mittaustyön apuna.

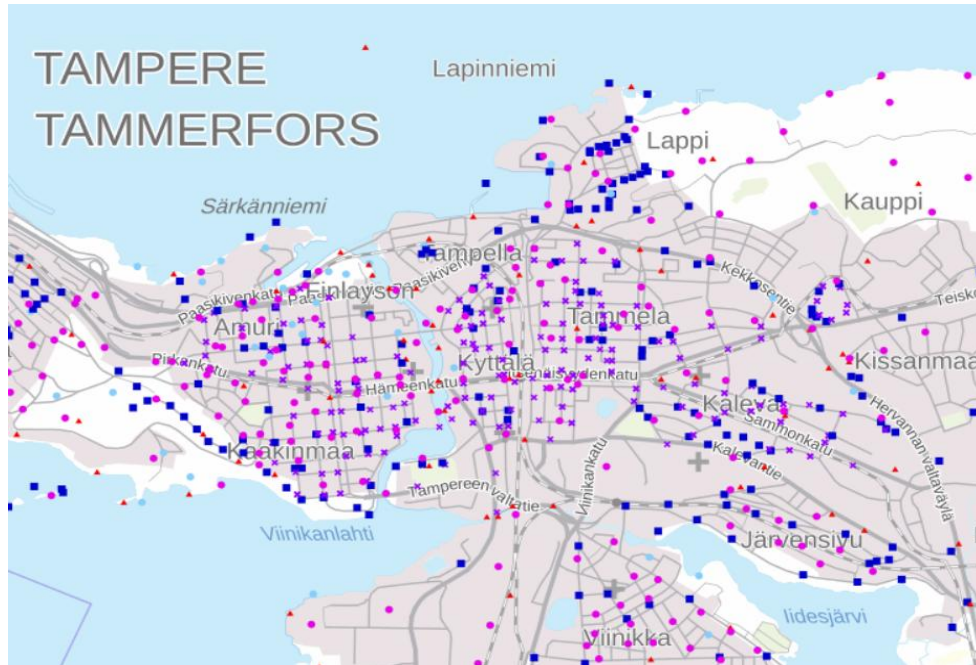
Mittauksissa käytettävän laitteiston on oltava mitattavaan kohteeseen nähden sopiva ja kalibroitu ohjeellisten aikavälien mukaisesti, jotta vaaditut toleranssit täyttyvät.

Mittaustyötä tekevän tulee varmistaa mitä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmää urakassa käytetään. Koko Suomen kattava koordinaattijärjestelmä on ETRS-TM35FIN, kun taas esimerkiksi Tampereen alueella käytetään ETRS-GK24 -koordinaattijärjestelmää, Helsingissä ETRS-GK25 ja Oulussa ETRS-GK26 -järjestelmää jne. Suomessa korkeusjärjestelmänä käytetään yleensä N2000. (Tampereen kaupunki 2022).

4.1 Takymetrin orientointi

Takymetrilla tehtävien mittausten aloitustoimenpiteitä ovat kojeen pystytys, tasoitus ja orientointi. Kojeen tasoitus tehdään aina huolellisesti tarkkojen mittaustulosten saavuttamiseksi. Tarkkaan tasatulla takymetrilla pystytään tekemään mittauksia millimetrin tarkkuudella. Orientointi tarkoittaa mitattavan alueen koordinaatiston ja korkeusaseman määrittelyä. Takymetrin orientointi tehdään joko vapaalle tai tunnetulle asemapisteele ja se on edellytys mittausten tekemiselle. Orientointi voidaan tehdä onnistuneesti, jos mitattavalla alueella on vähintään kaksi tunnettua kiintopistettä. (Laurila 2012, 252).

Joidenkin kaupunkien nettisivuilta voi löytää paikkatietokartan alueelle asennetuista kiintopisteistä. Kuva 6 näyttää, miltä esimerkiksi Tampereen kaupungin kiintopisteet näyttävät Oskari-karttapalvelussa. Pisteiden XYZ-koordinaatit saa näkyviin pistettä klikkaamalla.



KUVA 6. Kiintopisteet Oskari-karttapalvelussa. (Karttapalvelu.Tampere.fi n.d.).

Kiintopisteiden lisäksi työmaalle mitataan omia työnaikaisia ns. liitos- tai apupisteitä, joihin voidaan käyttää esimerkiksi tarratähyksiä (kuva 7). Tarratähykset tulisi aina kiinnittää tukeviin rakenteisiin, joista ne eivät pääse liikkumaan tai häviämään rakentamisen aikana. Liitospisteitä tulisi mitata aina työmaan alkuvaiheessa riittävä määrä niiden sijainnit huomioiden, jotta takymetri saadaan orientoitua vapaalla asemapistellä aina haluttuun paikkaan. Liitospisteiden mittaamisessa käytetään ohjeistuksena JHS 184 taulukko 6. Käyttökiintopisteiden (E5-E6) mittaaminen takymetrimittauksilla (liite 4).



KUVA 7. Tarratähyks (Geotrim n.d.)



KUVA 8. Asfalttinaula (Geotrim n.d.)

4.1.1 Takymetrin pystytys

Ennen takymetrin pystyttämistä pitää tarkastaa maasto, johon takymetri aiotaan pystyttää, jotta varmistutaan siitä, että takymetrilla on avoin näkymä kiintopisteille ja sille alueelle, jota aiotaan mitata. Takymetrin ja mitattavan kohteen välissä ei siis saa olla esteitä kuten puita, pylviä tai rakennuksia. Pystyttäjän tulee myös varmistua siitä, että alusta, jolle takymetrin kolmijalka pystytetään, on tukeva. Esimerkiksi lumen, jään tai muun epätasaisen maaston päälle takymetria ei ole hyvä pystyttää maaston mahdollisen liikkumisvaaran vuoksi. Myös asfaltti voi olla huono lämpimällä ja aurinkoisella säällä, sillä kolmijalan piikit saattavat painua asfalttiin. Kojetta pystyttäessä täytyy myös ottaa huomioon mahdolliset työkoneiden aiheuttamat värinävaikutukset tai huonot sääolosuhteet kuten kovat tuulenpuuskat. (Tuuliainen 2023).

Maaston tarkastamisen jälkeen kolmijalka pystytetään ja sen jalat tasataan niin, että niiden yläosassa oleva jalusta on mahdollisimman suorassa. Kolmijalan jalat painetaan kunnolla maahan, jotta ne eivät pääse painumaan mittaustyön aikana ja varmistetaan että jalkojen säätöruuvit ovat tarpeeksi tiukalla. Koje kiinnitetään kolmijalan yläpäähän jalustaan, jonka jälkeen tehdään kojeen karkea tasaus säätämällä kolmijalan jalkoja pystysuunnassa, joka varmistetaan kojeen tasausalustan kuplatasaimella. (Laurila 2012, 253–256). Tasauksen jälkeen takymetri ja maastotietokone laitetaan päälle.

4.1.2 Orientointi tunnetulle pisteelle

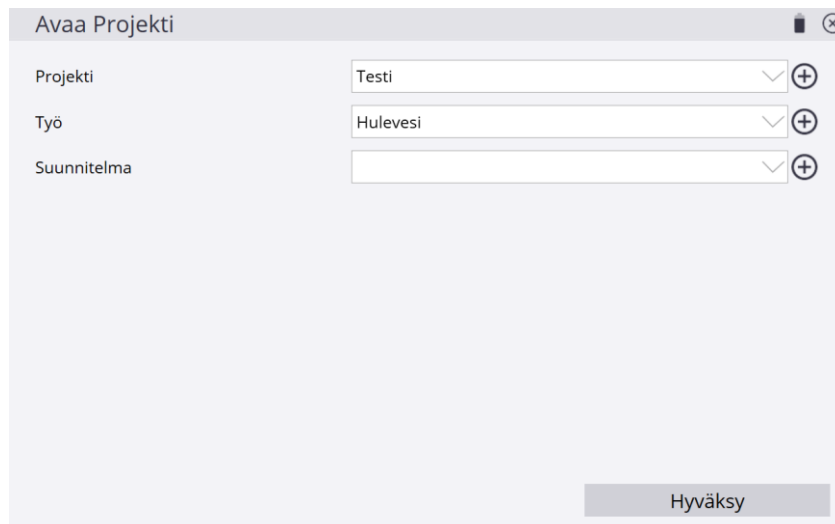
Takymetrin orientointi tunnetulle pisteelle tarkoittaa menettelyä, jossa koje pystytetään ja tasataan sijainniltaan tunnetun pisteen yläpuolelle. Kiintopisteenä on usein asfalttiin asennettu asfalttinaula (kuva 8). Koje kohdistetaan pisteen päälle optisen luodin avulla. Kun takymetri on pystytetty tunnetulle pisteelle, mitataan vähintään yksi liitoshavainto toiselta koordinaateiltaan tunnetulta kiintopisteeltä. (Laurila 2008, 242–244).

4.1.3 Orientointi vapaalle asemapisteelle

Takymetrin orientointi vapaalle asemapisteelle on yleisin käytössä oleva orientointimenetelmä infratyömailla koska asemapisteen paikka voidaan valita vapaasti, jotta näkymä takymetrin ja mitattavan alueen välillä olisi mahdollisimman esteetön. Asemapisteen sijainti eli koordinaatit ja korkeus määritetään orientoimalla koje vähintään kahdesta tunnetusta kiintopisteestä, joiden XYZ-koordinaatit on tallennettu mittalaitteelle. Kun koje on orientoitu ja lukittu prismaan, mittaus työ voidaan aloittaa. (Laurila 2012, 260).

Tässä kappaleessa käydään tarkemmin läpi, miten orientointi tehdään vapaalle asemapisteelle Trimble SiteWorks -ohjelmistossa.

Maastotietokoneelta avataan Trimble SiteWorks -ohjelmisto, jonka ensimmäinen näkymä on kuvan 9 mukainen. Tässä näkymässä valitaan projekti eli työmaa, jossa aiotaan mitata, työ eli aihe, jota mitataan ja taustalle näkyvä suunnitelma-piirustus/malli.



