

MAASTOMITTAUSOPAS

Tampereen Infralle

Kasper Kovanen

Opinnäytetyö

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Kasper Kovanen	Vuosi	2023
Ohjaaja	Timo Karppinen		
Toimeksiantaja	Tampereen Infra Oy, Eelis Ylitalo		
Työn nimi	Maastomittausopas Tampereen Infralle		
Sivumäärä	133		

Kehittämispainotteisen opinnäytteen tavoite oli tuottaa Tampereen Infra Oy:n käyttöön maastomittausopas, missä käsiteltäisiin ja otettaisiin huomioon organisaation paikkatietopalveluiden toiminnot mahdollisimman kattavasti, havainnollistaen perustyövälineitä ja mittausmenetelmiä, mitä Tampereen Infran paikkatietopalveluissa käytetään. Oppaassa otettiin huomioon myös joitakin erikoisempia mittausmenetelmiä ja -välineitä.

Opinnäytteen ohella Tampereen Infralle tuotettiin myös oma, erillinen opas, jolle organisaatio löysi hyötykäyttönsä. Opinnäytteen sekä oppaan idea oli tuottaa selkeä ohjeistus, miten eri kartoituksia ja mittauksia, kuten maastomalleja, voi toteuttaa. Oppaan tavoite oli, että esimerkiksi vasta-alkava kartoittaja tai organisaation rakentamispuolen henkilöstö voisi tarvittaessa katsoa helpon, visuaalisen ja selkeän ohjeen aihealueeseen liittyen.

Opinnäytteen ja oppaan tekemisessä hyödynnettiin alan kirjallisia ja sähköisiä julkaisuja sekä teoksia, alan ohjeita ja käytäntöjä, sekä organisaation omia ohjeita sekä käytäntöjä. Myös Tampereen Infran mittaushenkilöstön kokemuksia ja heidän neuvojan, kuten myös opinnäytteen ja oppaan tekijän kokemuksia ja havaintoja hyödynnettiin tässä toteutuksessa.

Opinnäytteessä käsitellään yleisiä asioita Tampereen Infran paikkatietopalveluista, käytetyistä mittauskojeista ja -työvälineistä, mallinnus-, kartoitus- ja muista mittausmenetelmistä yleisesti, viranomaismittauksista, kaupunkipalvelun mittauksista ja suunnittelu- ja rakentamismittauksista.

Avainsanat	maanmittaus, mittaustekniikka, kartoitus, kunta, mallinnus, infrastruktuuri, Tampereen Infra
Muita tietoja	Työhön liittyy toimeksiantajalle toimitettu opas maastomittausten tekemiseksi

Study Programme in Land
Surveying Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Kasper Kovanen	Year	2023
Supervisor(s)	Timo Karppinen		
Commissioned by	Tampereen Infra Oy, Eelis Ylitalo		
Title	Field Surveying guide for Tampere Infra		
Number of pages	133		

The goal of this development-oriented thesis study was to produce a Field Surveying Guide for Tampere Infra Oy. The guide would contain the functions of common cartography methods and tools used in the organization's geographic information services, described and considered as comprehensively as possible.

Various publications in the field were used as source material, alongside with various guidelines and practices, as well as Tampere Infra Oy's personnel's experience and knowledge. Everyday tools and methods to be used in cartographic missions were described for the guide.

As a result, this thesis and the commissioner's guide explain the use of common measuring devices and work tools for cartography, modeling, mapping and other measurement methods in general, official measurements, city service measurements and planning and construction measurements. They provide clear instructions on how to carry out different cartography mapping and measurements, such as terrain models.

Keywords	land survey, surveying tehnics, cartography, municipality, modeling, infrastructure, Tampere Infra
Special remarks	The thesis includes a guide for field surveying submitted to the commissioner

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	YLEISTÄ TAMPEREEN INFRAN TOIMINNASTA	10
2.1	Tampereen Infra Oy ja Paikkatietopalvelut	10
2.2	Käytettävät koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät	11
3	YLEISESTI MITTAUSKOJEISTA	13
3.1	Yleisesti	13
3.2	GNSS-satelliittipaikannusmittaus	15
3.2.1	Yleisesti GNSS-satelliittipaikannusmittauksesta	15
3.2.2	RTK GNSS -satelliittipaikannusmittauksesta	17
3.3	Takymetri	20
3.4	Mittausten tallennus ja aineiston käsittelyohjelmat	25
3.5	Tarkkavaaituskoje	26
3.6	Drone	27
3.7	Laserkeilain	29
4	MAASTOMALLI JA MALLINNUKSET	32
4.1	Yleisesti maastomallin tekemisestä	32
4.1.1	Yleistä maastomallintamisesta	32
4.1.2	Kolmiulotteinen maastomallinnus	37
4.2	Muut mittaukset yleisesti	45
4.2.1	Merkintämittaukset	45
4.2.2	Muut kartoitusmittaukset	46
4.3	Muut mallinnukset: Drone, maalaserkeilain ja niitä tukevat mittaukset	49
4.3.1	Dronella tehtävät mallinnukset ja sitä tukevat mittaukset	50
4.3.2	Maalaserkeilaimella mallinnus ja sitä tukevat mittaukset	54
5	VIRANOMAISMITTAUKSET	59
5.1	Rakennusvalvonnan mittaukset	59
5.1.1	Rakennuspaikan merkintä maastoon	59
5.1.2	Rakennuksen sijaintikatselmus	63
5.2	Kiinteistönmuodostusmittaukset	65
5.2.1	Rajapyykkien merkintä ja asennus paikalleen	65
5.2.2	Rajapyykkien etsintä	69

5.2.3	Rajankäynnit.....	71
6	KAUPUNKIPALVELUN MITTAUKSET	74
6.1	Asemakaavan pohjakartan eli kantakartan päivitys	74
6.1.1	Kantakartan mallinnuksen vaatimukset	76
6.1.2	Kantakartan päivitysmittaukset.....	76
6.2	Kiintopisteet	82
6.2.1	Eri kiintopisteet.....	83
6.2.2	Kiintopistehierarkia	85
6.3	Kiintopistemittaukset.....	88
6.3.1	GNSS RTK -mittaus	89
6.3.2	Staattinen GNSS-mittaus	89
6.3.3	Tarkkavaaitus	92
6.3.4	Jonomittaus takymetrillä.....	98
6.4	Pisteselityskortti	99
7	SUUNNITTELUMITTAUKSET	102
7.1	Yleisesti suunnittelumittauksista	102
7.2	Katusuunnittelu	103
7.3	Vesihuoltosuunnittelu.....	106
7.4	Suunnitelmamittauksen kartoitukset ja mittaukset	113
7.4.1	Pohjatutkimukset	115
7.4.2	Koneohjauksesta.....	116
7.5	Katusuunnittelun merkintämittaukset ja kartoitukset	118
7.6	Vesihuollon merkintämittaukset ja kartoitukset	121
8	POHDINTA	127
	LÄHTEET.....	128

ALKUSANAT

Haluan kiittää opinnäytetyössä avuksi olleita tahoja;

Tampereen Infralta Eelis Ylitalo, Harri Ruhala, Mikael Salonen, Pekka Salonen, Jyrki Pohjankylä, sekä Infran mittaushenkilöstö.

Opiskelutoverini Lapin ammattikorkeakoulusta, sekä ohjaavat opettajat Timo Karppinen, Leena Ruokanen ja Ritva Lampela.

Erittäin paljon kiitoksia perheenjäsenilleni, ystävilleni ja parisuhteen paremmalle puoliskolle Nerie J. Pradolle.

Kunniamaininnan saavat myös Suomen GPS- Mittaus Oy:llä ja Neova Oy:llä kohtaamani henkilöt; ensiksi mainitussa paikassa oppi mittaustekniikan maastomallien alkeiden salat, toisessa droneen ja QGisin ym. paikkatieto -ohjelmien saloihin. Myös Nykyinen työpaikkani Lempäälän kunnalla ja sen mittausspalveluiden henkilöstö ansaitsee kiitokseni, sillä sain sieltä myös hyviä pointteja sekä oppeja muun muassa tätä opinnäytetyötä varten.

.....

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

MRL	Maankäyttö -ja rakennuslaki
MRA	Maankäyttö -ja rakennusasetus
KML	Kiinteistönmuodostamislaki
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
RTK	Real Time Kinematic
DOP	Dilusion of Precision
GDOP	Geometric Dilusion of Precision
PDOP	Position Dilution of Precision
VDOP	Vertical Dilusion of Precision
HDOP	Horizontal Dilusion of Precision
ETRS -GK	European Terrestrial Reference System -Gauss - Krüger – koordinaattijärjestelmä
ITRS	International Terrestrial Reference System -järjestelmä
CTRS	Conventional Terrestrial Reference System -koordinaattijärjestelmä
EVRS	European Vertical Reference System -korkeusjärjestelmä
NAP	Normaal Amsterdams Peil, eurooppalaisen korkeusjärjestelmän lähtötaso
VRS	Virtual Reference Station – virtuaalitukiasemaverkko
DR	Direct Reflex, pintaheijastustoiminto Trimblen takymetreissa
GT	Gt – eli Geonic/Tielaitoksen tiedonsiirtoformaatti
XYZ	Koordinaattisijainti (X pohjois -etelä, Y länsi -itä) ja korkeus (Z)
RSK	Rajamerkin sijainnin pistekeskivirheluku
JHS	Julkisen Hallinnon Suositukset
ΔH	Vaaituksessa pisteen korkeusero

1 JOHDANTO

Aloittaessani maanmittauksen opiskelun 2020 syksyllä en osannut vielä arvata, kuinka ”välineurheilua” ala voi olla, etenkin mittaustekniikan puolella. Olin tottunut muun muassa metsäalalla toimiessani käyttämään kännykän satelliittipaikanninta kiinteistönrajojen läpikäymisessä, mikä umpinaisessa metsässä vaelsi epämääräisen alle yhden metrin sijaintitarkkuudesta viiden metrin tarkkuuteen. Tuo tarkkuushan ei ole nyt muutamaa vuotta myöhemmin sitä tarkkuutta, mihin on nyt maanmittausalaan enemmän perehtyneenä tottunut pitämään riittävän tarkkana sijaintitarkkuutena, puhumattakaan korkeustarkkudesta, mihin kännykkä ei ota kantaa.

Sen sijaan maanmittausalan perustyövälineet/kojeet ottavat kantaa koordinaattisijaintiin ja korkeuteen, esimerkkinä nykyaikaiset RTK GNSS -satelliittipaikannuskoje, mikä on kartoittajan perustyöväline. Se ja muut välineet ovat käyttömene- telmineen perusasioita maanmittausalalla, ja niiden käyttöä tuli hieman opeteltua opintojen alkaessa syksyllä 2020. Ne kuitenkin unohtuivat pian, ja varsinainen välineiden ja mittausmenetelmien opettelu painottui alan työharjoitteluihin, pääsääntöisesti 2021 ja 2023 kesinä omalla kohdallani.

Opintojen sekä alan työsuhteiden kautta on tullut monipuolisesti koko ajan sekä kertausta, mutta todella paljon uuttakin tietoa. Esimerkiksi harjoitteluissani infra- mittauksissa sekä kunnalliskonsernin mittauspalveluissa (Tampereen Infra jäl- kimmäisenä) käytetään samoja välineitä ja menetelmiä, sovellutukset ja lähtö- kohdat ovat yksityiskohdiltaan eri.

Huomasin miettiessäni sopivaa opinnäytetyöaihetta opintojen pikkuhiljaa ede- tessä loppua kohden, että maanmittausalalla ei ole varsinaisesti tehty ohjetta tai opasta, missä pyrittäisiin ”rautalankaa vääntämällä” selittämään ja opastamaan eri mittausvälineiden ja -menetelmien toteuttamista. Yleispäteviä ohjeita ja kirjoja on, mutta niissä ei mielestäni selitetty ihan niin tarkasti, miten mitata tai käyttää mittavälineitä, kuin alan vasta-alkaja tai täysi maallikko voisi asian ymmärtää.

Kuntasektorilta on tehty vastaavanlaisia opinnäytetöitä, joissa on kerrottu ja opastettu miten esimerkiksi viranomaismittauksia voi tehdä, mutta niiden pohjalla on ollut myös se, miten mittaustoimintaa on kyseisessä kunnassa tehty, ja tässä

on vaihtelua Suomen kuntien välillä. Edellä mainitut seikat innostivat minua tekemään tämän kehittämispainotteisen opinnäytetyön Tampereen Infra Oy:lle, missä tein viimeisen alan työharjoitteluni kesällä 2023. Tein opinnäytetyön itse ehdottamani, ja työnantajan hyväksymänä toimeksiantona organisaatiolle.

Tein opinnäytetyön kahtena eri työnä, joista enemmän julkisuuteen tulee tämä opinnäytetyö, sekä erillinen ohjeistus/opas Tampereen Infralle. Molemmissa ideana on olla Tampereen Infran mittauksiin ja niiden tekemiseen selkeä opas, jonka avulla maallikko, alalla vasta aloittava kartoittaja tai vain vähän maastossa mittauksia tehnyt maanmittausinsinööri voisi katsoa helpon, yksinkertaisen ohjeen avulla, miten pääasiassa tavallisia alan mittauskojeita voi käyttää, miten tavallisia mittausmenetelmiä voi toteuttaa ja mitä niiden käytössä tulee huomioida.

Tavoitteena oppaalla on olla myös kertausta kokeneemmallekin kartoittajalle. Oppaassa on otettu esille myös perusasioita joidenkin erikoisempien mittauslaitteiden ja -menetelmien käytöstä, kuten dronesta ja jonomittauksesta, jotka ovat jokapäiväisestä normaalista kartoitustoiminnasta hieman erikoistuneempia mittauksia, ja joihin voi alalla pidempäänkin ollut kartoittaja ottaa osaa, ilman, että olisi tällaisiin mittauksiin osallistunut paljoa.