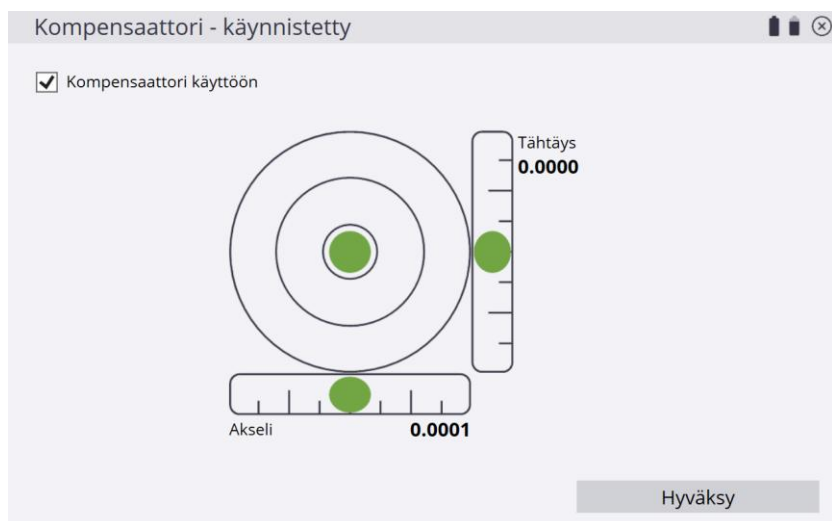
KUVA 9. Projektin valinta (Trimble SiteWorks näyttökuva).

Projektin valinnan jälkeen ohjelma pyytää yhdistämään takymetriin (kuva 10). Jos maastotietokone on ollut yhdistettynä edellisellä kerralla GNSS-laitteeseen, tulee sama näkymä auki mutta GNSS-laitteen tiedoilla. Tässä vaiheessa voidaan painaa ruksia ja valita päänäkymän (kuva 19) kotivalikosta "Projektin asetukset" -> "Yhdistä laite" -> "Takymetri", jonka jälkeen sama näkymä aukeaa.

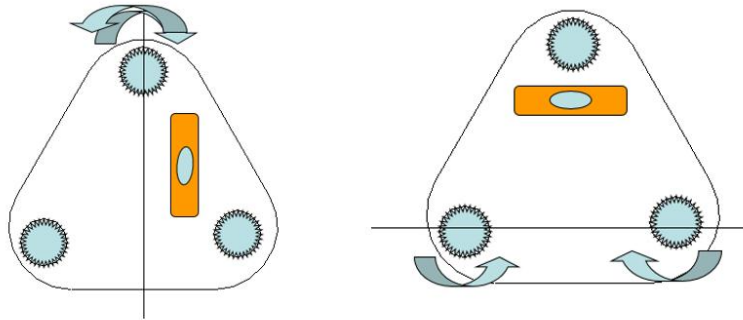
KUVA 10. Takymetriin yhdistäminen (Trimble SiteWorks näyttökuva).

”Radiokanava” ja ”Verkon ID”, valitaan sen mukaan mikä takymetri on käytössä. Käytössä oleva ID ja radiokanava voidaan tarkistaa takymetrin näytöltä. Näin ollen maastotietokoneen ja takymetrin välille muodostuu yhteys.

Hyväksymisen jälkeen takymetrin tarkempi tasaus tehdään elektronisen tasaimen avulla (kuva 11). Näytössä näkyvää vihreää kuplaa säädetään takymetrin tasausalustan jalkaruuvien (kuva 12) avulla niin, että akseli- ja tähtäyslukemat ovat 0.0000. Ei ole suositeltavaa hyväksyä tasausta, jos jompikumpi luvuista on korkeampi kuin 0.0005. Tällöin mittaustuloksia ei voida pitää tarpeeksi luotettavana.

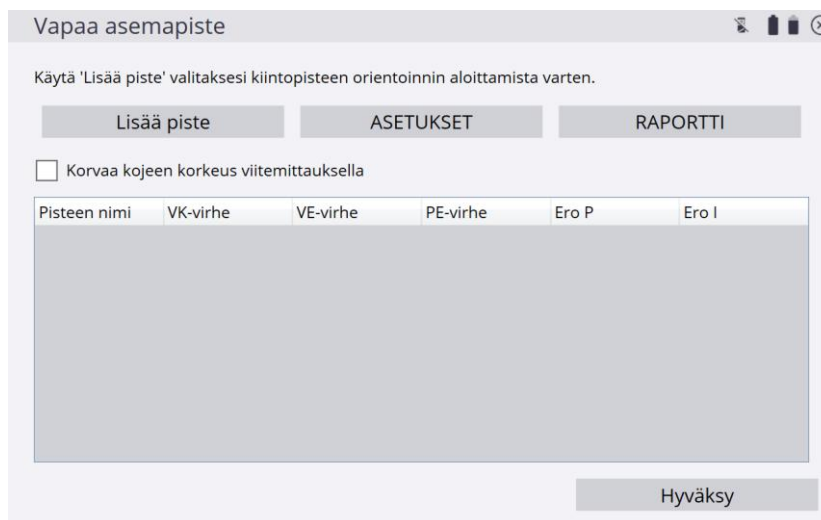


KUVA 11. Kompensaattori (Trimble SiteWorks näyttökuva).



KUVA 12. Kojeen jalkaruuvit (TAMK. Moodle. Mittaustekniikan -kurssi n.d.).

Digitaalisen tasauksen jälkeen näyttöön tulee tietoa mittaamiseen liittyvistä korjauksista kuten ilmakedän korjauksista, joista päästään eteenpäin hyväksymällä. Tämän jälkeen näytöltä valitaan takymetrin orientointitavaksi vapaa asemapiste, josta avautuu kuvan 13 mukainen näkymä.



KUVA 13. Vapaa asemapiste (Trimble SiteWorks näyttökuvaa).

”Lisää piste” -kohdasta valitaan tunnetut kiinto- tai liitospisteet, joista takymetri halutaan orientoida. Orientointi täytyy tehdä vähintään kahdesta pisteestä. Kojeen tähtäys ja mittaus tehdään pisteisiin yksi kerrallaan. Ensin kojeen objektiivin käännetään kiintopistettä kohdin, joka voidaan tehdä kääntämällä kojeen alhiadadia varovasti käsin. Tähtäyksessä voi käyttää apuna objektiivin alla tai yllä olevaa karkeaa tähtäintä.

Tarkempi tähtäys kiintopisteeseen tapahtuu takymetrin sivussa olevilla säätörullilla (3kpl), joilla saadaan säädettyä kojeen optiikkaa sivu- ja pystysuunnassa

sekä tarkennusta. Optiikan sisällä on vastaavanlainen tähtäinkuvio kuin tarratähyksessä, joka keskitetään tarran keskikohdan kanssa. Kun takymetri on tähdätty kiintopisteeseen, painetaan näytöltä kyseistä pistettä ja "Valitse", jonka jälkeen aukeaa kuvan 14 mukainen näkymä, josta varmistetaan, että mittaustapana on DR-Prisma. Prismakorkeus ja siirtymä luvut ovat 0.000 m. Tämän jälkeen mitataan kiintopiste kiinni painamalla "Mittaus".

KUVA 14. Mittaus (Trimble SiteWorks näyttökuva).

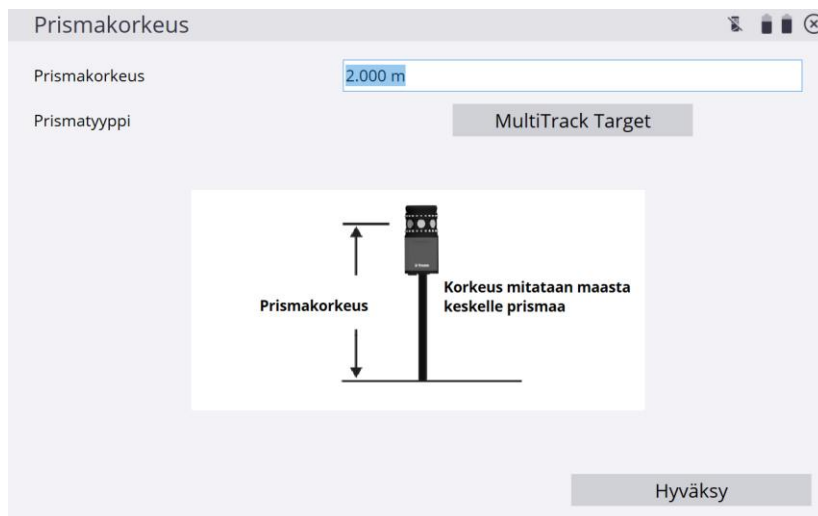
Samat vaiheet toistetaan toisen kiintopisteen osalta, jonka jälkeen nähdään, onko orientointivirhe sallituissa viiterajoissa eli toleranssissa (kuva 15). Jos ei, niin ohjelma ilmoittaa asiasta. Tällaisessa tilanteessa kiintopisteisiin mittaaminen täytyy tehdä uudestaan. Uudelleen mittaamisen voi tehdä napauttamalla pisteiden nimen vierestä valintamerkin pois päältä (kuva 15) ja toistamalla edellä mainitut vaiheet uudestaan tai kokeilemalla orientointia kokonaan eri kiintopisteistä.

Pisteiden nimi	VK-virhe	VE-virhe	PE-virhe	Ero P	Ero I
✓ ap23	-0°00'07"	✓ 0.002	✓ 0.000	0.002	-0.004
✓ ap30	RefPt	✓ 0.000	✓ 0.000	0.000	0.000

KUVA 15. Orientointivirhe toleranssissa (Trimble SiteWorks näyttökuva).

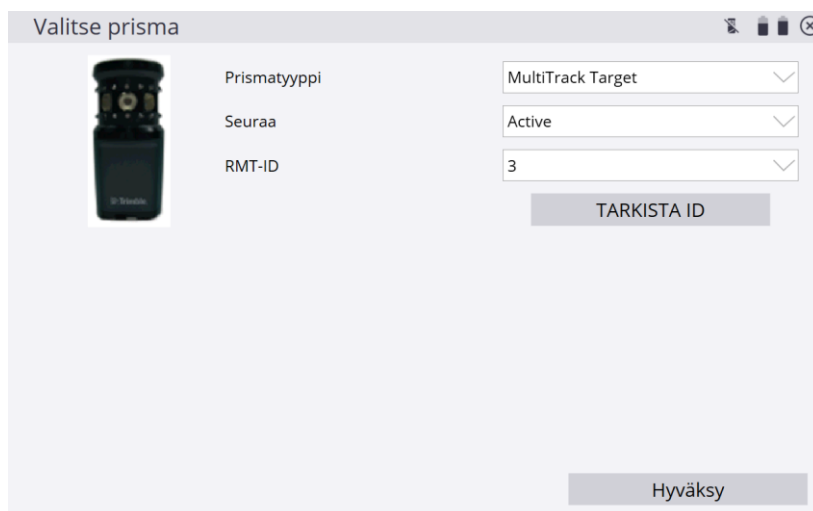
Kun orientointivirhe on kuvan mukaisesti sallittujen virhelukemien sisällä, voidaan orientointi hyväksyä. Näytölle ilmestyy kysymys ”Haluatko tallentaa kojeaseman kiintopisteeksi?” johon vastataan ”Ei”. Orientointi on nyt valmis.