Oppaalle koettiin hyötykäyttöä, esimerkiksi Infran rakentajapuolelle, jolla voi toisinaan olla tarvetta tehdä omatoimisia mittauksia. Organisaation oma ohjeistus on toiminta-alueiltaan eriteltyä ja spesifiä, osin ohjeistus on päivittämätöntä, ja paikoin hajanaista. Oppaalla on tarkoitus yhtenäistää paikoin organisaation ohjeistusta mittaus toiminnalle, ja ottaa huomioon, että Tampereen Infran paikkatietoon voi olla lähitulevaisuudessa tarvetta uusille mittausalan henkilöille tarvetta, kaupungin ja sen rakennettavan infran kasvaessa, sekä jo mittauksia tekevän henkilöstön eläköityessä.

Oppaassa ja Opinnäytetyössä on pyritty ottamaan huomioon mahdollisimman kattavasti eri toiminnot, joita Tampereen Infran paikkatietopalveluissa toteutetaan, kuten viranomais- ja suunnitelmamittaukset, kantakartan päivitykset, kiintopistemittaukset ja maastomallien ja kartoitusten tekeminen. Opinnäytetyö alkaa lyhyellä esittelyllä Tampereen Infrasta ja sen paikkatietopalveluista, edeten omina lukuinaan eri aihealueisiin, joissa selitetään edellä mainitut asiat.

2 YLEISTÄ TAMPEREEN INFRAN TOIMINNASTA

2.1 Tampereen Infra Oy ja Paikkatietopalvelut

Tampereen Infra Oy on Tampereen kaupungin enemmistönä omistama yhtiö, jonka tarkoituksena on tuottaa ”yhdyskuntatekniikan kunnossapito-, rakentamis- ja paikkatietopalveluja sekä kalusto- ja korjaamopalveluja Tampereen kaupunkikonsernille, kaupungin liikelaitoksille ja tytäryhtiöille” (Uskalinmäki 2023). Liikevaihto on ollut yli 50 miljoonaa euroa, työntekijöitä noin 300 ja yli 100 kesä- ja kausityöntekijää (Ristilä 2023; Tampereen Infra Oy 2023a; Uskalinmäki 2023.).

Infran paikkatietopalvelut toteuttavat, kuten edellä on mainittu, tarpeellista mittaus- ja paikkatietotoimintaa Tampereen kaupungin hyväksi ja puolesta, sisältäen muun muassa ilmakuvaukset lennokilla eri tarpeisiin (rakentamisen seuranta ja kartoitus) sekä kiinteistömuodostuksen ja rakennusvalvonnan mittaukset (esimerkiksi rajankäynnit ja rakennuksen maastoon merkintä) Paikkatietopalveluiden tehtävänä on siis ajantasaisen ja julkisen paikkatiedon päivittäminen ja luominen Tampereen kaupungille (Tampereen Infra Oy 2023b).

Kaikkiaan paikkatietopalvelut tuottavat seuraavia palveluita:

- reaaliaikaiset ja staattiset GNSS-mittaukset
- kiintopisteverkkojen suunnittelu, rakentaminen, mittaus ja laskenta
- suunnitteluun liittyvät maastomittaukset
- viranomaistoiminnan maastomittaukset
- erikoismittaukset
- maaperä- ja laboratoriotutkimukset
- maaperärekisterin tietojen ylläpito ja luovuttaminen
- rakentamisen aikaiset maastomittaukset
- maastomallimittaukset

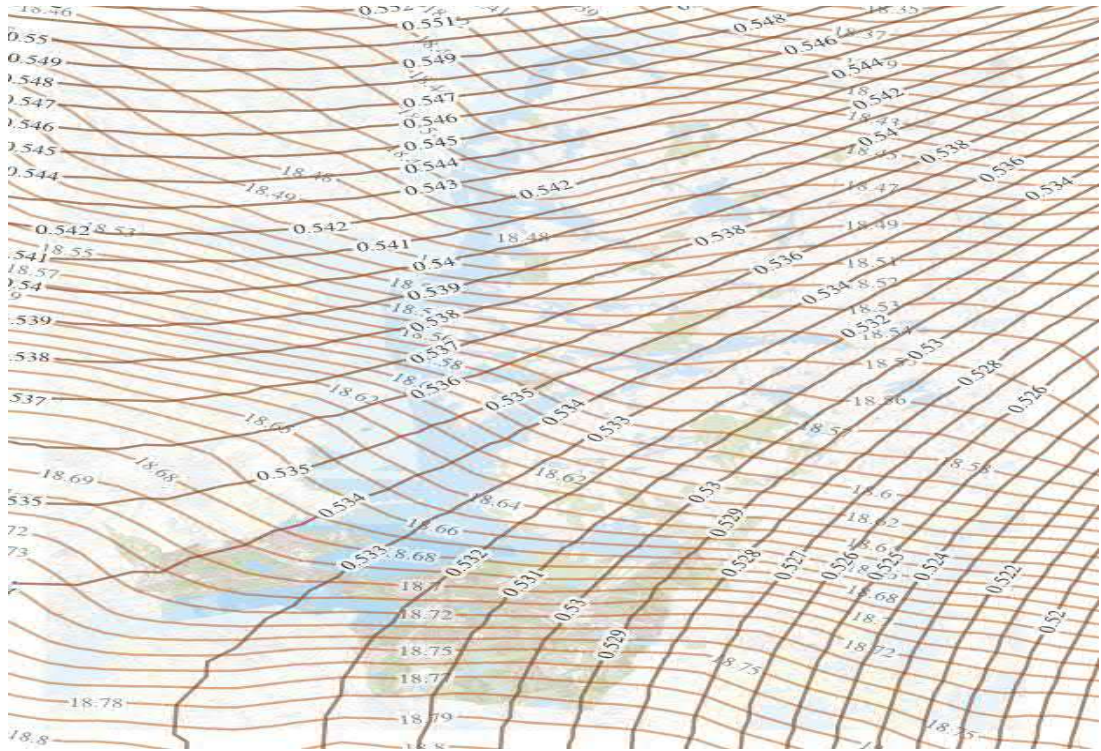
- massa- ja geodeettiset laskennat
- kartta- ja paikkatietoaineistojen ylläpito ja luovuttaminen
- paino- ja teemakartat (Tampereen Infra Oy 2020).

2.2 Käytettävät koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät

Tampereen Infran paikkatietopalvelut pääsääntöisesti mittaa ja merkitsee aineistoa ja mitattavaa infrastruktuuria ETRS GK24 -koordinaatistoon ja N2000-korkeusjärjestelmään, kohteet kartoitetaan pääsääntöisesti kaupungin omilla koodilla. On kuitenkin huomioitava, että etenkin suunnittelumittauksissa voi asiakas tilata mittauksen ja pyytää aineiston palautuksen jossakin muussa koordinaatistossa ja koodeilla, esimerkiksi Tampereen Vedellä on vesienjohtamisinfraan omat koodit (Tampereen kaupunki 2023a; Tampereen kaupunki 2023b; Tampereen kaupunki. 2023c; Tampereen kaupunki 2022.).

Itse ETRS GK24 -koordinaatisto perustuu ETRS-koordinaattijärjestelmään, mikä on kiinnitetty Euraasian mannerlaatan yhtenäiseen osaan, ja yhtyy maailmanlaajuiseen ITRS-järjestelmään. ETRS-koordinaattijärjestelmä on CTRS-järjestelmän mukaisesti käytettävään valtioon sidottu koordinaattijärjestelmä, missä käytetään Gauss-Krüger -projektiota ja tasokoordinaatistoa, missä projektiokaistan leveys on yksi aste, mikä tosin voi olla leveämpi kunnissa. Tampereella tuon projektiokaistan leveys on 24 astetta, mihin perustuen käytettävän koordinaatiston nimikin tulee (Maanmittauslaitos, 2011, 2–3).

Korkeusjärjestelmä N2000 on sidottu yleiseurooppalaiseen EVRS-korkeusvertausjärjestelmään, perustuen Amsterdamissa määritettyyn merenpinnan korkeustasoon (NAP), ja järjestelmän osana kiintopisteet Suomessa on laskettu tarkkavaaitusten tulosten pohjalta, ja osana tätä korkeusjärjestelmää on otettu maannousu huomioon, mitä ei aiemmissa korkeusjärjestelmissä oltu tehty. N2000 järjestelmän lähtötaso on Suomessa Kirkkonummella, Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksen Metsähovin observatorion alueella olevalla kiintopisteellä PP2000 (JHS 163 2019, 1–2, 12).



Kuvio 1. Tampereen geoidimalli (Oskari 2023b)

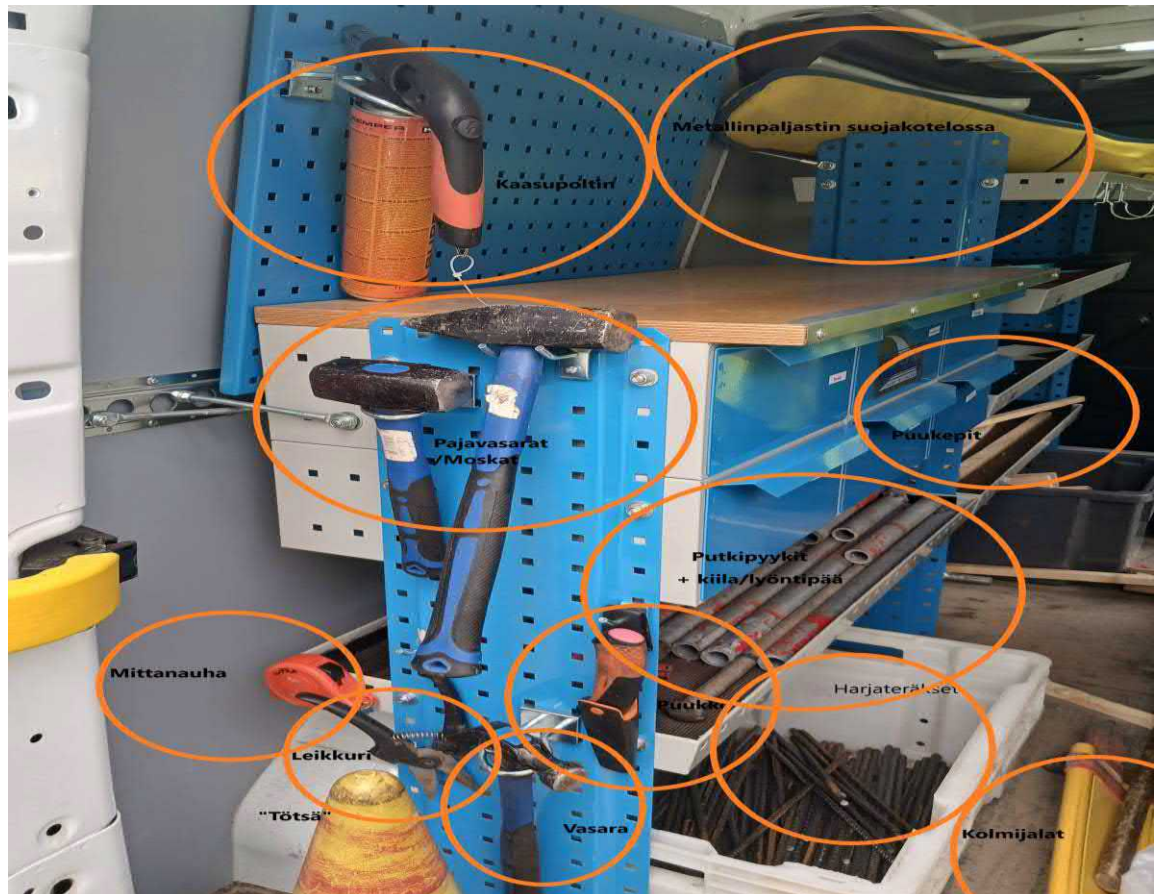
Järjestelmän tultua voimaan 28.2.2011 Tampereella on käytetty + 0.53/+0.55 metrin korkeusmuunnosta, minkä huomaa muun muassa silloin, kun tarkastelee Oskarista kiintopisteiden pisteselyskortteja, eli aiempaan korkoon on pitänyt lisätä tuo muunnoksen määrä, jotta kiintopiste olisi nykyisessä korkeusjärjestelmässä. Korkeusjärjestelmä on perusta FIN2005N00-geoidimallille, minkä avulla esimerkiksi RTK GNSS -laitteilla pystyy mittaamaan järjestelmän mukaiseen korkeuteen kartoituskohteita (JHS 163 2019, 1–2,12; Tampereen kaupunki 2022.). Kuvio 1 havainnollistaa geoidimallia.

3 YLEISESTI MITTAUSKOJEISTA

3.1 Yleisesti

Tämä luku painottuu GNSS-satelliittipaikannus -sekä takymetrikojeisiin, mitkä ovat keskeisiä kartoittajan mittausvälineitä, ja joilla voi mitata kartoituskohteen taso- ja korkeussijainnin, mittaustyön komennot ja asetukset tehdään pääosin kojeisiin Bluetooth/internet-yhteydellä liitetyin tallentimin (Laurila 2012, 16, 18, 259). GNSS-osio painottuu yleiskuvaukseen, RTK-mittaukseen, ja lyhyesti staat-
tisesta GNSS-mittauksesta. Takymetriosiossa on yleiskuvauksen lisäksi kerrottu kojeen orientoinnista. Keskeisiä sovellusohjelmia Tampereen Infralla on etenkin 3D-Win, ja soveltuvien osin myös QGIS, StellaMap, Factamap ja Autocad.