Lopuksi takymetrin ja prisman välille täytyy vielä muodostaa yhteys. Prisman alareunassa olevasta rullasta valitaan sama ID numero, joka voidaan tarkistaa ohjelmiston päänäköymästä napauttamalla prismakorkeuden lukemaa, jolloin aukeaa kuvan 16 mukainen näkymä.



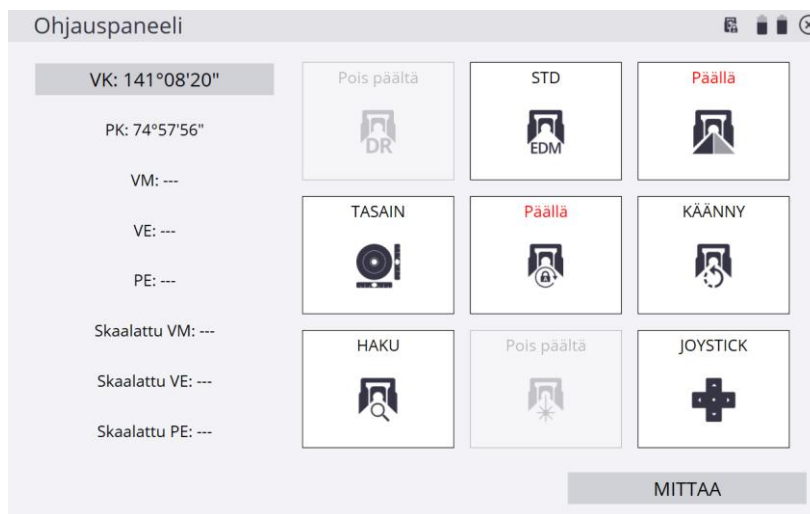
KUVA 16. Prismakorkeus (Trimble SiteWorks näyttökuva).

Kun painetaan ”MultiTrack Target” kohdasta saadaan näkymäksi kuva 17, josta voidaan varmistaa/vaihtaa oikea ID-numero. Lopuksi voidaan vielä valita ”TARKISTA ID”, jolloin ohjelmisto ilmoittaa onko kyseinen ID-käytettävissä.



KUVA 17. Prismatyyppi (Trimble SiteWorks näyttökuva).

Tämän jälkeen prismaa täytyy osoittaa kojeen optiikkaa kohden, jolloin koje lukituu prismaan ja takymetrin optiikka alkaa seuraamaan prismaa automaattisesti. Tämän seurauksena saadaan jatkuvaa tietoa kartoitussauvan koordinaateista ja korkeudesta. Maastotietokoneesta kuuluu äänimerkki ja oikeassa yläreunassa näkyy merkki, joka ilmoittaa prisman ja takymetrin välisestä aktiivisesta yhteydestä. Tietokone myös ilmoittaa, jos yhteys katkeaa. Yhteyden katketessa kojeen voi kääntää prismaa kohden automaattisella haululla tai manuaalisesti digitaalisen joystickin avulla. Ohjauspaneeli saadaan auki valitsemalla näytön oikeasta yläreunasta kojeen kuvake, jolloin aukeaa kuvan 18 mukainen näkymä.



KUVA 18. Ohjauspaneeli (Trimble SiteWorks näyttökuvana).

Vielä ennen mittauksen aloittamista tulisi orientoinnin tarkkuus tarkistaa kartoittamalla jokin tunnettu piste esimerkiksi aikaisemmin mitatun tarkepisteen avulla. Tarkistus voidaan tehdä myös orientointiin käytetystä kiintopisteestä. Jos mitatut koordinaatit ja korkeus vastaavat lähelle toisiaan voidaan todeta, että orientointi on onnistunut ja mittaus voidaan aloittaa.

4.2 GNSS-vastaanottimeen yhdistäminen

Avaa päävalikosta Projektin asetukset ja valitse Yhdistä laite. Tämän jälkeen valitse GNSS, jolloin avautuu Vastaanottimen asetukset -ikkuna. Tässä näkymässä määritetään seuraavat yleisasetukset:

- Tila: Valitaan Rover.
- Liitäntätyyppi: Valitaan Bluetooth.

- Bluetooth-laite: Valitse listasta oikea GNSS-vastaanotin; tämä tunnustetaan laitteen mallin ja numerosarjan perusteella (tarra vastaanottimen pohjassa).
- Korjaustapa: Valitaan Internet.
- Tietovirta: Valitaan VRSARV_CM Rx.
- Käytetään VRS-verkkokorjausta, johon ohjelma pyytää syöttämään tunnukset ja salasanan. Tähän kohtaan syötetään Infra Kirin käyttäjätunnukset.

Yleisasetusten jälkeen määritetään Quick Release, Tilt Compensation ja antennikorkeus laitteen ominaisuuksien ja käyttötilanteen mukaan.

- Käyttäjä valitsee, ovatko Quick Release ja Tilt Compensation käytössä (kyllä/ei).
- Määritetään käytettävä antennikorkeus.

Kun kaikki asetukset on määritetty, ohjelmisto kysyy, halutaanko projektia säätää kalibroinnilla. Tähän kysymykseen vastataan aina EI. Lopuksi ohjelma vielä kysyy, halutaanko GNSS-järjestelmä tarkastaa tunnetulla kiintopisteellä. Käyttäjä voi tässä kohtaa valita, haluaako tehdä tarkistuksen vai ohittaa sen. (Sitech n.d.)

4.3 Integroitu mittaus

Integroitua mittausta voidaan hyödyntää tilanteissa, joissa työmaalla ei ole tunnettuja kiintopisteitä, joista takymetri saataisiin orientoitua. Mittauksella luodaan työmaalle apupisteet takymetrin orientoitua varten. JHS 184 sisältää ohjeet reaaliaikaisella GNSS-mittauksella tehtävien E6-luokan käyttökiintopisteiden mittaamiseen maastossa.

Ohjeistusta käytetään integroidun mittauksen perustana ja se löytyy kokonaisuudessaan tämän opinnäytetyön liitteenä (liite 3). Oleellimmat kohdat ohjeistuksesta ovat:

- Vastaanottimen korkeus enintään kaksi metriä ja kartoitussauva on tasatuna ja tuettuna statiivilla.

- Satelliittigeometriaa kuvaava PDOP-arvo on enintään 5 ja satelliittien lukumäärä vähintään 6.
- Korkeuskulman raja 10–15 astetta.
- Tehdään viisi mittausta/sarja, joista saadaan 5 havaintoa (epookkia)/mittaus.
- Laite alustetaan ennen jokaista mittausta ja sarjojen välillä pidetään tauko.
- Apupisteiden lopulliset koordinaatit ja korkeus saadaan määritettyä mittausten keskiarvon perusteella. (JHS 184 2017, 20).

Integroidussa mittauksessa kartoitussauvaan kiinnitetään samanaikaisesti prisma sekä GNSS-vastaanotin. Takymetri lukitaan prismaan. Apupisteen mittaus tapahtuu perättäin kummallakin mittausmenetelmällä, jonka jälkeen takymetri orientoi itsensä automaattisesti näistä pisteistä. Apupisteitä mitattaessa on erittäin tärkeää, että kartoitussauva on tasattuna ja tuettuna statiivilla tarkkojen koordinaatti- ja korkeustietojen tallentamiseksi. Jos orientointi on toleranssissa, voidaan orientointi suorittaa normaalisti loppuun. Tämän jälkeen takymetrillä saadaan mitattua normaaliin tapaan omia liitospisteitä.

Sitech Finlandin nettisivuilta löytyy hyvä kuvallinen ohje, miten integroitu mittaus tehdään Trimblen laitteistolla, joten tähän ohjeistukseen on vain lueteltu perusvaiheet mittauksen suorittamiseksi.

- Projektin asetukset -> Yhdistä laite -> Integroitu mittaus
- Yhdistetään GNSS-vastaanottimeen ohjeiden mukaisesti
- Yhdistetään takymetriin ja aloitetaan vapaan asemapisteen orientointi ohjeiden mukaisesti
- Lisää piste -> + -merkki -> Uusia kiintopisteitä
- Heti mittauksen valmistumisen jälkeen apupistettä voidaan käyttää takymetrin orientoinnissa ennen seuraavan kiintopisteen mittaamista.
- Suoritetaan orientointi normaalisti loppuun. (Sitech n.d.)

4.4 Trimble SiteWorks perustoiminnot

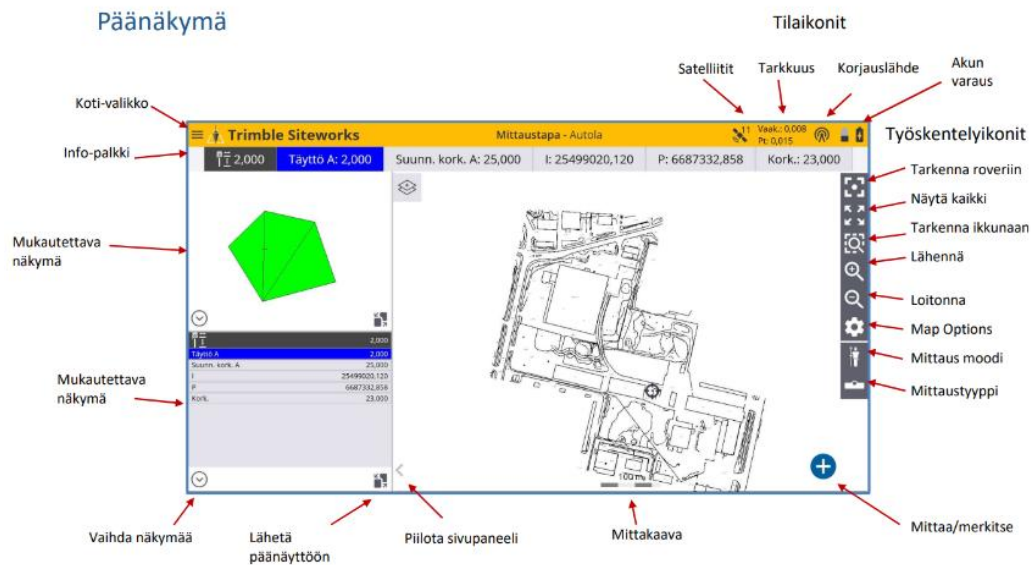
Kuvassa 19 on yleisnäkymä maastotietokoneen näytöstä mittauksia tehdessä. Yläreunasta nähdään prisman/vastaanottimen korkeus ja alemmassa näkyvässä on mitattavan tason korkeus ja sijainti. Oikeassa yläreunassa nähdään tilaikonien avulla GNSS-yhteyden tarkkuus tai vastaavasti takymetrillä mitattaessa se, onko koje lukittu prismaan.

Näytön vasemmasta reunasta voidaan tarkastaa nykyisen pinnan korkeusero suunniteltuun korkeuteen. Kuvan 19 mukaisessa tapauksessa nykyinen pinta on suunnitellusta korkeudesta 2,0 metriä alempana. Jos korkeus olisi suunniteltua korkeutta ylempänä "Täyttö" tekstin sijasta näytöllä lukisi "Leikkaus".

Mittaus moodi -valikosta valitaan mittaustavaksi "Seisaaltaan".

Tarkepiste otetaan painamalla näytön oikeassa alareunassa olevaa plusmerkkiä tai painamalla maastotietokoneen näppäimistöä Enteriä. Pistettä tallentaessa kartoitussauva pidetään mahdollisimman pystysuorassa sauvan sivussa olevan rasiatasaimen avulla. Pisteelle valitaan koodilistasta oikea koodi ja nimen kohdalle tarkennetaan mitä on mitattu, kuten putkikoot, materiaalit ja määrät. Nimen täytyy päättyä kirjaimiin. Esimerkiksi vesihuollon osalta: *sv315m* (sadevesiputki, halkaisija 315 mm, materiaalina muovi). Pisteestä tallentumisesta kuuluu äänimerkki ja piste tulee näkyviin maastotietokoneen näytölle.

Koodilistan koodit sisältävät ennalta määritettyjä tietoja, joiden avulla voidaan kuvata pisteen ominaisuuksia tai antaa lisätietoja mitattavan kohteen käyttötarkoituksesta. Oikeiden koodien käyttö helpottaa tarkkeiden jatkokäsittelyä ja muokkausta Trimble Business Centerissä, sillä niihin voidaan sisällyttää valmiiksi tasoja, värikoodeja, symboleita jne. Tarkkeiden lopullisessa käsittelyssä täytyy muistaa varmistaa, että yrityksen omat koodit on muokattu vastaamaan tilaajan määrittämiä koodeja. Liitteessä 2 on esimerkki koodilistasta.



KUVA 19. Trimble SiteWorks päänäkymä (Sitech käyttöopas n.d.).

Prismakorkeudeksi valitun lukeman täytyy vastata sauvan kyljessä olevaa korkeuslukemaa. Prismakorkeudella tarkoitetaan maanpinnan ja prisman keskikohdan välistä etäisyyttä. GNSS-vastaanottimen osalta korkeus määritetään vastaanottimen alapintaan, jolloin myös Quick Release -adapterin (kuva 20) käyttö täytyy huomioida. Quick Releasen avulla vastaanotin voidaan kiinnittää tai irrottaa helposti kartoitussauvasta. Ennen mittauksen aloittamista on hyvä varmistaa pitääkö korkeuslukema paikkaansa esimerkiksi tarkastamalla etäisyys mittanauhalla, koska todelliseen prisma- tai vastaanottimen korkeuteen voi vaikuttaa kartoitussauvan kärkikappaleen kuluminen. Kuva 21 näyttää, kuinka suuri ero kulumeen ja uuden kärkikappaleen välillä voi olla (7 mm).



KUVA 20. Quick Release -adapteri (Trimble n.d.)



KUVA 21. Kartoitussauvan kärkikappaleet (Kuva: Alex Heikkilä).

4.4.1 Mittaustyyppi

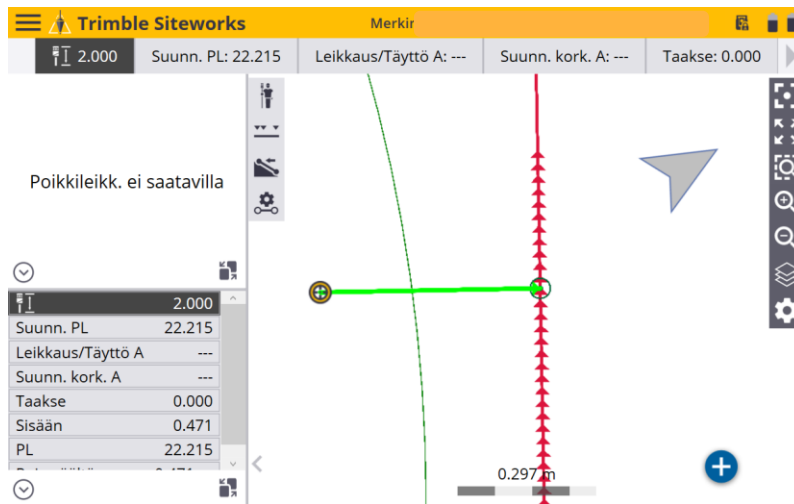
Oletuksena mittaustyyppinä on piste, mutta jos mittaustyyppi halutaan vaihtaa viivaksi, valitaan päävalikosta "Mittaus" -> "Mittaustyyppi" ja kuvan 22 mukaisesti yläreunasta "Uusi viiva". Viivalle annetaan nimi ja viivan tyyppiä valitaan "Viiva". Joidenkin mittausten tallentaminen viivana selkeyttää tarkkeiden jälkikäsitteilyä, erityisesti tilanteissa, joissa toinen henkilö käsittelee tarkkeet. Viivana voidaan mitata esimerkiksi hule- ja jätevesiputket, vesijohto, kaapelinsuojaputket sekä erilaisia aluerajoja kuten tehty asfaltointi, viheralue, jne.

Kun halutaan vaihtaa mittaustapa takaisin pisteeksi, mennään samalla tavalla päävalikon kautta kuvan 22 mukaiseen näkymään ja valitaan yläreunasta "Piste".

KUVA 22. Mittaustyyppin valinta (Trimble SiteWorks näyttökuva).

4.4.2 Merkintätila

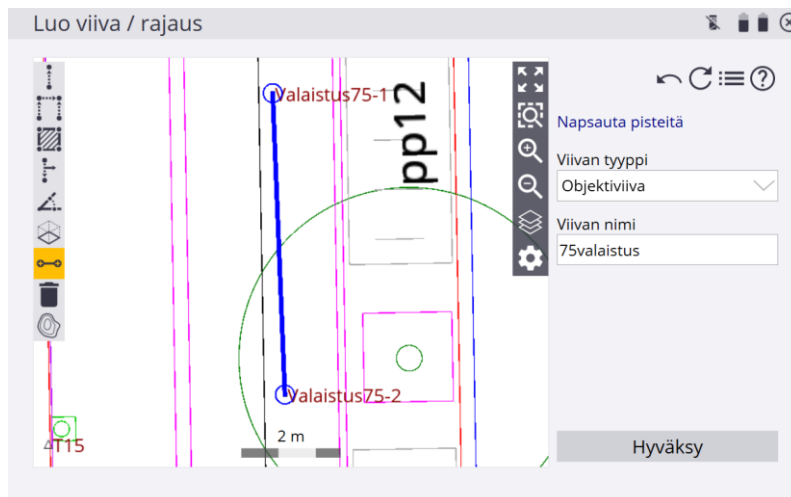
Viivan merkitseminen tapahtuu painamalla haluttua viivaa pohjaan ja valitsemalla näytölle ilmaantuvasta valikosta "Merkitse viiva", jonka jälkeen viiva muuttuu punaiseksi. Vihreä nuoli osoittaa kartoitussauvan etäisyyden ja suunnan viivaan. Tarkemmat lukemat näkyvät infotaulukossa näytön vasemmassa reunassa. Kuvan 23 mukaisessa tilanteessa kartoitussauvan etäisyys merkitystä reunakiviliinjasta on 471 mm. Merkintätila mahdollistaa tarkkojen merkkauksen tekemisen esimerkiksi reunakivien asentamista varten tai tien reunojen sijainnin tarkistamiseen. Merkitsemistilan saa pois päältä napauttamalla päävalikosta "Mittaus".



KUVA 23. Merkintätila (Trimble SiteWorks näyttökuvat).

4.4.3 Viivan lisääminen pisteiden välille manuaalisesti

Jo mitattujen pisteiden välille voidaan manuaalisesti lisätä viiva jälkikäteen, valitsemalla päävalikosta "COGO" -> "Tarkastele ja Muokkaa dataa". Pystyvalikosta valitaan viivatyökalu, viivan tyyppi objektiviiva ja nimetään viiva (kuva 24). Tämän jälkeen valitaan pisteet, joiden välille viiva halutaan luoda ja lopuksi hyväksytään.

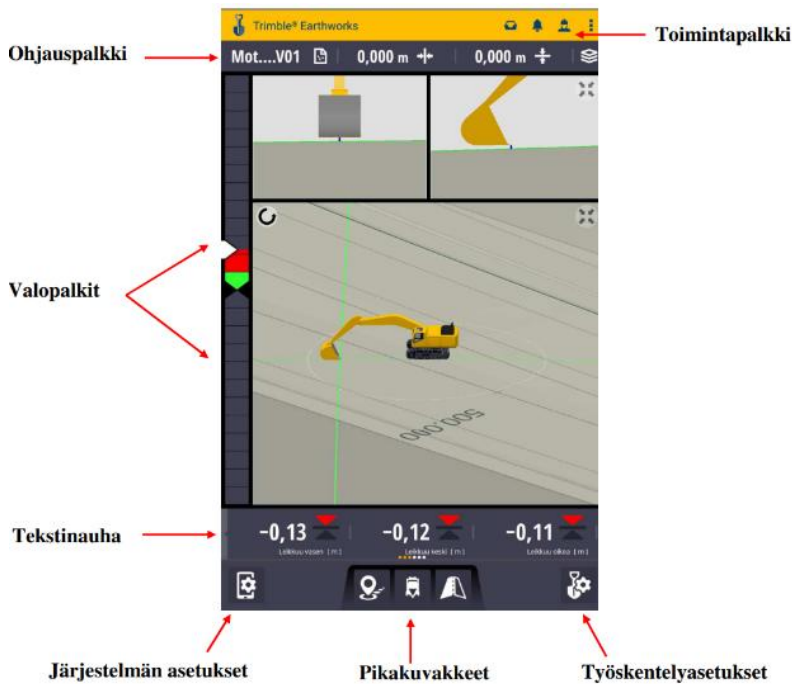


KUVA 24. Viivan luominen (Trimble SiteWorks näyttökuvat).

4.5 Trimble EarthWorks perustoiminnot

Trimble EarthWorks on kaivinkoneissa käytettävä koneohjausjärjestelmä, joka sopii yhteen kaikkien markkinoilla olevien kaivinkoneiden kanssa. (Sitech n.d.).

Ohjelmistoa käytetään kosketusnäytöllä toimivalla tietokoneella. Kuvassa 25 on yleisnäkymä Trimble EarthWorks ohjelmasta. Näytön alareunassa näkyvät +- luekemat kertovat nykytilanteen korkeuseron suunniteltuun korkeuteen.