Tampereen Infralla on kirjava sekä kattava valikoima Leican, Trimblen, Geolaserin ja Hemisphereen (GNSS) kojeita, joista Leica on vuonna 2023 uusien, sisältäen muun muassa kaltevuuskorjaimen kartoitussauvan käytössä. Edellä mainittujen kojeiden, niiden omien sovellusten ja tallentimien lisäksi käytössä on myös Carlsonin tallentimia ja sovelluksia. XPAD:n sovellus toimii Geolaserin kojeiden ohjelmana Samsungin tabletissa. Ennen kuin tässä luvussa aletaan kertoamaan viimeksi mainituista kojeista ja ohjelmista, on muistettava, että on muitakin keskeisiä, olennaisia työkaluja menetelmien tukemaan kartoituksia; mittanauha, kynä ja muistiinpanovälineet, vasara/moska, moukari, porakone, tussit ja spraymaalit, pienet "hilti" -naulat (Laurila 2012, 16).



Kuvio 2. Muita varsin keskeisiä työvälineitä

Mittanauhalla mitataan muun muassa takymetrin kojeaseman korkeus tunnetun pisteen korkeuden tasalle, ja rakennusten kulmien mittauksissa GNSS-kartoitusta tehdessä sauvan ja rakennuksen kulman etäisyyttä. Viimeksi mainitussa kartoituksessa on juurikin syytä olla paperi ja kynä kädessä, ja kirjata sekä havainnoida paperilla GNSS-havaintokohdan ja rakennuksen seinän etäisyyttä, ja sitten editoida 3D-Winissä paikalleen oikeat kulmat. Vasaroita yms. työkaluja käytetään monipuolisesti merkitsemään muun muassa rajapyykkeitä tai suunnittelu- ja rakennusmittausten merkintöjä (Laurila 2012, 16). Kuvio 2 havainnollistaa joitakin näitä välineitä.

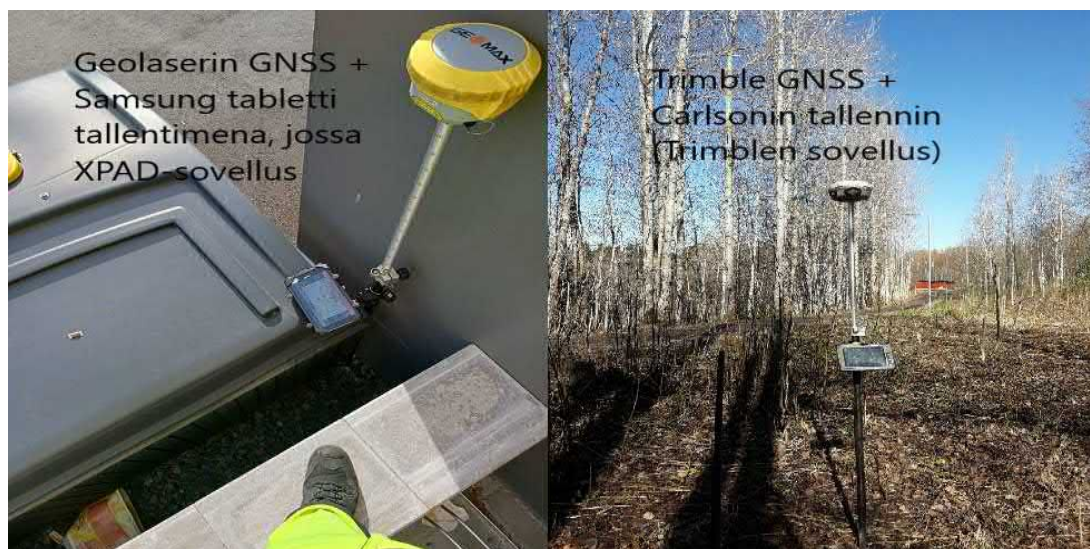
Muita perinteisiä maanmittauksen välineitä, kuten bussolia tai riippuluoteja ei sen kummemmin käytetä päivittäisissä kartoitustehtävissä, joten niistä ei ole sen enempää mainintaa (Laurila 2012, 16).

3.2 GNSS-satelliittipaikannusmittaus

3.2.1 Yleisesti GNSS-satelliittipaikannusmittauksesta

GNSS on satelliittipaikannukselle yleisnimike, puhekielessä puhutaan gps tai ”kepsimittauksesta,” juontuen siitä, että amerikkalaisten sallittua 1990-luvulla GPS eli Global Positioning System-järjestelmänsä siviilikäytön, se oli ensimmäinen kaikkien käytettävissä ollut satelliittipaikannusjärjestelmä. Nykyään palveluntarjoajia ovat EU (Galileo), Kiina (Baidou), Venäjä (Glonass), sekä myös joissakin määrin muitakin valtiollisia ja yksityisiä toimijoita (Ilmatieteen Laitos 2023, Laurila 2012, 280–282, 289–290; Ryynänen 2022, 11–13.)

GNSS-eli satelliittipaikannusmittaus on omalla tavallaan yksinkertainen ja yleinen, sekä yleensä helppo toteuttaa. Vaikka esimerkiksi kartoitus tietyllä alueella tulisi suorittaa takymetrilla, sen orientointi tapahtuu joko samanaikaisella GNSS- ja takymetrimittauksella, tai tunnettuihin pisteisiin orientoimalla, jotka ovat nykyään muutenkin jollakin tavalla GNSS-mitattu. Yksittäisten pisteiden mittaus on helppoa, ja pääsääntöisesti GNSS-mittauksella toteutetaan esimerkiksi rajamerkkien merkintämittausta ja rakennuksen maastoon merkintää. Tampereen kaupungin mittauspalvelut oli yksi ensimmäisiä satelliittipaikannusmittauksen hyödyntäjiä. (Anttila ym. 2003, 32; Laurila 2012, 16.) Kuvio 3 havainnollistaa joidakin Tampereen Infran GNSS-kojeita.



Kuvio 3. Trimblen ja Geolaserin GNSS-kojeet tallentimiseen ja sovelluksiin

Toiminta perustuu siihen, että mittaaajan laitteen paikannin havaitsee satelliittisignaalit, määrittäen paikantimen ja satelliittien välisen etäisyyden, ja siten sen, että paikantimen sijainti on selvillä, ja että mitattujen kohteiden sijainti (ja korkeus) on selvä, ja että merkattavien kohteiden sijainti ilmenisi helposti. Satelliitteja pitäisi käytännössä olla kolmen lisäksi reippaasti enemmän, 10-14 on käytännössä kohtuullinen määrä, ja mitä enemmän, sen parempi on tarkkuus ja RTK-mittauksissa alustus. Kuvio 4 havainnollistaa edellä mainittua. (Ryynänen 2022, 11–13).

Satelliittigeometria, eli sen lisäksi, paljon satelliitteja on ”kiinni,” myös niiden sijainti taivaalla määrittää satelliittipaikantimen tarkkuuden, mikä voi parhaimmillaan olla joitakin millejä, ehkä jopa millin, tosin tavallisesti 20 millin sisällä, mikä on pääsääntöisesti hyvä mittaustarkkuus laitteelle. PDOP-arvo kuvaa satelliittigeometrian tarkkuutta taso- ja korkeussijainnissa, ja sen tulisi olla vähintään 5, mieluummin alle, jotta mittaustarkkuus olisi mahdollisimman tarkkaa. (Laurila 2012, 308 – 309; Tampereen Infra 2020; Ryynänen 2022, 11–13.)

Satelliittigeometriaan ei sinällään pitäisi yleensä vaikuttaa säätila (se voi kuitenkin joissakin määrin), menetelmä toimii, oli sadetta tai aurinkoa, mutta avaruussää voi vaikuttaa sitäkin enemmän, muun muassa hetkellisesti lisääntynyt Auringon aktiivisuus voi vaikuttaa satelliittien toimintaan, mikä aiheuttaa häiriötä satelliittipaikannukselle. (Ilmatieteen Laitos, Laurila 2012, 305–307, Ryynänen 2022, 1–13.)

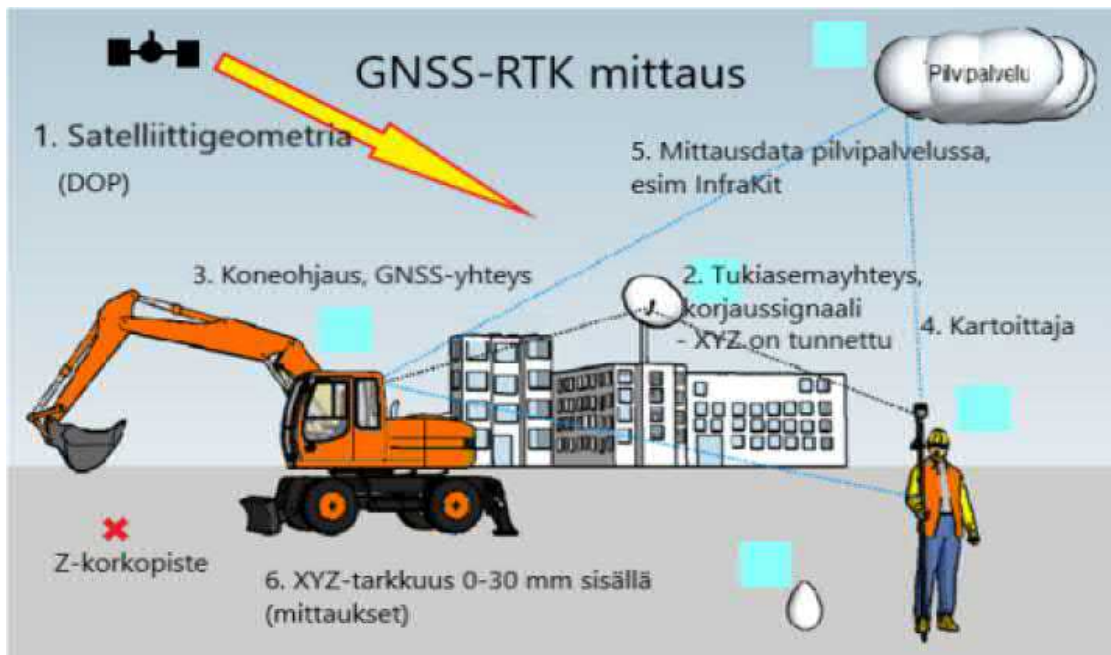
Geometriaan vaikuttaa Suomen leveysasteilla se, että satelliittien rata myötäilee Päiväntasaajaa myöten, minkä takia satelliitit eivät kierrä eteläisen tai pohjoisen napojen kautta, tämä voi muilla leveysasteilla vaikuttaa siihen, että keskipäivällä voi satelliittigeometria ja siten mittaustarkkuus olla tästä syystä epätarkimmillaan, tästä syystä pohjoisemmassa Suomessa on satelliittitaivaalla ”aukko” tämän takia. (Ilmatieteen Laitos, Laurila 2012, 285, 305–307 Ryynänen 2022, 11–13.)

Tarkkuuteen vaikuttaa myös se, että onko mittauspaikka avoin vai katveinen (rakennukset tai puusto tiellä) etenkin etelän suuntaan, maaston esteet voivat heijastaa tai täysin estää radiosignaalien kulun. (Laurila 2012, 285, 319; Ryynänen 2022, 11–13; SpaceFinland 2023.)

GNSS-mittauksissa käytetään yleisesti absoluuttista (navigointi) paikannusta, differentiaalista paikannusta meri- ja maaliikenteen navigoinnissa sekä paikkatiedon keruussa. Suhteellinen mittaus tarkin tapa tehdä GNSS-mittausta, ja maanmittauksen kartoituksissa sitä käytetään yleisesti staattisena sekä RTK-mittauksena, joissa sijainnin tarkkuus lasketaan sijainniltaan jo tunnetun pisteen suhteen. (Laurila 2012, 293–294; Ryyänen 2022, 11–13; Ylitepsa 2016, 13.)