KUVA 25. Yleisnäkymä (Sitech Trimble EarthWorks käyttöohje n.d.).

4.5.1 Kauhan määrittäminen ja kalibrointi

Kaivinkoneen kauhan määrittämisen ja kalibroinnin avulla varmistetaan, että koneohjaus toimii käytössä olevan kaivinkoneen ja kauhan kanssa oikein ja tarkasti. Trimble EarthWorksiin voidaan kalibroida ja tallentaa useampia kauhoja, jotta niiden vaihtaminen onnistuu vaivattomasti kesken työn. Kauhan määrittämisessä huomioidaan myös kauhan kuluminen. Ohjelmisto ohjeistaa konekuskia kuvallisilla ohjeilla kalibroinnin suorittamiseksi.

4.5.2 Tarkastusmittaus

Tarkastusmittauksella varmistetaan, että koneohjausjärjestelmällä varustetun työkonen paikannustarkkuus on riittävä saavuttamalla liitteen 1 mukaiset tarkkuustasot. Liitteen 1 tarkkuusvaatimusten lisäksi tarvitsee huomioida urakkakohtaiset vaatimukset.

Työmaan mittahenkilö suorittaa tarkastusmittauksen yhdessä kaivinkoneenkuljettajan kanssa käyttäen takymetria tai GNSS-mittalaitetta tarkastamalla työkooneen tarkkuuden joltain tunnetulta pisteeltä. Kauha viedään tarkastuspisteelle ja koordinaatit ja korkeus tarkistetaan kaikilla kauhan mittapisteillä. Työkoneiden tarkastusmittaus suoritetaan aina ennen kuin työkone otetaan käyttöön ja urakan aikana vähintään kerran viikossa. Mikäli tarkastusmittauksissa havaitaan, etteivät vaaditut mittatarkkuudet täyty, tarvitsee tilanteeseen reagoida välittömästi tarvittavilla kalibrointi- tai korjaustoimenpiteillä.

Näytöltä valitaan kauhan mittapiste ja tarkistetaan koordinaatit ja korkeus kuvan 26 mukaisesti. Lukemat tarkistetaan jokaisen kauhan mittapisteen osalta.

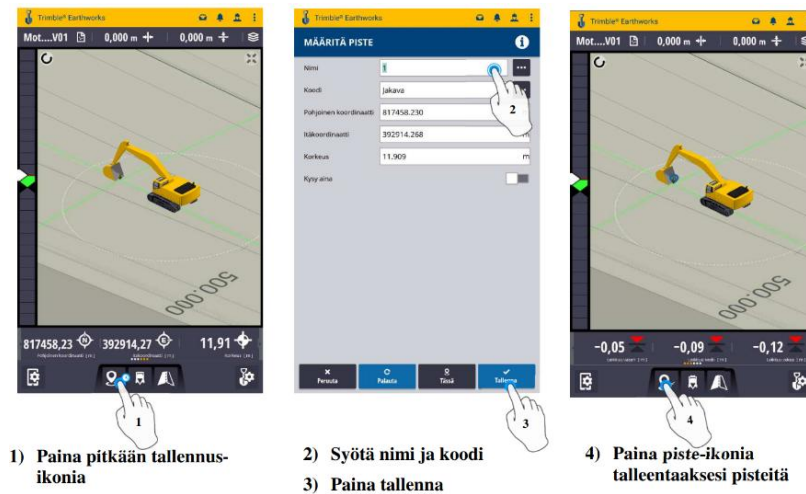


KUVA 26. Työkoneen tarkastusmittaus (Sitech Trimble EarthWorks käyttöohje n.d.).

4.5.3 Toteumapisteen tallentaminen

Mittauksia tehdessä kone ja kauha pidetään paikallaan liikkumatta. Valittu kauhan mittapiste viedään tarkasti kohtaan, josta toteumapiste halutaan tallentaa. Pistettä tallentaessa (kuva 27) nimetään selkeästi mitä on mitattu kuten putkikoot, materiaalit ja määrät. Nimen täytyy päättyä kirjaimiin. Esimerkiksi vesihuollon osalta: *pjv560pvc* (paineellinen jätevesiputki, halkaisija 560 mm, materiaalina pvc) tai kaapelisuoja-putkien osalta: *2kpl110Telia* (vierekkäin 2 kpl 110 mm Telian putkea).

Nimen lisäksi pisteelle valitaan koodi kolmen pisteen takaa aukeavasta koodilistasta. Liitteessä 2 esimerkki koodilistasta.



KUVA 27. Toteumapisteen tallentaminen (Sitech Trimble EarthWorks käyttöohje n.d.).

4.6 Mittahenkilöiden mitattavat kohteet

Mitattavat kohteet vaihtelevat urakkakohtaisesti. Urakkakohtaiset mittausohjeet ja tilaajan vaatimukset on aina tarkistettava ennen mittauksien aloittamista.

Mittaukset toteutetaan töiden mukaisesti omiin kansioihin mitattavan kohteen mukaan esimerkiksi hulevesi, jätevesi, reunakivi, asfaltti ym.

Kaikki vesihuollon putket, kaapelinsuojaputket sekä asfaltti-, viher-, ja kiveysalueet suositellaan mittaamaan viivana. Viivat voidaan lisätä tarkepisteiden välille myös manuaalisesti maastotietokoneella ennen tarkkeiden synkronointia palvelimelle. Viivana mitattujen tarkkeiden jälkikäsitteily on helpompaa, kun tarkkeita voidaan suoraan verrata suunnitelmapiirustuksiin. Viivana mitattujen tarkkeiden seuranta maastotietokoneelta on myös helpompaa, jos mittaushenkilö vaihtuu kesken urakan.

KAIVANNOT JA TÄYTÖT

Kaivantoihin ja täyttöihin liittyvät mittaukset ovat yleensä urakkakohtaisia eli on tarkistettava urakkamuoto ja tilaajan vaatimukset sekä sovittava mitataanko ta-
kymetrilla, GNSS-mittalaitteilla vai koneohjauksella.

Alla olevat asiat mitataan aina rakenteen määrittävistä taitepisteistä (kuva 30).
Mittausmäärät ovat vähimmäismääriä.

- Maaleikkaus-/leikkuupohja: 20 m välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Vesihuoltokaivanto: 20 m välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Kaapelikaivanto: 20 m välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Asennusalusta yläpinnasta: 20 m välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Alkutäyttö yläpinnasta: 20 m välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Lopputäyttö yläpinnasta: 20 m välein, 2 kpl / poikkileikkaus
- Suodatin kerros yläpinnasta: 20 metrin välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Jakava kerros yläpinnasta: 20 metrin välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Kantava kerros yläpinnasta: 20 metrin välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Kalliopinta ja -leikkaus: 20 metrin välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Siirtymäkiilat: 20 metrin välein, 3 kpl / poikkileikkaus

VESIHUOLTO

- Lopullisten hitsausseamojen paikat kaivannossa
- Taitepisteet, liitos- ja kulmakappaleet
 - mitataan keskipisteestä
- Palopostit, huuhtelupostit, palovesiasemat
 - mitataan venttiilin ja pystyputken välistä
 - kannen keskipiste
- Venttiilit (kuva 28)
 - mitataan venttiilin juuresta
 - monihaaraventtiilit keskeltä venttiiliä ja jokaisen venttiilin juuresta
 - läppäventtiilit keskeltä venttiiliä ja kara
 - venttiilihatun/kannen keskipiste
- Kulmatuet
 - mitataan tuen kumpikin pääty
- Suojaputkien päät
 - mitataan putken laesta ja vesijuoksu
- Paineputket (paineviemäri ja vesijohto)
 - 20 m välein, mitataan putken laesta

- Viettoviemärit
 - 20 metrin välein, mitataan vesijuoksusta
 - mitataan myös olemassa olevat putket, jotka liitetään uusiin kaivoihin
- Rumpuputket
 - 10 metrin välein, mitataan vesijuoksusta
- Salaojaputket
 - 10 metrin välein, mitataan vesijuoksusta
- Risteävät putket
- Kaivot
 - mitataan kannen keskipiste (kun pintarakenteet valmis ja kansi lo-pullisessa korossa)
 - kourupohjallisista ja sakkapesällisistä kaivoista mitataan pohjan keskipiste
 - mitataan myös olemassa olevat kaivot, jos liitytään uudella putkella
- Pumppaamot
 - mitataan pumppaamon ja kannen keskipiste
- Käytöstä poistettu verkosto
 - eritellään mitä jätetty maahan, mitä kaivettu pois
 - mitataan katkaisukohtat
- Virtaussulut



Kuva 28. Venttiilien mittauspisteitä (Infra Kiri Oy 2024, muokattu).

SUOJAPUTKITUKSET

- Suojaputket
 - 10 m välein, mitataan putken laesta

- luokitellaan mikä putki kyseessä: liikennevalo, valaistus, operaattorit, sähköyhtiöt
- Suojaputkien päät, taitepisteet, haaroitukset
- Maadoituskaapelit
- Kaapelikaivot
 - mitataan kannen keskipiste

VALAISTUS

- Katuvalokeskukset
 - mitataan nurkkapisteet
- Jalustat
 - mitataan jalustan yläreunan keskipiste
- Valaisinpylväät
- Supistejatkot
- Maadoituskaapeli

LIIKENNEVALOT

- Ilmaisinkaivot
 - mitataan kannen keskipiste
- Liikennevalokojeet
 - mitataan nurkkapisteet
- Jalustat (portaalit, liikennevalopylväät)
 - mitataan jalustan yläreunan keskipiste
- Portaalit
 - kaikki liikenteenohjaukseen liittyvät portaalit
- Liikennevalopylväät
 - eritellään, onko valopylväs vai pelkkä painonappi jne.

PINTARAKENTEET

- Asfalttialueet tyypeittäin (AB16, SMA22, jne.)
 - mitataan ulkoreunat alueen ympäri neliöiden määrittämiseksi
 - mitataan myös ”sisäreunat” jos asfalttialueen sisällä rajaavia rakennusosia kuten jakajat
 - jyrskitty pinta
 - teiden ja katujen keskilinjat
- Viheralueet
 - mitataan ulkoreunat alueen ympäri neliöiden määrittämiseksi
- Kiveysalueet tyypeittäin (noppakivi, betonikivi, golfkivi, jne.) (Kuva 29)
 - mitataan ulkoreunat alueen ympäri neliöiden määrittämiseksi

- mitataan myös ”sisäreunat” jos kiveysalueen sisällä rajaavia rakennusosia esim. puu/juuristoritilät
- kiviraidat mitataan keskeltä/reunaa pitkin metrien määrittämiseksi
- Jakajat (yleensä kiveyksien mukaisesti)
- Reunakivi yläpinnasta (uloin reuna) (Kuva 29)
 - reunakiviä mitattaessa täytyy huomioida näkymäerot ja laskukivet
- Murskepinnat (valmis pinta)



Kuva 29. Reunakivien ja kiveysalueiden mittaaminen (Infra Kiri Oy 2024, muokattu).

- Lämpöeristykset
 - alku- ja päättymiskohdat, alueen reunat
- Teräsponttiseinät
 - mitataan yläreuna
- Peltiarina
- Paalulaatta
- Tukimuurit
 - mitataan ylä- ja alareuna
- Kaiteet ja aidat
- Puut

4.7 Koneohjauksella mitattavat kohteet

Mitattavat kohteet vaihtelevat urakkakohtaisesti. Tilaajan mittausohjeet aina tarkistettava ennen mittaustöiden aloittamista.

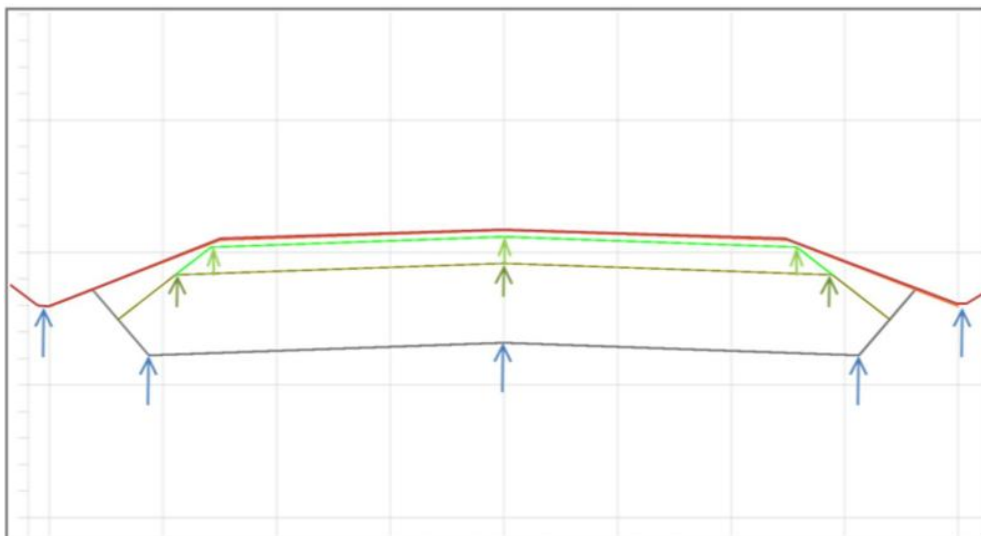
KAIVANNOT JA TÄYTÖT

Urakkakohtaisia eli tarkistettava urakkamuoto ja tilaajan vaatimukset sekä sovitava mitataanko takymetrillä, GNSS-mittalaitteilla vai koneohjauksella.

Alla olevat asiat mitataan aina rakenteen määrittävistä taitepisteistä (kuva 30).

Mittausmäärät ovat vähimmäismääriä.

- Maaleikkaus-/leikkuupohja: 20 m välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Vesihuoltokaivanto: 20 m välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Kaapelikaivanto: 20 m välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Asennusalusta yläpinnasta: 20 m välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Alkutäyttö yläpinnasta: 20 m välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Lopputäyttö yläpinnasta: 20 m välein, 2 kpl / poikkileikkaus
- Suodatin kerros yläpinnasta: 20 metrin välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Jakava kerros yläpinnasta: 20 metrin välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Kantava kerros yläpinnasta: 20 metrin välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Kalliopinta ja -leikkaus: 20 metrin välein, 3 kpl / poikkileikkaus
- Siirtymäkiilat: 20 metrin välein, 3 kpl / poikkileikkaus



Kuva 30. Toteumamittaukset rakenteen taitepisteistä (Yleiset inframallivaatimukset 2021,123).

VESIHUOLTO

- Lopullisten hitsausseamojen paikat kaivannossa
- Taitepisteet, liitos- ja kulmakappaleet

- Linjalaitteet, mm. venttiilit ja palopostit
- Kulmatuet
- Suojaputkien päät ja päätekaivot
- Paineputket (paineviemäri ja vesijohto)
 - 20 m välein, mitataan putken laesta

KAAPELINSUOJAPUTKET JA JALUSTAT

- Suojaputket
 - 10 m välein, mitataan putken laesta
 - luokitellaan mikä putki kyseessä: liikennevalo, valaistus, operaattorit, sähköyhtiöt
- Suojaputkien päät, taitepisteet, haaroitukset
- Maadoituskaapeli
- Kaapelikaivot
 - mitataan kannen keskipiste
- Ilmaisinkaivot
 - mitataan kannen keskipiste
- Jalustat (valaistus, liikennevalot, portaalit)
 - mitataan jalustan keskipiste

PONTIT

- Ponttiseinät
 - mitataan ponttien yläpinnasta

MUUT

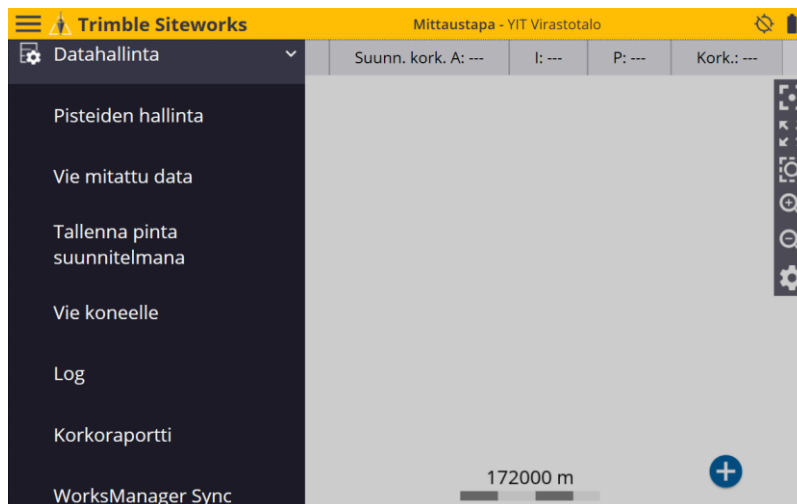
- Luiskat
 - 20 m välein, ylä- ja alareunasta
- Ojat
 - 20 m välein, ojan pohjalta
- Viheralueet
 - 20 m välein, alueen reunat
- Lämpöeristykset
 - alku- ja päättymiskohdat, alueen reunat

5 TIEDOSTOON KIRJOITTAMINEN JA SYNKRONOINTI

5.1 Tarkemittaukset

Kun tarvittavat mittaukset on tehty, täytyy mittausdata muuttaa oikeaan tiedostomuotoon tietokoneohjelmistossa tehtävää jatkokäsittelyä varten. Tässä kappalessa ohjeistetaan tarkkeiden kirjoittaminen DXF-tiedostomuotoon ja tiedoston synkronointi pilvipalvelimeen, jota käytetään TCC Explorer -apuohjelman avulla. Nämä vaiheet tehdään maastotietokoneella. Synkronoinnin jälkeen tarkkeita päästään tarkastelemaan ja editoimaan tietokoneelta käsin. Editointi tehdään tietokoneohjelma Trimble Business Centerissä.

Ennen tiedostoon kirjoittamisen aloittamista täytyy varmistua siitä, että ohjelmassa on avattuna oikea projekti ja työ, josta tarkkeet halutaan kirjoittaa DXF-muotoon, esimerkiksi "Hulevesi". Näytön vasemmasta ylänurkasta kolmen viivan symbolia painamalla avautuu päävalikko, josta valitaan kuvan 31 mukaisesti "Datahallinta" avoimeksi ja "Vie mitattu data", jonka jälkeen avautuu kuvan 32 mukainen näkymä.



KUVA 31. Datahallinta (Trimble SiteWorks näyttökuva).

Vie mitattu data

Viennin tyyppi: DXF-tiedosto

Dataformaatti: DXF Mittaukset

Uloskirjoituksen desimaalitarkkuus: 3

Tiedoston sijainti: Laite

Tiedostonimi: Valitse tiedosto napauttamalla

Hyväksy

KUVA 32. Mitattu data (Trimble SiteWorks näyttökuva).

Kuvan 32 näkymästä täytyy olla valittuna kuvan mukaiset valinnat, jonka jälkeen napautetaan ”Valitse tiedosto napauttamalla” -tekstiä. Tämän jälkeen avautuu kuvan 33 mukainen näkymä, josta ”Tiedostonimi” -kohdassa valitaan DXF-tiedostolle nimi. Tiedosto nimetään työn mukaisesti ja lisäämällä nimen eteen kuluva päivä, esimerkiksi ”05032025 Hulevesi”. Tässä näkymässä näkee myös samalla maastotietokoneella tehdyt aikaisemmat DXF-tiedostoon viennit valitusta työstä. Lopuksi painetaan ”Hyväksy”.

Valitse Tiedosto

Asema: C:\ Windows

Tyyppi: AutoCAD DXF/DWG

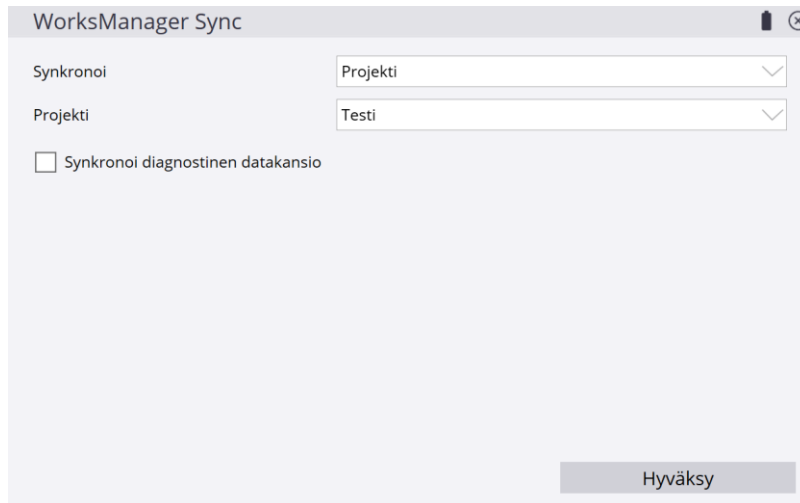
Tiedostonimi:

C:\Trimble Synchronizer Data\PC\Trimble SCS900 Data\Testi\Work Orders\Hulevesi\Output

Nimi	Koko	Tyyppi	Muokattu

KUVA 33. DXF-tiedostoon kirjoittaminen (Trimble SiteWorks näyttökuva).