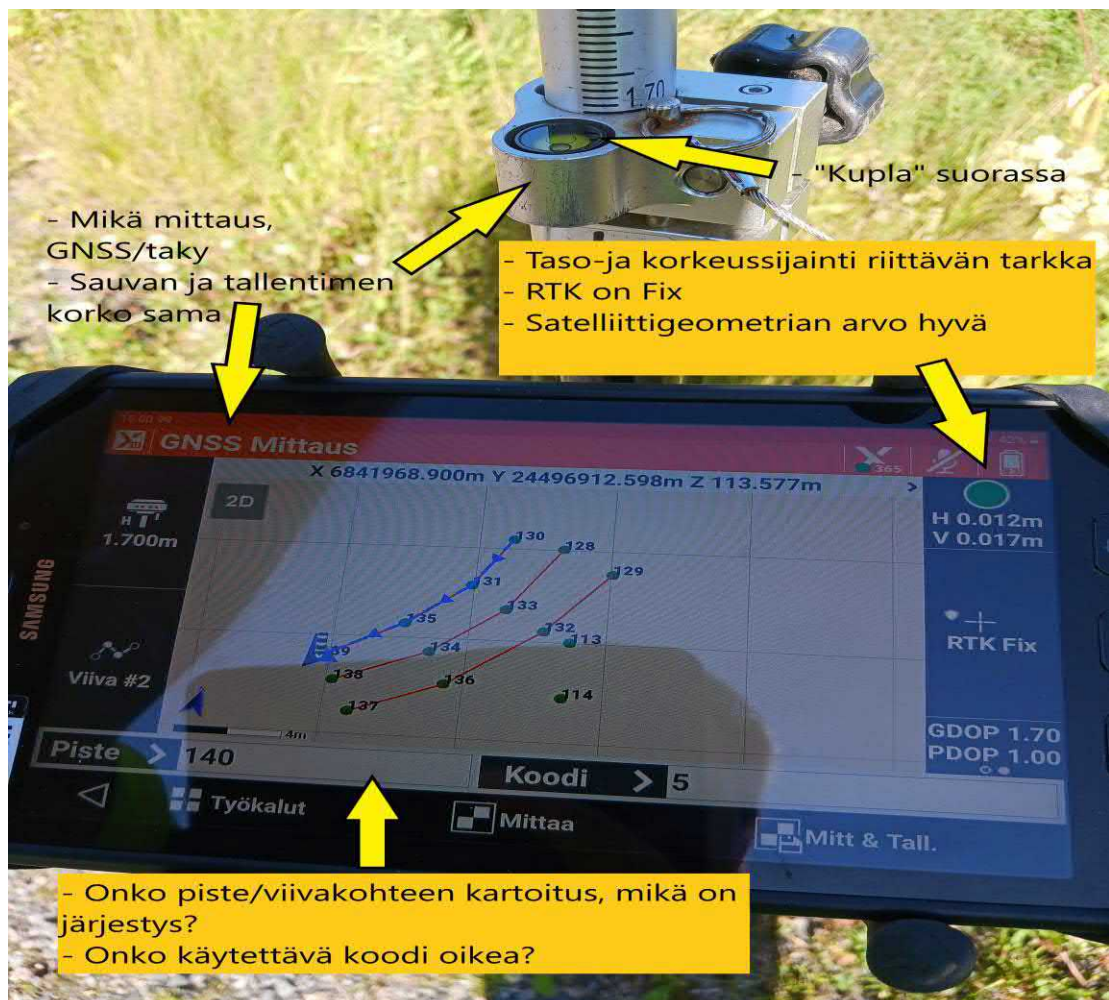
3.2.2 RTK GNSS -satelliittipaikannusmittauksesta

RTK eli reaaliaikainen, kinemaattinen satelliittipaikannusmittaus, on yleinen satelliittipaikannusmittausmenetelmä, mitä käytetään muun muassa niin maastomallien, merkintämittauksien kuin koneohjauksien tekemiseen. Menetelmässä laitteen ja mittauspisteen reaaliaikainen sijainti saadaan suoraan laitteen vastaanottimen kautta. RTK-mittauksessa on ominaista tämän liikkuvan vastaanottimen (Rover, kojeen ”lautanen”) ja tukiasemavastaanottimen (vertailuvastaanotin, jonka sijainti on tunnettu) välinen tietoliikenneyhteys (radiomodeemi tai matkapuhelinverkko), missä tukiaseman havainnointiaineisto siirtyy tähän liikkuvaan vastaanottimeen, laskennan tapahtuessa reaaliaikaisesti. (JHS 184 2017, 4, 12–13; Laurila 2012, 315, 319–322; Ylitepsa 2016, 10.)



Kuvio 4. Mittaustoiminta RTK GNSS -verkossa (Tampereen Infra 2020)

Sekä tukiasemalla, että vastaanottimella eli kartoittajan mukana olevalla GNSS-kojeella pitäisi olla vähintään viisi, mutta käytännössä 6 -7 yhteistä satelliittia "kiinni," jotta kartoituksessa saadaan luotettavia ja tarkkoja mittaustuloksia. Tukiaseman koordinaatit ja korkeus on tarkkaan tiedossa, ja perinteisesti yksittäinen tukiasema tarjoaa yhteyttä kentällä olevaan GNSS-kojeeseen 20 kilometrin päähän. Tukiasemia on kuitenkin sopivan tiheästi, ja Tampereella on toistaiseksi oma VRS-eli virtuaalitulokasemaverkko käynnissä, mikä voi tarjota yhteyttä noin 100 kilometrin päähän Tampereelta. Verkkoa varten on ympäri Tampereen aluetta kiinteitä tukiasemia toteuttamassa tätä verkkoa. (Anttila ym. 2003, 40–41; JHS 184 2017, 12–13; Laurila 2012, 319; Maanmittauslaitos, 2011, 4; Tampereen Infra 2020.)



Kuvio 5. Tallentimen näkymä GNSS-mittauksessa XPAD:n sovelluksella

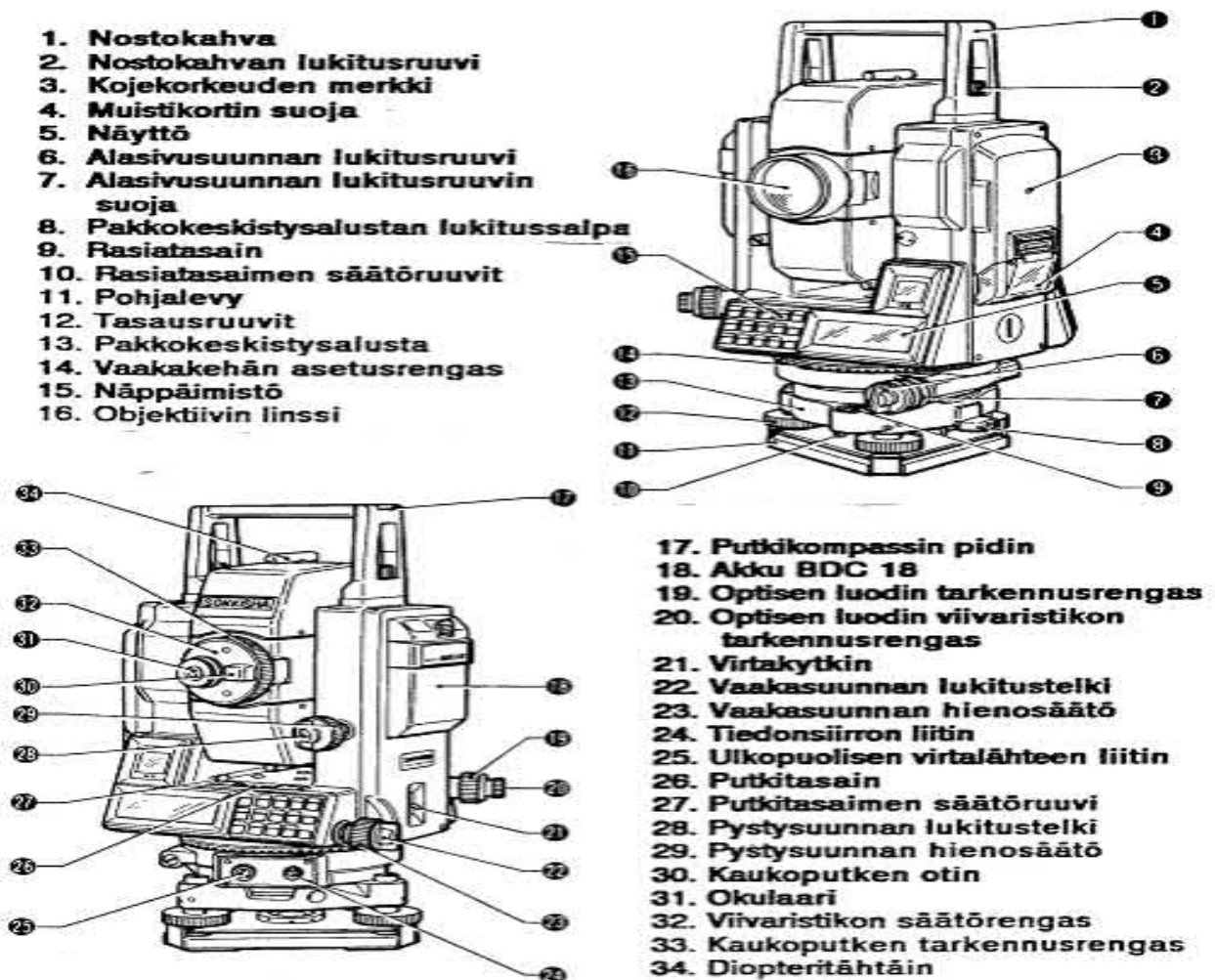
Keskeisiä termejä RTK GNSS -mittauksessa, mikä on täysin tyypillinen kartoittajan mittausmenetelmä, ovat seuraavat:

- **Fix-ratkaisu:** Vastaanottimen paikka on määritetty tarkasti, perustuen vastaanottimen ja satelliittien välisten etäisyyksien ratkaisuun radiosignaalien kantoaalloista, eli alustukseen. Tarkkuus on yleensä 100 millin sisällä, tämä ei tosin riitä yleensä mittaustarkkuudeksi ja tallentimen sovellus on voitu säätää tietyn rajan, esimerkiksi 50 millin sisään, että voi mitata fix-ratkaisulla. 0-30 millin sisälle saatu fix-ratkaisu riittää monessa kartoitusmittauksessa GNSS-kojetta käyttäessä. Ennen kartoituksen alkua on syytä alustaa varmuuden vuoksi GNSS-koje, sekä silloin, jos tarkkuus on huono, tai alustusta ei itsestään muodostu 1-2 minuutin kuluessa mittauksen aloituksesta.
- **Float-ratkaisu:** Vastaanottimen sijaintia ja korkeutta ei ole kyetty määrittämään tarkasti, alustus on kesken, ja sijainti sekä korkeus voi olla useita metrejä harhassa todellisuudesta. Float-ratkaisulla ei pitäisi mitata tästä syystä huonon tarkkuuden takia, poikkeuksena voi olla maanpinnan hajapisteiden mitaus tai pohjatutkimuspisteen merkintä keskelle metsää, mutta tässäkin tapauksessa floatissa esitetyn sijainnin ja korkeuden tulisi olla mahdollisimman alhainen.
- **PDOP/ GDOP -lukuarvot (sekä VDOP ja HDOP):** PDOP (eli Position dilution of precision) on satelliittigeometrian laadun lukuarvo, mikä ilmaisee satelliittien sijainnin vaikutusta paikannustarkkuuteen, mitä pienempi arvo, sen parempi eli tarkempi ja laadukkaampi on mittaus. GDOP (eli Geometric DOP) ilmaisee vastaavasti sijainnin ja ajan suhteen. VDOP ja HDOP ilmentävät vastaavalla tavalla tasosijainnin (Horizontal DOP) ja korkeuden (Vertical DOP) lukuarvoa. (JHS 184 2017, 3–4, 12–13; Maanmittauslaitos, 2011, 3–4.)

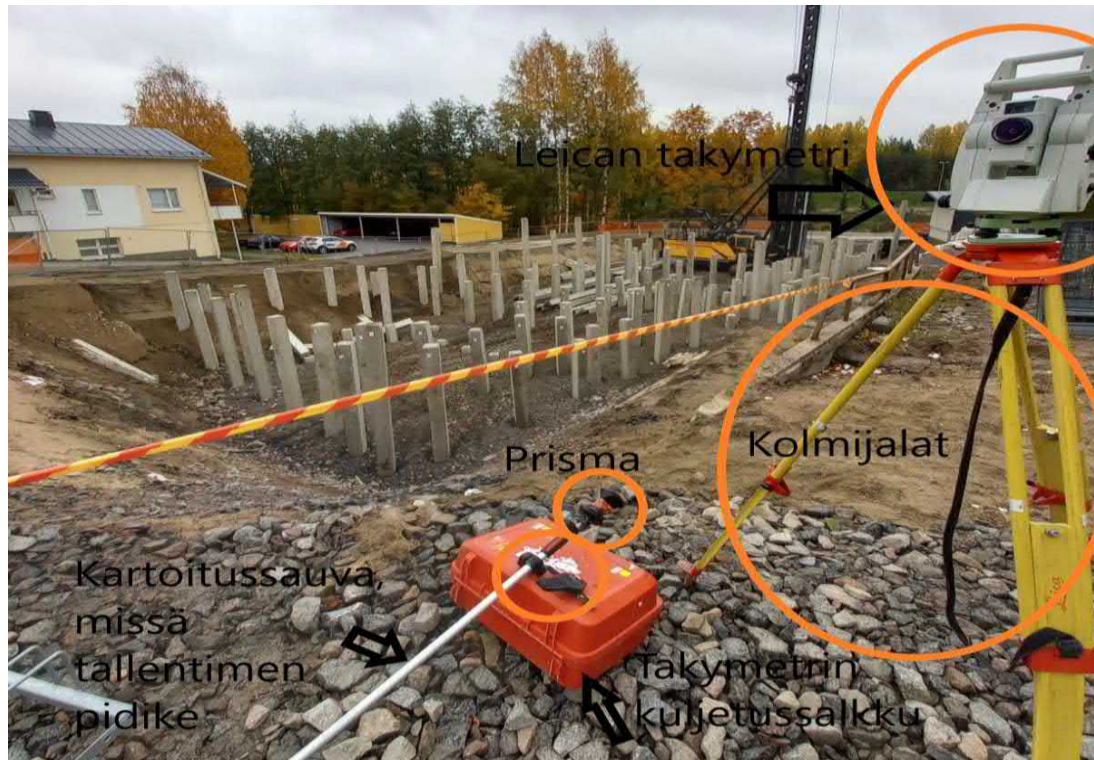
GNSS-mittauksessa etenkin Fix, float ja PDOP-käsitteet ovat jollakin tavalla ilmi tallentimen näytöllä, mistä niiden tilaa on helppo seurata. Kuvio 5 havainnollistaa tallenninnäkymää. GNSS-kojeen sijainti -ja korkeustarkkuus on hyvä varmistaa tekemällä mittaus luvussa 6 mainitulla kiintopisteellä; jos tarkkuus on 20 millin sisällä, on tarkkuus useimpiin kartoituksiin riittävä. (JHS 184 2017, 3–4, 12–13; Maanmittauslaitos, 2011, 3–4.)

3.3 Takymetri

Takymetrikojeen mittaustekniikka perustuu pysty -ja vaakakulma -sekä etäisyys-havaintoihin, joista viimeiseksi mainittua mitataan valopulssin eli laserin avulla, missä valon kulkuaikaan perustuvalla pulssi- tai vaihe -eromittauksella koje voi laskea etäisyyden. Näiden tekijöiden avulla kojeella määritetään kartoitettavien kohteiden koordinaatit ja korkeus, etenkin kun takymetrille on määritetty orientoinnin myötä kojeen aseman oma koordinaatti- ja korkeussijainti. Nykyaikainen takymetri on ns. ”robotitakymetri,” jonka pitäisi kyetä hakemaan tallentimen nap-pia painamalla prisma-sauva tai merkattavat pisteet. Koje koostuu kuvioden 6 ja 7 mukaisista rakenteista ja muista oheistyökaluista. Kokonaisuuteen kuuluu mit-taustöiden tallentamiseen ja kojeen hallintaan kuuluva tallennin, kartoitussauva, prisma sekä mahdollisesti miniprisma sauvoineen. (Laurila 2012, 237; Rynänen 2022, 11–13.)



Kuvio 6. Takymetrikojeen osia (Kytölä 2008, 9)



Kuvio 7. Leican takymetri oheisvälineineen

Kojeasema asetetaan sellaiseen kohtaan, että mittaukset onnistuvat kartoittajalle ja muulle liikenteelle turvallisesti ja häiriöttä. Tarvittaessa kojeen omalla optisella luodilla voi asettaa kojeen, vaikka tunnetun asemapisteen päälle kohtisuoraan (Laurila 2012, 252–254).

Takymetrikoje asetetaan ennen mittauksia kolmijalan päälle vakaalle jalustalle. Kolmijalan jalat asetetaan sellaiselle korkeudelle, mistä mittaustyö onnistuu mielekkäästi takymetrilla, jos on tarve tähdätä kojeella jonnekin. Jalkojen on oltava suorana, sekä pakkokeskistysalusta olisi suorana, jotta sen tasaus ja keskistys onnistuisi. Pakkokeskistysalusta tasataan vaakasuoraan paikalleen mahdollisimman tasaisesti kuvion 8 havainnollistamana, siten että tasaimen, että laitteen oman tasaimen ”kupla” ovat mahdollisimman keskellä, tasausruuveja käyttäen. Periaatteessa +0.0020 ja -0.0020 goonin väliin saaminen on sopivan tasaisesti, tasausruuveja voi käyttää kahta samaan aikaan tasauksen nopeuttamiseksi, tätä varten on hyvä kääntää kojeen näppäimistön puoleinen osa kolmijalan varren kohdalle helpottamaan tasausta (Laurila 2012, 252–256).



Kuvio 8. Takymetrin pakkokeskitysalustan tsaus paikalleen mahdollisimman tsaaisesti

Takymetrin orientointi on kojeaseman pystyttämisen jälkeen, eli takymetrin sijainti- ja korkeusaseman selvittäminen, mikä pitää ratkaista vähintään kahdesta tunnetusta pisteestä tehdyllä orientoinnilla, jotta kojeaseman omat koordinaatit ja korkeus saadaan selville. Orientoinnissa käytettävien pisteiden tulee kattaa kartoitettava alue siten, että pisteet ovat kartoitettavan alueen ulkopuolella, sillä sen sisäpuolelta tehty orientointi voi aiheuttaa virhettä ja vääristymää sijainnin suhteen. Orientointi voi tapahtua vapaan tai tunnetun asemapisteen menetelmää käyttäen. (Laurila 2012, 257–260; Ryyänen 2022, 11–13.)

Tavanomaista vapaan asemapisteen menetelmän orientoinnissa on se, että pisteet voivat olla samanaikaisesti tehty GNSS- ja takymetrimittauksena (GNSS-lautanen ja prisma ovat kiinni samaan aikaan kartoitussauvassa, jolloin prisman ja lautasen korkeusero tulee huomioida, mitä tallennin saattaa kysyäkin erikseen). Voi olla, että GNSS:lla on luotu maahan erikseen apupiste, mikä on naulalla, tussilla tai spraymaalilla merkitty sen löytämiseksi, mihin takymetri orientoidaan prismasauvalla tai paalutusjaloilla (joissa on oma prisma erikseen), tai kolmijalkaan kiinnitettyyn pyöröprismaan. Prismasauva voi olla statiivilla tai kolmijaloilla tuetuna tarvittaessa. (Laurila 2012, 257–260; Ryyänen 2022, 11–13.) Kuvio 9 havainnollistaa vapaan asemapisteen menetelmän orientointia.



Kuvio 9. Vapaan asemapisteen menetelmän orientointi GNSS -mittauksena

Muita apupisteitä ovat prisma- eli tähystarrat, jotka ovat esimerkiksi rakennuksessa tai pylväässä kiinni, tai apupiste voi olla pylvääseen piirretty risti tai pisti esimerkiksi tussilla. Tähystarroihin tai edellä mainittuun, tussilla tehtyyn pisteeseen voidaan orientointi tehdä kojeen laserilla, esimerkiksi valitaan DR-mittaus Trimblen takymetreissa. Edellä mainittu orientointi tosiaan perustuu paikan päällä tehtyyn GNSS-orientointiin tai aiemmin tehtyihin apupisteisiin, tai tunnettuihin kiintopisteisiin, joista on enemmän luvussa 6. (Laurila 2012, 252, 257–260; Ryyänen 2022, 11–13.)

Kuvio 10 havainnoi tähystarraa, jonka asettamisessa paikalleen ja siihen orientoitaessa tulee huolehtia, tarran ja kojeaseman sijainti on suorakulmaisesti, eikä vinossa, jolloin orientoitaessa voi hyvinkin aiheutua mittausvirhettä. Tämä koskee myös tarrapisteiden kartoittamista.



Kuvio 10. Tähytarralla valaisinpylväessä kiinni

Orientoinnin voi tehdä myös korkeuskiintopisteeseen, tai sitten orientoinnin jälkeen sauvalla vertaa orientoinnin korkeustarkkuutta, ja erotuksen voi tarpeen vaatiessa huomioida siten, että kartoitussauvan sauvan korkoa vähentää tai lisää pisteen korkeuden mukaisesti, tai sitten korkeuseron ottaa huomioon kartoitettavien pisteiden (mallinnuksen pisteet tai apupisteet) korkeuden muokkaamisessa, ennen tai jälkeen kartoituksen. Periaatteessa takymetrin orientoinnissa on hyödynnettävä luvussa mainittuja kiintopisteitä, jos niitä on kojeaseman/kartoitettavan alueen lähetyillä. (Anttila ym. 2003, 6, 35; Laurila 2012, 252, 257–260; Ryyänen 2022, 11–13.)



Kuvio 11. Liitospisteeseen orientointi tunnetulta pisteeltä

Kun koneen asemapiste ei ole ennalta tunnettu, puhutaan vapaan asemapisteen menetelmän orientoinnista, mikä tehdään kuvion 9 mainitulla tavalla. Tunnetun asemapisteen sijainti ja korkeus on ennalta tiedossa, tosin tunnetulla asemapisteellä pitää yhteen tunnettuun liitospisteeseen orientoida koje, jolloin selviää etäisyys kojeen tunnetun asemapisteen ja tunnetun liitospisteen välille, minkä avulla kojeen etäisyys ja suuntakulma, ja sitä kautta sijainti selviää. Kojekorkeus pitää selvittää esimerkiksi mittanauhalla (kojeen korkeus pisteeseen, esimerkiksi apupisteen naulaan maassa) tai vertaamalla korkeutta tunnettuun korkeuskiintopisteeseen. (Laurila 2012, 252, 257–260; Rynänen 2022, 11–13.) Kuvio 11 havainnollistaa tunnettuun asemapisteeseen orientointia, missä voi käyttää muun muassa pyöröprismaa kolmijaloilla tuettuna.

3.4 Mittausten tallennus ja aineiston käsittelyohjelmat

Tallentimen työ siirretään joko muistitikulla, tai sitten tallentimen työt tallentuvat pilviaineistoon, mistä kartoittaja voi valita tarkasteltavan ja editoitavan aineiston, viimeiseksi mainittu on Infralla yleinen käytäntö. Keskeinen kartoitus- ja muun

mittausaineiston käsittelyohjelma on Novatronin 3D-Win, missä kentällä tallennetut työt editoidaan eheäksi aineistoksi. Aineisto siirretään Tampereen Infran omana gt -tai txt -tiedostona 3D -Winiin, missä kartoitusaineistoa voidaan tarkastella ja muokata eheäksi alan ohjeiden ja käytäntöjen mukaisesti. (Anttila ym. 2003, 38–39.)

Viivamaiset kohteet yhdistetään tarkoituksenmukaisesti, kohteiden koodit ja korkeus tarkistetaan ja muokataan, tietyille kohteille tehdään suorakulmaiset laskennat (neliömäiset kohteet). 3D-Winillä on mahdollista myös muuntaa aineiston tiedostoformaatteja, tehdä rakennesuunnittelua ja kairausaineiston käsittelyä.

3D-Winillä tehdään tarpeelliset aineiston editoinnit, ennen kuin aineisto mahdollisesti siirretään Stellaan (viranomais- ja kantakarttamittaukset) (Anttila ym. 2003, 38–39). Myös Autocad on käytössä suunnittelumittausten aineistojen käsittelyssä. Drone -ja maalaserkeilausaineistoille on omat, tuonnempana mainittavat aineiston käsittelyohjelmat.

3.5 Tarkkavaaituskoje

Nykyaikaisella, digitaalisella vaaituskojeella (perustuen itsetasaavaan vaaituskojeeseen) ja sen sädettä lukevalla latalla mitataan kiintopisteiden korkeuksia, ja etenkin korkeuskiintopisteiden korkeus on juuri vaaituskojeella, vaaituksen kautta mitattu. Kojee koostuu vaakasuorasta mittauskaukoputkesta, mikä on runkosaan kiinnitettynä, ja johon kuuluu myös rasiatasain ruuveineen, ja vaakakulmakehä. Kojetta voi tasaimen päällä kiertää vaakasuorassa ympäri, mutta ylhäältä alaspäin takymetrin tapaan. (Anttila ym. 2003, 41; Laurila 2012, 207.) Kuvio 12 havainnollistaa Tampereen Infran käytössä olevaa Topconin digitaalista vaaituskojetta.



Kuvio 12. Topconin digitaalinen vaaituskoje Topcon DL-100 sarjasta (Tampereen Infra Instagram 2023a)

Digitaalinen vaaituskoje tallentaa vaaituksen havainnon laitteen muistiin, mistä muistitikulla, muistikortilla tai USB-kaapelilla vaaituksen mittaukset ja tulokset saadaan laskentaohjelmaan, tosin laite itsekin laskee vaaituksen tuloksen. Luvussa 6 havainnollistetaan vaaitusta enemmän. Vaaituksessa olennaisia välineitä ovat kojeen lisäksi vähintään latta ja kojeelle tarkoitetut kolmijalat, lisävälineenä voi olla esimerkiksi avokelamittanauha, millä voi kojeen mittaamien havaintojen etäisyyksiä mitata etukäteen, pitäen etäisyydet havaintojen välillä mahdollisimman samanlaisina. (Anttila ym. 2003, 41; Laurila 2012, 18, 204, 207.)

3.6 Drone

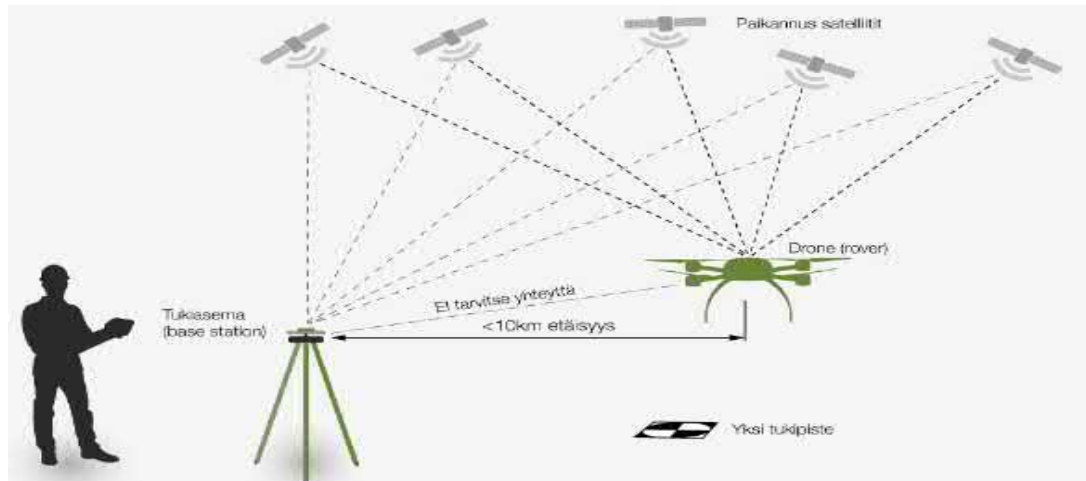
Tampereen Infralla on kuvion 13 mukainen, noin 4-5 kiloinen titaanirunkoinen drone, Geodronen nelikopteri käytössä. Sillä tehdään ilmasta käsin tehtäviä laserkeilauksia ja ilmakuvauksia (ortoilmakuvat), se on alun perinkin suunniteltu maanmittauksen ja kartoituksen tehtäviä varten. Siihen kuuluu osana kokonaisuutta kauko -ohjain, jolla voi manuaalisesti ohjata dronen lennon aikana, tosin Ground Station-lennonsuunnitteluohjelmalla suunnitellaan lennon reitti, ja kotiinpaluutoiminnon avulla ei välttämättä tarvitse ohjata dronea enää takaisin laskupaikalle, ellei itse sitä halua, se tosin on hyvä lentotaidon ylläpitämiseksi. (Nordic Drones 2023a & 2023b.)