Laite ilmoittaa, kun tiedostoon kirjoittaminen on onnistunut. Tämän jälkeen valitaan ”Datahallinta” -valikosta ”WorksManager Sync”, jolloin aukeaa kuvan 34 mukainen näkymä.



KUVA 34. WorksManager Sync (Trimble SiteWorks näytökuva).

Tässä vaiheessa on hyvä tarkistaa, että ”Projekti” -kohdassa on oikea projekti valittuna, jonka jälkeen synkronointi voidaan hyväksyä. Tällöin koko projektin sisältö synkronoidaan pilvipalveluun ja tarkkeita päästään jatkokäsittelyyn. Projektikohtainen synkronointi tarvitsee tehdä vain kerran mutta sitä ennen DXF-tiedoston kirjoittaminen täytyy tehdä jokaisen sellaisen työn osalta, johon on mitattu tarkkeita ja jotka halutaan siirtää jatkokäsittelyyn.

Projektin synkronointi ei koske vain tietojen lähettämistä pilvipalveluun vaan myös tietojen lataamista, esimerkiksi siinä tapauksessa, jos urakan suunnitelmat ovat päivittyneet ja ne halutaan siirtää tietokoneelta maastotietokoneelle.

5.2 Toteumamittaukset

Koneohjauksen osalta mittausdata päivittyy jatkuvasti pilvipalvelimelle, josta data saadaan siirrettyä Trimble Business Centeriin jatkokäsittelyyn samalla tavalla kuin mittalaitteiden tarkemittaukset.

6 POHDINTA

Tämän työn tavoitteena oli luoda selkeät ja yhtenäiset mittausohjeet niin koneohjaukseen kuin mittahenkilöstöllekin. Ohjeet tarvitaan työn tehokkuuden ja johdonmukaisuuden parantamiseen sekä yhteneväisen työskentelymallin luomiseen. Ohjeita on myös tarkoitus käyttää uusien työntekijöiden koulutukseen.

Työssä lähdettiin liikkeelle mittauksen teoriasta sekä mittalaitteista. Opinnäytetyön teon aikana kävi ilmi, että mittaamiseen ja mittalaitteisiin liittyvien lähteiden lukumäärä on melko niukka ja painottuu pääasiassa erilaisiin verkkojulkaisuihin ja jälleenmyyjien tuotesivuihin. Aiheesta löytyvä kirjallisuus oli suurelta osin yli kymmenen vuotta vanhaa. Infra-ala on kehittynyt erityisesti digitalisaation puolella viimeisinä vuosina, joten päivitetty alan kirjallisuus olisi tervetullutta.

Teoriaosuuden jälkeen siirryttiin itse mittausohjeiden laatimiseen. Mittausohjeiden laadinta oli työn haastavin osuus, sillä ohjeista piti saada selkeät ja kaiken kattavat olematta kuitenkaan liian pitkiä luettavaksi. Työn aikana heräsi ajatuksia siitä, onko jotkut laaditut ohjeistukset oikeasti hyödyllisiä esimerkiksi takymetrin orientoinnin osalta vai onko tieto niin sanotusti itsestään selvää. Työtä tehdessä huomioitiin kuitenkin se, että kuvalliset ja kattavat ohjeet helpottavat erityisesti uusia työntekijöitä. Tämän kaltaiset ohjeet ovat myös tärkeitä, sillä tavoitteena yrityksellä on se, että kaikilla olisi samat ohjeet käytössään. Tämä ei pelkästään selkeytä ja helpota työskentelyä vaan myös tarjoaa tasapuolisen mahdollisuuden työssä onnistumiseen ja toiminnan tehokkuuden lisäämiseen. Ohjeistus tullaan pilotoimaan käytännössä työmailla, jonka jälkeen sitä voidaan vielä tarvittaessa helposti ja nopeastikin muokata.

Mielestäni opinnäytetyö onnistui kohtuullisen hyvin. Toimeksiantajan kannalta tärkein asia oli selkeän ja yhtenäisen mittausohjeen luominen, ja siinä tässä työssä onnistuttiin.

Seuraava kehitysaskel Infra Kirillä voisi olisi toimintojen kehittäminen vastamaan Yleisiä tietomallivaatimuksia ja tietomallintamisen vakiointi. Vaatimuksista

on todennäköisesti tulossa yhä yleisempiä, etenkin julkisissa infrarakennushankkeissa. Hankkeet sisältävät paljon tärkeää tietoa, jonka tulisi olla helposti saatavilla ja käytettävissä sekä olla yhteen toimivaa.

Kun käsiteltävä tieto on tallennettu oikeaan sijaintiin aina samoilla nimillä ja tiedostomuodoilla, voidaan tietoa hyödyntää nopeasti ja helposti ja jopa automaattisesti. Vakiointi ja yhdenmukaiset toimintatavat kehittävät alaa eteenpäin ja tuovat myös mahdollisesti kustannussäästöjä.

LÄHTEET

Geotrim. n.d. Asfalttinaula. Verkkosivusto. Viitattu 9.3.2025. <https://geotrim.fi/shop/asfalttinaula-5cm-gre47/>

Geotrim. n.d. Trimble MultiTrack Aktiivi- ja passiiviprisma. Verkkosivusto. Viitattu 22.1.2025. <https://geotrim.fi/shop/prisma-trimble-multitrack-mt1000/>

Hellsten, J. 2017. Modernin mittamiehen on puhuttava digiä. Rakentaja 13.1.2017. Viitattu 21.1.2025. <https://rakennusliitto.fi/wp-content/uploads/2020/11/Rakentaja-nro-1-2017.pdf>

JHS 184. 2017. Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä. Viitattu 26.4.2025. https://docs.google.com/document/d/1VZH3a_IKE0n9PoGG3lyH1CeG66tvapxS/edit?tab=t.0

Koneohjausmalli. n.d. 3D-Koppi. Verkkosivu. Viitattu 9.2.2025. www.3dkoppi.fi/koneohjausmalli

Laukkanen, J. 2017. Kuinka koneohjaus auttaa maarakennuksen käytännön töissä? – Pahuksen hyvä asia. Koneviesti 12.1.2017. Viitattu 20.1.2025. <https://www.koneviesti.fi/huolto-ja-tekniikka/be6da353-15cd-57bb-980e-b3f269c1ecd8>

Laurila, P. 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 2. Painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3. Rovaniemi: Tornion kirjapaino.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. Uud. Painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3. Rovaniemi: Tornion kirjapaino.

Liikennevirasto. 2017. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot. Mittausohje. Liikenneviraston ohjeita 18/2017. Viitattu 26.4.2025. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf

Maanmittauslaitos. 2024. Satelliittipaikannusta käyttävät lähes kaikki – viisi kysymystä, joiden avulla ymmärrät sitä paremmin. Verkkosivu. Viitattu 23.2.2025. <https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/satelliittipaikannusta-kayttavat-lahes-kaikki-viisi-kysymysta-joiden-avulla-ymmarrat>

Maanmittauslaitos. n.d. Satelliittipaikannus. Verkkosivu. Viitattu 23.2.2025. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus>

M-Mies Oy. n.d. Mitä on nykyaikainen rakennusmittaus? Verkkosivu. Viitattu 26.1.2025. <https://mmies.fi/rakennusmittaus/>

Mölsä, S. 2018. Näin digitalisaatio näkyy rakennustyömailla - asentaja katsoo suunnitelmat tabletilta ja konekuski saa mitat pistepilvestä. Rakennuslehti

23.5.2018. Viitattu 26.1.2025. <https://www.rakennuslehti.fi/2018/05/nain-digitali-saatio-nakyy-rakennustyomaila-asetaja-katsoo-suunnitelmat-tabletilta-ja-kone-kuski-saa-mitat-pistepilvesta/>

Novatron. n.d. 3D-koneohjauksen perusteet. Verkkosivu. Viitattu 19.3.2025. <https://novatron.fi/xsite-koneohjaus/3d-koneohjauksen-perusteet/>

Oskari-karttapalvelu. n.d. Tampereen kaupungin karttapalvelu. Verkkosivusto. Viitattu 10.3.2025. <https://kartat.tampere.fi/oskari/>

Palviainen, P., Kainuvaara, J., Kostamo, M. 2020. Katsaus infra-alan kehitykseen maanmittarien näkökulmasta. Maankäyttö 2/2020. Viitattu 26.1.2025. https://maankaytto.fi/arkisto/mk220/mk220_2193_palviainen_kainuvaara_et_al.pdf

Ritchie List. n.d. Survey Equipment and Grade Control. Verkkosivu. Viitattu 22.1.2025. <https://www.ritchielist.com/consumer-items/survey-equipment-and-grade-control-grade-control-gnss-receiver/trimble-sps985-900mhz-rover-receiver-kit-w-tsc7-siteworks/d6077531-0336-42b2-9d1c-729d0e884c4f.html>

Sitech. n.d. SiteWorks: GNNS-vastaanottimen yhdistäminen. Verkkosivu. Viitattu 16.4.2025. <https://www.sitech.fi/fi/landing-pages/connecting-gnss-receiver-to-siteworks>

Sitech. n.d. SiteWorks: Integroitu mittaus. Verkkosivu. Viitattu 16.4.2025. https://www.sitech.fi/fileadmin/user_upload/sitech-fi/Ohjeet/Siteworks_Integroitu_mittaus_20240730.pdf

Sitech. n.d. Takymetrit SPS730 ja SPS930. Verkkosivu. Viitattu 22.1.2025. <https://www.sitech.fi/fi/solutions/tyoemaan-paikannusjaerjestelmaet-1/gnss-radiot-rakennusympaeristoeihin-1-1>

Sitech. n.d. Trimble Earthworks. Verkkosivu. Viitattu 19.3.2025. <https://www.sitech.fi/fi/solutions/koneohjausjaerjestelmaet-2/koneohjausjaerjestelmae-kaivinkoneille>

Suomen Ammattiakatemia. 2023. Tiedätkö mikä on takymetri ja mitä sillä tehdään? 22.12.2023. Verkkosivu. Viitattu 22.1.2025. <https://www.suomenammattiakatemia.fi/uutiset/tiedatko-mika-on-takymetri-ja-mita-silla-tehdaan/>

Tampereen Kaupunki. 2022. Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. Verkkosivusto. Viitattu 10.3.2025. <https://www.tampere.fi/kartta/koordinaatti-ja-korkeusjarjestelmat>

Trimble. n.d. Quick Release Adapter. Verkkosivu. Viitattu 13.4.2025. <https://help.fieldsystems.trimble.com/sps/quick-release-adapter-attach-sps985-sps986.htm>

Tuuliainen, A. 2023. Joustavat maastomallituotannon menetelmät. Tequ 21.6.2023. Viitattu 25.3.2025. <https://www.tequ.fi/fi/joustavat-maastomallituotannon-menetelmat/>

Wikman, E. 2010. Takymetri – Mittaustyökalu moneen käyttöön. Maankäyttö 4/2010. Viitattu 22.1.2015. [mk410_1416_wikman.pdf](#)

YIT. 2020. Mittaaminen pitää raitiovaunun raiteilla. Verkkosivu. Viitattu 26.1.2025. <https://www.yit.fi/ytimessa/mittaaminen-pitaa-raitiovaunun-raiteilla>

Yleiset inframallivaatimukset. 2021. Maarakenteiden mittavaatimukset, Infra RYL ja työkoneohjausjärjestelmiltä vaadittava tarkkuus. 4.10.2021. Viitattu 7.4.2025. <https://drive.buildingsmart.fi/s/AAELrj83NbrHae2>

Yleiset inframallivaatimukset. 2021. Työkoneella tehtävät mittaukset poikkileikkauksesta. 4.10.2021. Viitattu 17.4.2025. <https://drive.buildingsmart.fi/s/AAELrj83NbrHae2>

LIITTEET

Liite 1. Mittavaatimukset (Yleiset inframallivaatimukset 2021).