Kuvio 13. Geodronen lennokka

Kuvaus tehdään dronen gimbaaliin (tasapainottaja) kiinnitetyn Sony'n 24/42 megapikselin kameran avulla, ja kokonaisuuteen kuuluu erilaisia kuvausta mahdollistavia sensoreita (esimerkiksi väri, monispektri). Lennettävä kuvausalue voi kattaa jopa 100 hehtaarin alueen, kun yksittäisen pikselin kooksi on haluttu 30 millimetriä 70 prosentin sivuttaispeitolla (eli kuvauksen päällekkäisyydellä yhdellä pitkittäisellä lentokuvausjanalla). Kuvaukset tallennetaan laitteen sisälle laitettavaan muistikorttiin, joka myös irrotetaan laitteesta lennon jälkeen ja laitetaan tietokoneeseen työn latausta ja käsittelyä varten. Aineistot käsitellään Pix4D-ohjelmalla. (Nordic Drones 2023a & 2023b.)

Lentoaika yhdellä akulla on hypoteettisesti tai hyvillä, tyyneillä tuuliolosuhteilla jopa yli tunnin, mutta lentoaikaa rajoittaa muun muassa vaihtelevan tuulisuuden ja muun säätilan muutokset (kuin myös hyötykuorman määrä). Maksimituulenopeus, minkä rajoissa Geodronea voi lennättää, on 15 metriä sekunnissa. (Nordic Drones 2023a & 2023b.)



Kuvio 14. PPK satelliittipaikannusmenetelmä (Nordic Drones 2023a & 2023b.)

Dronessa on kuvion 14 mukainen GNSS-paikannin laitteen sijainnin selvittämiseksi PPK eli post processing kinematic -satelliittipaikannusmenetelmänä, mikä lisää dronella tehtävän mittauksen tarkkuutta. Osana dronea on myös laskuvarjo dronen putoamisia varten, ja jonka dronen ohjaaja voi tarvittaessa itsekin laukaista. (Geotrim 2023; Nordic Drones 2023a & 2023b.)

Dronekeilauksesta ja sitä tukevien mittausten tekemisestä on enemmän luvussa 4, missä on muun muassa dronella lennättämisen rajoitteista, jotka koskevat EU:n droneilmailua koskevassa lainsäädännössä, ja siten Traficomien määräyksissä ja ohjeissa avoimen kategorian lennättämistä. Infralla lennätetään dronea kuitenkin erityisen kategorian säännöillä, toimintalupahakemukseen ja toimintalupaan perustuen, johtuen muun muassa tiheästi asutulla kaupunkialueella toimimisesta (Stenberg 2023).

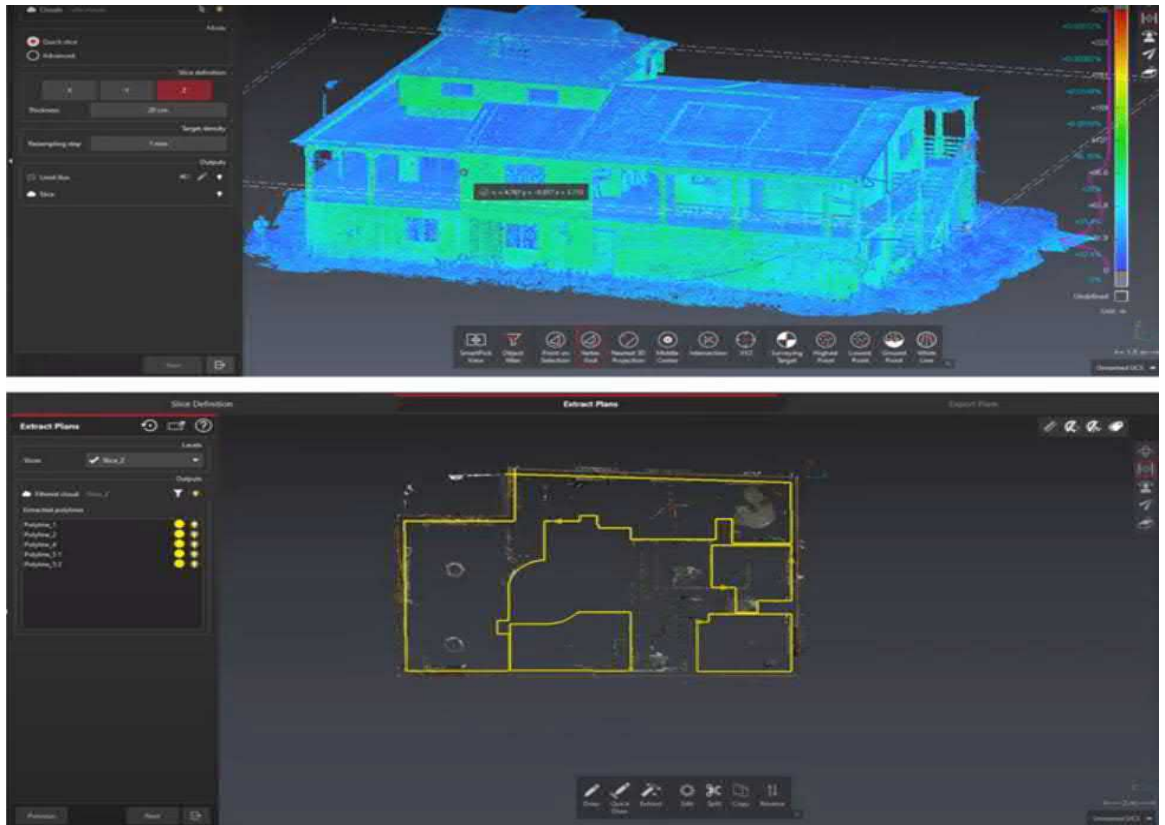
3.7 Laserkeilain

Kuvion 15 mukaisella, noin viisikiloisella Leican RTC360 -keilaimella, mikä on Tampereen Infran käytössä, on mahdollista keilata kohteita laajalla, dynaamisella alueella (HDR) tarkasti jopa 130 metrin päähän, ja mittausnopeus yleisesti on 2 miljoonaa pistettä sekunnissa, ja keilauskierros voi viedä noin kaksi minuuttia aikaa. Osana Leican keilainta kuuluu esimerkiksi tablettiin asennettava sovellus, jota voi käyttää sekä keilaimen käsittelyä varten, että keilausaineiston tarkasteluun jo kartoituskohteessa sekä keilatun, eli rekisteröidyn aineiston esitallennuksen kentällä. (Leica Geosystems 2023c; Laukkanen 2023, 23–25.)



Kuvio 15. Leican RTC360 laserkeilain (Tampereen Infra Instagram 2022a)

Keilaimella on pistetarkkuus 6,4 millimetriä 50 metrin päästä olevista kohteista, ja 12,5 millimetrin tarkkuus yli 100 metrin päässä olevista kohteista. Keilattu, referoitu ja käsitelty pistepilviaineisto kolmioidaan, eli aineistolle muodostetaan kolmiulotteinen malli, ja tällaisen mallin pohjalle voidaan muodostaa jatkomalleja, kuten rakennemalleja, tai pohjapiirustuksen muodostaminen keilatusta alueesta, kuten kuviossa 16 on esitetty. (Laukkanen 2023, 23–25; Laurila 2012, 272–273.)



Kuvio 16. Keilatun aineiston käsittely pohjapiirustukseksi (Leica Cyclone 3DR 2021)

Keilaimen, ja etenkin laserkeilausta tukevien mittausten tekemisestä on enemmän luvussa 4.

4 MAASTOMALLI JA MALLINNUKSET

4.1 Yleisesti maastomallin tekemisestä

Tässä luvussa käsitellään eri mallinnusmenetelmiä maastomallin tekemisen pohjalta, mikä on yleisesti kartoittajan yksi keskeisistä tehtävistä Tampereen Infralla, etenkin suunnitelmamittauksissa infrarakentamista varten, tosin maastomalleja voidaan tehdä myös muuhunkin tarpeeseen. Kantakartan päivitykset ovat myös yhdenlaista maastomallin tekemistä, missä perinteisen kolmiulotteisen maastomallin kartoituksen tunteminen on erittäin paljon eduksi, ja molemmissa sovelletaan samoja periaatteita ja menetelmiä kartoituksen suhteen. Kantakartan päivityksissä on kuitenkin kolmiulotteiseen maastomalliin verrattuna hieman eroavaisuuksia, ja niistä on tarkemmin luvussa 6. Merkintämittauksesta yleisesti ja muusta kartoitusmittauksesta on yleisesti tässä luvussa myös.

On eri tapoja sekä käyttötarkoituksia mallintaa kartoitettavia kohteita. Nämä tavat ja menetelmät juontuvat osin kartoituksen tavoitteista, kuin myös kartoitettavan ympäristön olosuhteista, missä on paljon vaihtelua. Kartoitettavan, mallinnettavan ympäristön laajuus sekä vaatimukset kartoitettavien kohteiden mittaustarkkuudelle vaikuttavat valittavan mittauskojeen ja menetelmän valintaan, mihin voi myös vaikuttaa se, että minkälaisia kojeita on käytettävissä kartoitusta varten (Liikennevirasto 2017a, 17–19).

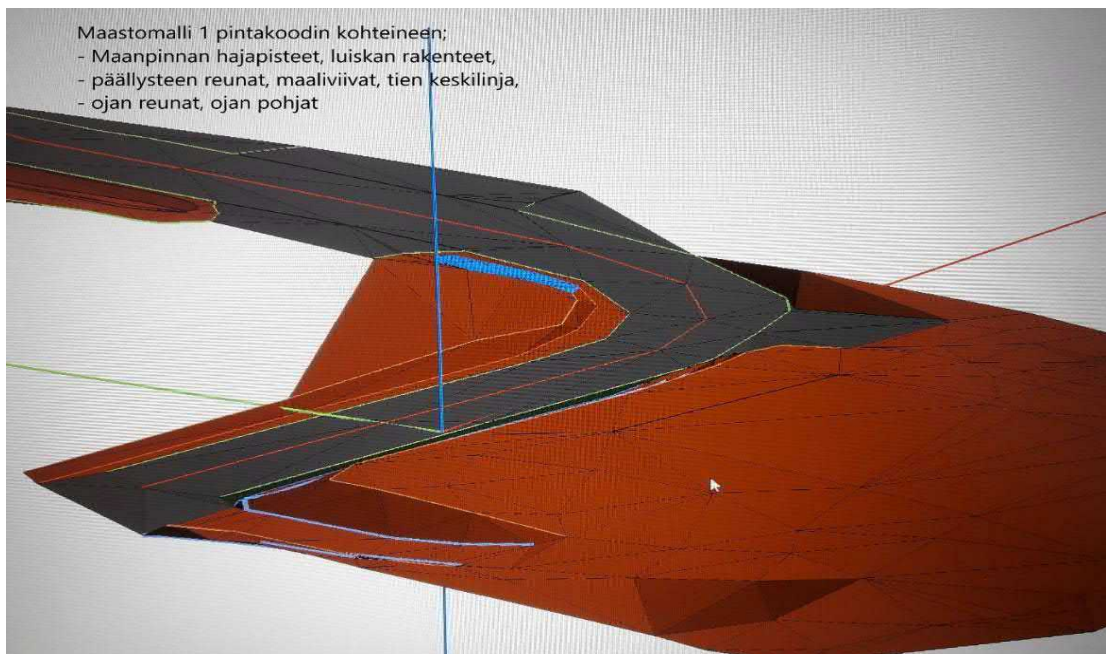
Maastomalli tehdään tietyltä rajatulta hankealueelta ja sen tekeminen voi perustua täysin yhden kartoittajan, tai monen muunkin kartoittajan mittauksiin, yhdeltä kartoituskerralta tai monelta kerralta. Maastomalli voi olla myös täydentävä mittausta, millä kartoitetaan kohteita ja alueita, mitä ei lentokoneella tai dronella ole saatu kartoitettua (Liikennevirasto 2017a, 17–19).

4.1.1 Yleistä maastomallintamisesta

Perinteisellä maastomallinnuksella tarkoitetaan kartoitusmittausta, missä kartoitetaan kolmiulotteiseen maastomalliin sekä luonnostaan olemassa olevia, kuin myös rakennettuja maanpinnan muotoja; avokallioita, merkittäviä kiviä/kiviryhmiä, merkittäviä puita/puuryhmiä, kosteita painaunmia, puron-tai muun vesistön

varsia, ojanvarsia, rumpuja, siltoja, päällystettyjä tai päällystämättömiä teitä, rakennuksien nurkkia, aitoja, kaapeleita, vesi- ja viemärijohtoja. Kartoitetuilla kohteilla, "pisteillä" ja "viivoilla" on koordinaattisijainnin lisäksi korkeus, mikä on olennainen tieto kolmiulotteista maastomallia varten. (Anttila, M ym. 2003, 35; Aalto 84, Hartikainen 114–115; Laurila 2012, 265–266; Liikennevirasto 2017a, 17–19; Liikennevirasto 2017b, 9, 31.)

Maastomalli editoidaan kentällä tehtyjen mittausten perusteella eheäksi ja mallinnettua ympäristöä tarkoituksenmukaisesti kuvaavaksi. Kun kohteet on kolmioitu editointivaiheessa, kartoitetut kohteet muodostavat näin kolmiulotteisen mallin kartoitetusta ympäristöstä, ja kartoitettujen kohteiden sijainteja, ulottuvuuksia ja ympäristöä on mahdollista tarkastella monipuolisesti eri näkökulmista, ja ympäristön voi hahmottaa kaksiulotteista tasoa luontaisemmin ja paremmin, kun korkeussuhteet ovat havaittavissa. Pääosin tarkoituksena on mallintaa ympäristön pintaa eli pintamallia, jota kuvio 17 havainnoi, sekä paikoin myös rakennuksia ja rakenteita, joita ei pintamalliin muuten sisällytettäisi. (Aalto 2021, 84; Hartikainen 2003, 114–115; Laurila 2012, 116, 265–266; Liikennevirasto 2017b, 20–21,27–28.)



Kuvio 17. Kolmiulotteinen 3D-Win maastomalli tiealueesta

Tällaisen kolmiulotteisen mallin tekemiseksi vaadittavan laitteen ja menetelmän valinta riippuu, kuten edellä on mainittu, mallinnettavan alueen laajuudesta, sekä

siitä, minkälaiset tarkkuusvaatimukset ovat kartoitettaville kohteille. Pinta-alaltaan laajoilla alueilla, käsittäen kymmenistä hehtaareista satoihin hehtaareihin ulottuvia maa- ja vesialueita (esimerkiksi metsien kaukokartoitus), hyödynnetään lentokoneella, ja kaupunkiympäristössä dronella eli lennokilla tehtävää mallinnusta, joista viimeksi mainittua yhä lisääntyvässä määrin eri kartoitustehtäviä varten. (Laurila 2012, 262; Liikennevirasto 2017a, 17–19; Rantala 2018, 289.)

Takymetrilla tai pelkällä GNSS -laitteilla tehtävä maastomallinnus on tarpeen muun muassa myös silloin, kun ilmasta tehdystä mallista ilmenee katvealueita, joita ei ole kyetty mallintamaan, ja on tarpeen tehdä täydennysmallinnus tällaisille paikoille. Esimerkiksi parin hehtaarin kokoinen tien risteysalue lähiympäristöineen voi olla käytännöllisempää mallintaa näillä kojeilla, ja kartoitetun aineiston käsittely muun muassa 3D-Winissä ei ole yhtä massiivinen toimenpide verrattuna keilausaineistojen käsittelyyn. (Laurila 2012, 262–263; Liikennevirasto 2017b, 21, 23–25.) Kuvio 18 havainnoi GNSS-mittauksena tehtyä maastomallinnusta.



Kuvio 18. Massaleikkauksen jälkeinen maanpinnan mallinnus Leican GNSS-laitteella

Takymetrilla maastomallinnus on kätevää esimerkiksi tieristeysalueilla, missä mallinnettava työmaa on laaja, ja näkyvyyttä on pitkälle, kuten kuvio 19 esittää. Takymetrikartoitus voi ja yleensä onkin pakollinen koje sen takia, että sille kerran orientoitu sijainti -ja korkeustarkkuus on vakio, eli kartoitettujen kohteiden sijainti- ja korkeustarkkuus pysyy samana koko takymetrilla mittaamisen aikana, eikä

vaihtelee, kuten GNSS -laitteella on tapana. Lisäksi voi olla rakennuksista tai puustosta johtuen katvetta, että GNSS -kartoitus ei onnistu, kun laite ei alusta, ja kuten edellä mainittu, myös tällaiset katveet voivat lisätä epätarkkuutta mittauksessa. (Laurila 2012, 262–263; Liikennevirasto 2017b, 21, 23–25.)

Voi olla, että tilaaja vaatiikin takymetrillä mittausta, ja niin, että se on orientoitu kiintopisteistä, perustuen hankkeen mittaussuunnitelmaan. Tällaisissa hankkeissa voi olla tarpeen luoda hankkeen oma mittauserusta, missä luodaan hankkeelle omia kiintopisteitä, ja hyödynnetään olemassa olevaa kiintopisteverkkoa, esimerkiksi isoissa tie- ja ratahankkeissa. Luvussa 6 mainitut kiintopistemittaukset ovat periaatteessa tavallaan kunnan, ja sitä kautta Tampereen Infran oman mittauserustan ylläpitoa ja luomista (Liikennevirasto 2017b, 8, 10–11, 13).

Lisäksi on tarpeen mitata signaaleita ja tähyksiä ilma ja -maalaserkeilauksia varten, jotta keilattava aineisto saadaan sidottua hankkeen ja valtakunnalliseen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään, ja siten kaikille mallin pisteille saadaan korkeus ja sijainti. (Laurila 2012, 262; Liikennevirasto 2017b, 22–23.) Näistä mittauksista on tuonnempana tässä luvussa asiaa.

Pienemmissä, rajatuissa kohteissa, kuten rakennuksen sisällä, tai yksittäisen rakennuksen ja sen lähiympäristön mallintamisessa, maan tasalta tehtävä laserkeilaus on optimaalinen vaihtoehto, etenkin kun halutaan tietää rakennelman pintojen sijainnit ja korkeudet yksityiskohtaisesti. Laserkeilaus voi olla liian pienialainen ja aineistonkäsittelyltään raskas mallinnusmuoto laaja-alaisemmissa kohteissa ulkona, rakennusten tai yksittäisten rakenteiden ulkopuolella, kuten myös dronella tehtävä laserkeilaus voi olla pienellä alueella, mikä ei sen vuoksi korvaa maastossa hyppivää ja kulkevaa kartoittajaa. (Laurila 2012, 262; Liikennevirasto 2017b, 21–22; RT 103133 2019, 1.)



Kuvio 19. Tien risteysalueen ja kaupunkialueen mallinnusta Trimblen (vasen) ja Leican (oikea) takymetreilla

GNSS- ja takymetrikartoituksessa on yhteistä se, että takymetrimittaus edellyttää vähintään kahden tunnetun pisteen kautta kojeen orientointia, ja kyseiset pisteet on jo mitattu yleensä GNSS-mittauksena jossakin vaiheessa pisteen ”elinkaarta,” joko suoraan, tai sitten osana takymetrin orientointia (tähytarrat, seinäpisteet ja muut kiintopisteet). Yhteistä on myös se, että miten kartoitussauvan kanssa liikkuu ja kartoittaa kartoitettavaa aluetta, eteneekö suorana linjana ja mittaa viiva-kohteita kohteittain, vai viuhkamaisesti pisteinä eri kohteet, ja etenee tällaisena viuhkana kartoitettavaa aluetta eteenpäin. (Liikennevirasto 2017b, 23–25; Tamimi 2020a & 2023.)

GNSS ja -takymetrimittauksessa on pari tärkeää, huomioitavaa asiaa; kartoitussauvan korkeus mahdollistaa mittauksen (esteiden ja katveiden haitan vähentäminen), sauvan korkeus on tallentimelle kirjattu oikein ja on sama korkeus kuin mitä sauvassa on kartoituksen aikana, mikä vähentää virheellistä korkeusvaihtelua aineistossa ja helpottaa aineiston käsittelyä. Kartoitettavien kohteiden oikeiden koodien käyttö helpottaa myös aineiston käsittelyä ja muokkausta. Näiden muuttujien huomiointi vaikuttaa kartoittajan tehtävien sujuvuuteen ja kartoituksen sekä sillä tavoiteltujen lopputulosten onnistumiseen. Välillä on hyvä ottaa kuvia kartoitettavasta alueesta ja kohteista aineiston käsittelyn helpottamiseksi. (Laurila 2012, 264–265; Tamimi 2020a & 2023.)

4.1.2 Kolmiulotteinen maastomallinnus

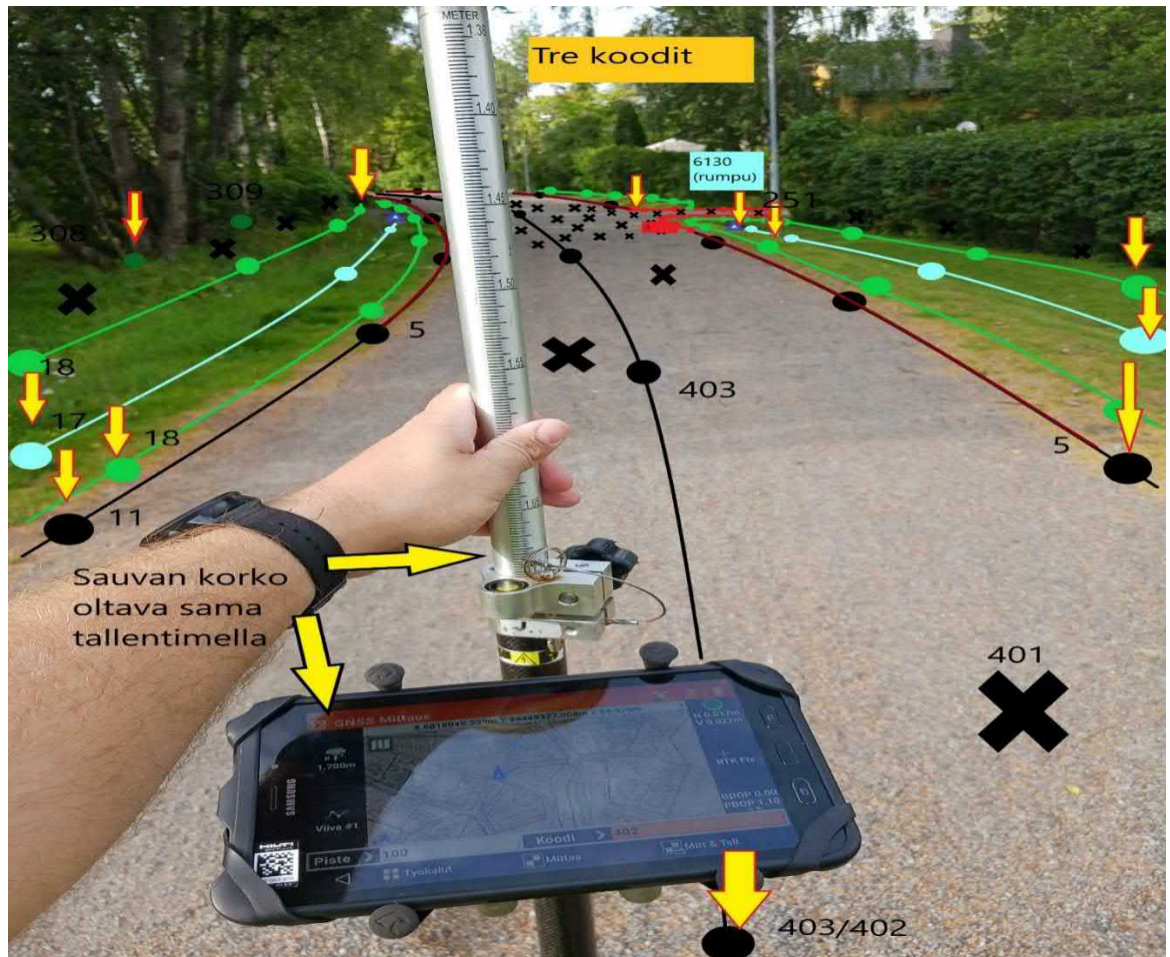
Yksi mahdollinen tapa mallintaa on, että kartoitetaan viuhkana samaan aikaan ja enintään 10 metrin välein (mikä on Väyläviraston ohjeiden enimmäisetäisyys) pisteet ja viivojen kartoituskohdat suorilla, tosin mutkissa ja havaituissa korkeuden muutoskohdissa kartoitus tehdään tiheämmillä väleillä. Kartoitukset voi tehdä myös yksittäin joko viiva- tai pistekohteittain, eli samanaikaisesti kartoittaa monta eri objektia koodeineen, tai sitten yksittäin, molemmille tavoille on omat käyttökohteensa, hyötynsä ja "haittansa." (Liikennevirasto 2017b, 20–21; Tamimi 2020a.)

Se, että käyttääkö GNSS vai -takymetrimittausta riippuu tosiaan olosuhteiden (katveet, esteet, mallin laajuus) lisäksi siitä, että millaiset tarkkuusvaatimukset ovat kartoitettaville kohteille, kuten Väyläviraston ohjeessa on mainittu, ja mikä on kartoituksen laajuus. Väyläviraston ohjeissa on määritelty, mitkä kohteet pitää mitata takymetrillä. Kuvion 20 mukainen kartoitus on yleensä takymetrillä kartoitettava kohde, kun taas pellonreunassa tehtävä ojalinjan ja sen lähiympäristön kartoitus voi mennä ihan GNSS-kartoituksena. (Liikennevirasto 2017b, 20–21, 24–25, liitteet 2-9; Tamimi 2023.)

Seuraavissa kuvioissa sovelletaan sekä kaupungin, että Väyläviraston (entinen Liikennevirasto) koodeja. Tampereen Infralla käytetään huomattavasti enemmän kaupungin omia koodeja, jotka soveltuvat hyvin kaupunkiympäristön ja etenkin luvussa 6 mainitun kantakartan mittauksissa. Väyläviraston koodit soveltuvat etenkin tie -ja rata -alueiden kartoituksiin, missä on kyseisten kohteiden mittauksiin soveltuvia koodeja. Koodit kirjoitetaan kartoituksessa tallentimen hakukenttään, tai valitaan valikosta; kullekin kartoitettavalle kohteelle on oma, sitä kuvaava koodi, ja se luo 3D -Winissä oman symbolin aineistoa editoitaessa (3D – Winissä on oltava vastaavia koodeja käyttävä kooditiedosto aktiivisena).