Ratarakenteet					
Rakenne-kerros	Mittausväli [m]	InfraRYL mittavaatimukset		Työkonejärjestelmältä vaadittava tarkkuus	
		XY [mm]	Z [mm]	XY [mm]	Z [mm]
Tukikerros		Silmämääräinen			
Tukikerroksen alaosa		Tasaisuus neljän metrin oikolaudalla + 15 ... - 15			
Välikerros	20	0 ... + 50	0 ... -30	+ 50 ... - 50	+ 20 ... - 20
Eristyskerros	20	0 ... + 100	0 ... -50	+ 50 ... - 50	+ 20 ... - 20
Tie- ja katurakenteet					
Kantava kerros	20	-0 ... + 150	+ 20 ... - 20	+ 50 ... - 50	+ 20 ... - 20
Jakava kerros	20	-0 ... + 150	+ 30 ... - 30	+ 100 ... - 100	+ 30 ... - 30
Suodatin kerros	20	-0 ... + 150	+ 40 ... - 40	+ 100 ... - 100	+ 30 ... - 30
Väylärakenteen alapinta	20	-0 ... + 200	+ 0 ... -100 Louhepatjan alla + 0 ... -200	+ 100 ... - 100	+ 30 ... - 30

Liite 2. Esimerkki koodilistasta.

6 ,maaleikkaus	8418 ,vj_liitos	8550 ,jv_sulkuvena
2 ,kallioleikkaus	8424 ,vj_materiaalinmuutos	8618 ,hv_liitos
26 ,alkutaytto	84361 ,vj_kaivo_venttiili	8619 ,hv_supistus
11 ,lopputaytto	84369 ,vj_kaivo_muu	8625 ,hv_rumpu
12 ,suodatin_kerros	845010 ,vj_venttiili_sulku	8626 ,hv_salaoja
13 ,jakava_kerros	84502 vj_venttiili_ilmaus	8656 ,hv_tulppa
14 ,kantava_kerros	84503 vj_venttiili_tyhjennys	8679 ,hv_kulma
553 ,viheralue	84504 vj_venttiili_paineenalennus	8681 ,hv_runko
17 ,johtokaivanto	84506 ,vj_sulkulappa	8682 ,hv_tontti
302 ,valaistus_sp	84507 ,vj_monihaaraventtiili	8684 ,hv_paine
303 ,liva_sp	84508 ,vj_monihaaran_sulut	8586 ,hv_materiaalimuutos
300 ,suurjannite_sp	8451 ,vj_tonttiventtiili	86371 ,hv_kaivo_tark
301 ,pienjannite_sp	84521 ,vj_posti_paloposti	86372 ,hv_kaivo_syok
305 ,maadoituskaapeli	84523 ,vj_posti_huuhtelu	86373 ,hv_kaivo_kita
62 ,valaisinjalusta	84524 ,vj_posti_palovesias	86374 ,so_kaivo
63 ,liva_jalusta	8456 ,vj_tulppa	86375 ,hv_tarkastusputki
61 ,portaali	8458 ,vj_supistus	86376 ,hv_kaivo_syok_tontti
60 ,kaapelikaivo	85101 ,jv_paaviemari	86380 ,hv_pumppaamo
3 ,nykyisen_putken_paa	85102 ,jv_kerailyviemari	6700 ,suojaputki
205 ,ilmaisinkaivo	8518 ,jv_liitos	6701 ,kaapelikaivo
204 ,nykyinen_pylvas	8519 ,jv_supistus	6801 ,betonirakenne
8000 ,lampoeriste	8556 ,jv_tulppa	9000 ,ponttiseina_yp
84091 ,runkovesijohto	8580 ,jv_tonttijv	
84092 ,jakeluvesijohto	8587 ,jv_paine	
84094 ,sprinkleri	8586 ,jv_materiaalimuutos	
8410 ,tonttivesijohto	85361 ,jv_kaivo_tarkastus	
8412 ,vj_kulma	86367 ,jv_tarkastusputki	
8416 ,vj_haara	85368 ,jv_pumppaamo	

Liite 3. Käyttökiintopisteiden (E5-E6) mittaaminen reaaliaikaisella GNSS-mittauksella (JHS 184).

Suunnittelussa	E5	E6
Lähtöpisteiden valinta		
Maksimietäisyys tukiasemaan (koskee perinteistä RTK-mittaukselta sekä verkko-RTK:ta, jos mitataan verkon ulkopuolella)	10 km	15 km
Tukiasemat, vähintään luokkaa	E4	E5
Kontrollipisteiden valinta (mikäli mitta-alueella on ko. luokan pisteitä)		
Kontrollipisteiden luokka	E5	E6
Kontrollipisteiden lukumäärä	Vähintään yksi piste / mitta-alue	
Verkon rakenne		
Suosittelava pisteväli	100–500 m (huomattava, että alle 500 m:n etäisyydellä toisistaan olevia pisteitä ei saa mitata reaaliaikaisella GNSS-mittauksella)	
Vierekkäisten pisteiden välinen vektori mitattava suoraan	Kyllä, jos etäisyys alle 500 m ja suositeltavaa, jos pisteiden välillä näköyhteys. Tällöin mittaus muulla kuin reaaliaikaisella GNSS-menetelmällä.	
Maastossa		
Tukiaseman pystytys	Jalusta ja pakkokeskistysalusta tai pilaripiste.	
Tukiaseman keskistystarkkuus	1 mm	
Liikkuvan yksikön pystytys	Jalusta ja pakkokeskistysalusta tai korkeintaan 2 m:n sauva statiivilla tuettuna.	
Liikkuvan yksikön keskistystarkkuus	5 mm	
Korkeuskulmamaski:		
- tukiasemalla	5–10 astetta	
- liikkuvassa yksikössä	10–15 astetta	
PDOP enintään	5	
Satelliittien lukumäärä vähintään	6	
Havaintoväli	1 s	1 s
Havainnot (epookkeja) / mittaus	5–15	5
Mittauksia / sarja	5	
Sarjojen lukumäärä	2	1
Omat alustukset jokaiseen mittaukseen	Kyllä	
Alustusaika korkeintaan	2 min	
Aika sarjojen välissä vähintään	45 min	-
Sarjan mittausten (erillisten alustusten) max-min ero enintään/komponentti	N,E: 20 mm h: 40 mm	
Sarjojen (sarjakeskiarvojen) max-min ero komponentteittain	N,E: 40 mm h: 70 mm	-
Ero kontrollipisteiden koordinaatteihin komponentteittain	N,E: 40 mm h: 70 mm	
Alkuperäisten koordinaattien (XYZ tai ϕ, λ, h) tallennus	Kyllä	
Sauvan antennikorkeuden tarkistus ennen ja jälkeen mittauksen	Kyllä	
Testipisteen mittaus ennen ja jälkeen uusien pisteiden mittauksen	Kyllä	
Jälkikäsitteilyssä		
Lopullisten koordinaattien laskenta	Sarjojen keskiarvo	Mittausten keskiarvo

Liite 4. Käyttökiintopisteiden (E5-E6) mittaaminen takymetrimittauksilla (JHS 184).

Kojeiden tarkkuusvaatimukset	E5	E6
Yhden suuntahavainnon keskivirhe	0.6 mgon	1.0 mgon
Yhden korkeuskulmahavainnon keskivirhe	1.5 mgon	
Yhden etäisyshavainnon keskivirhe	3 mm + 2 ppm	5 mm + 5 ppm
Suunnittelussa	E5	E6
Lähtöpisteiden valinta		
Luokka, vähintään	E4	E5
Lukumäärä	Vähintään kaksi	
Kontrollipisteiden valinta (mikäli mittausalueella on ko. luokan pisteitä)		
Luokka, vähintään	E5	E6
Lukumäärä	Vähintään yksi piste / mittausalue	
Sijainti	Näköetäisyydellä jonon pisteisiin	
Verkon rakenne		
Rakenne	Yksittäinen jono tai jonoverkko	
Jonon pituus, enintään	2 km	5 km
Määritettäviä pisteitä jonossa lähtöpisteiden välillä, korkeintaan	8	20
Suosittelava pisteväli	100–500 m	
Vierekkäisten pisteiden välinen vektori mitattava suoraan	Kyllä, jos etäisyys alle 500 m ja suositeltavaa, jos pisteiden välillä näköyhteys.	
Havainnot	E5	E6
Keskistystarkkuus	1 mm	
Koje-, tähys- ja prismakorkeuden mittaustarkkuus	2 mm	
Kulmahavainnot, sarjojen lukumäärä	4	2
Sarjojen Max-min enintään	2.0 mgon	3.0 mgon
Etäisyshavainnot	4 + 4	2 + 2
Etäisyshavaintojen max-min enintään	15 mm	20 mm
Laskenta	E5	E6
Sivun eri päistä havaittujen redukoitujen etäisyyksien ero, enintään	6 mm	10 mm
Pistevälin edestakaisten korkeuserojen summa, enintään, s on sivun pituus [km]	$30*\sqrt{(2*s)}$ mm	$35*\sqrt{(2*s)}$ mm
Pistesulkuvirhe w_p , enintään (tasoittamattomat havainnot), L on jonon pituus [km]	45*L mm	90*L mm
Korkeussulkuvirhe, enintään (redukoituilla havainnoilla), L on jonon pituus [km]	$30*\sqrt{L}$ mm	$35*\sqrt{L}$ mm
Ero kontrollipisteiden koordinaatteihin komponentteittain	N,E: 40 mm h: 70 mm	