Tampereen Infran kartoittaja voi välillä, ei välttämättä usein, kartoittaa tilaajalle, joka saattaa haluta aineiston Väyläviraston koodeilla, jolloin on hyvä tuntea eri koodit kartoituskohteille. On kuitenkin huomattava ero kaupungin ja Väyläviraston koodien suhteen, kuten edellä on mainittu, että Väylävirastolla on kattavasti eri-

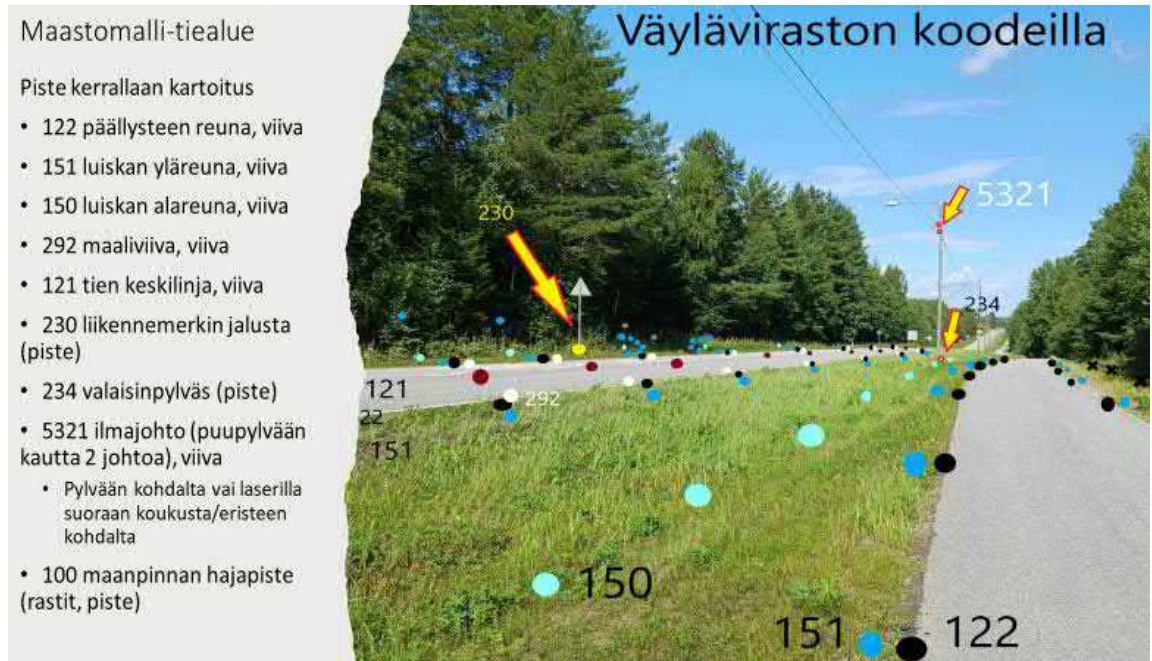
laisia, yksityiskohtaisia koodeja infrakohteiden kartoitukseen, mutta ei kaupunkiympäristöön, mihin kaupungilla on vastaavasti erilaisia, yksityiskohtaisia koodeja. Esimerkkeinä esimerkiksi kuvionreunat puistokohteiden kartoitukseen kaupungin koodeissa, ja balliisi Väyläviraston koodeissa.



Kuvio 20. Katualueen maastomallin tekeminen GNSS-kojeella Tampereen kaupungin koodeilla

Tampereen Infralla kolmiulotteiset maastomallit pääsääntöisesti tehdään ensisijaisesti takymetrimittauksena, johtuen siitä, että kartoitetuissa kohteissa taso- ja korkeussijainti ei vaihtele vaan pysyy tasaisena, kun takymetri on kerran orientoitu asemaansa, ja tuottaa orientoinnin ja sen mukaisen keskivirheen mukaisella tarkkuudella mittaustuloksia kartoitetuille kohteille. Tämä eliminoi GNSS-kartoituksessa mahdollisen systemaattisen virheen, missä taso- ja korkeussijainti voi vaihdella normaalistikin 20 -30 millillä, joskus jopa enemmänkin, riippuen paljonko on katvetta laitteen, tukiaseman ja satelliittien radiosignaalin välillä (Tampereen Infra 2020).

Kuvio 20 havainnollistaa maastomallin tekemistä Tampereen kaupungin koodeilla GNSS-kojeella. Koodit ovat kuvassa seuraavanlaiset; 401 maanpinnan hajapistee, puut (309/308), valaisimet (251/252), rumpujen päät 6130 (muovirumpu, läpimitta 300 millimetriä). Viivamaisia kohteita ovat 11 kevyen liikenteen reuna, 5 tien reuna, 2 ajotien reuna, 17 luiskan alareuna, 18 luiskan yläreuna.

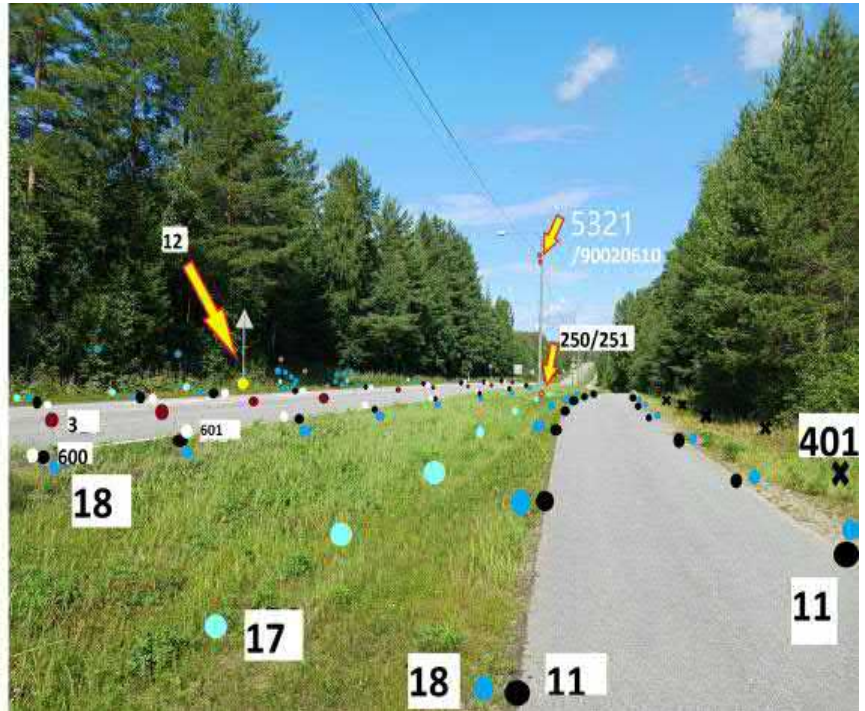


Kuvio 21. Väyläviraston koodit tiealueella

Tampereen Infra tekee kartoitukset Tampereen kaupungin omilla koodeilla, ja toisinaan voi olla tilaajan kautta tilaajan omat koodit maastomalleja yms. kartoituksia varten. Kuviossa 21 on esitetty eräs tiealue Pirkanmaalla, ja mitä koodeja on eri kohteille. Kuviossa 22 on esitetty vastaava alue Tampereen kaupungin omilla koodeilla, erona kuvion 21 esittämiin koodeihin, jotka ovat Väyläviraston koodeja. On huomattava esitettyjen koodien ero; esimerkiksi Tampereen omissa koodeissa ei ole yksinomaan pelkkää päällysteen koodia, vaan vain ajoradan päällysteen reunan koodi. Sama asia myös ilmajohtojen osalta, minkä vuoksi kuviossa 23 on esitetty myös Väyläviraston koodi kuviossa.

Tre Koodeilla vastaava

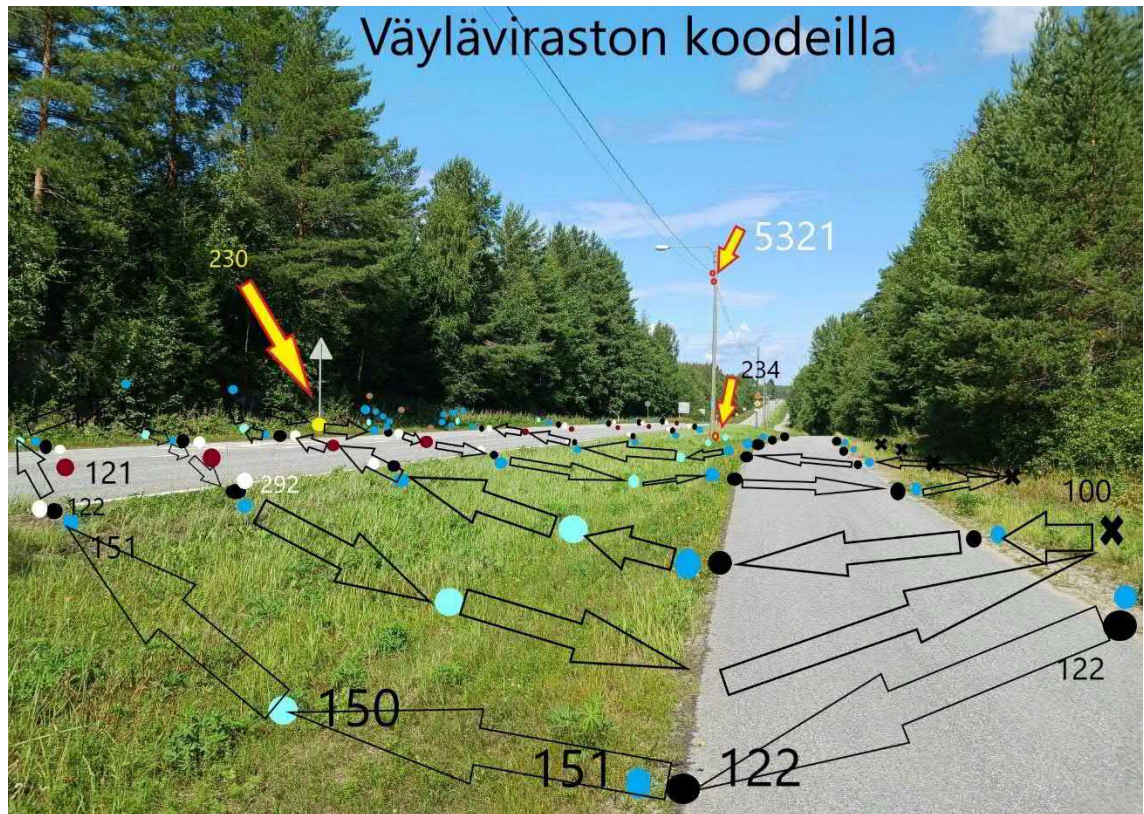
- 600 Ajouradan päällysteen reuna
- 11 Kevyen liikenneväylän reunalinja
- 18 Luiskan yläreuna
- 17 Luiskan alareuna
- 601 Ajouradan maaliviiva
- 3 Ajoväylän keskilinja
- 12 Liikennemerkki
- 250/251 Valaisinpylväs iso/pieni
- 5321/90020610 Sähkölinja
- 401 Maanpinnan korkeuspiste



Kuvio 22. Tampereen omat koodit vastaavalla alueella

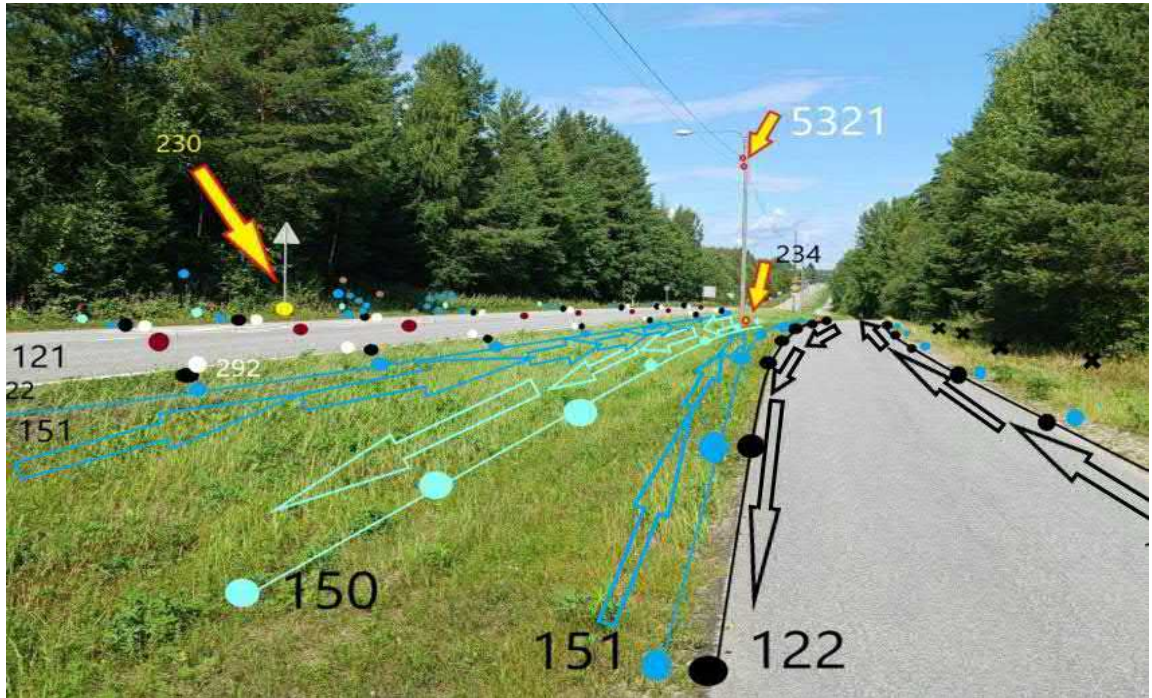
Periaatteessa kuvioissa havainnoidaan sitä, miten voi yksittäisiä pisteitä kartoittaa alueelta. Seuraavaksi avataan hieman lisää, miten maastomallin kartoitusta voi tehdä. Huomattavaa on myös koodien erilaisuus keskenään.

Kuviossa 23 on havainnollistettu, miten tällaisessa viuhkassa voidaan kartoittaa mallinnettavaa ympäristöä. Nuolet kuvaavat poikkisuoraa etenemissuuntaa tiealueen laidalta toiselle, ja matkan varrella kartoitetaan Väyläviraston koodeittain kartoituskohteet; maanpinnan hajapisteet, päällysteen reunat, luiskan yläreunat, luiskan alareunat, maaliviivat, on tien keskiviivat/linjat. Edellä mainitut kohteet mallinnetaan viimeistään editointivaiheessa viivamaisiksi kohteiksi, jos ne ovat maastossa kartoitettu pisteinä. (Liikennevirasto 2017b, liitteet 3–9; Tamimi 2020a.)



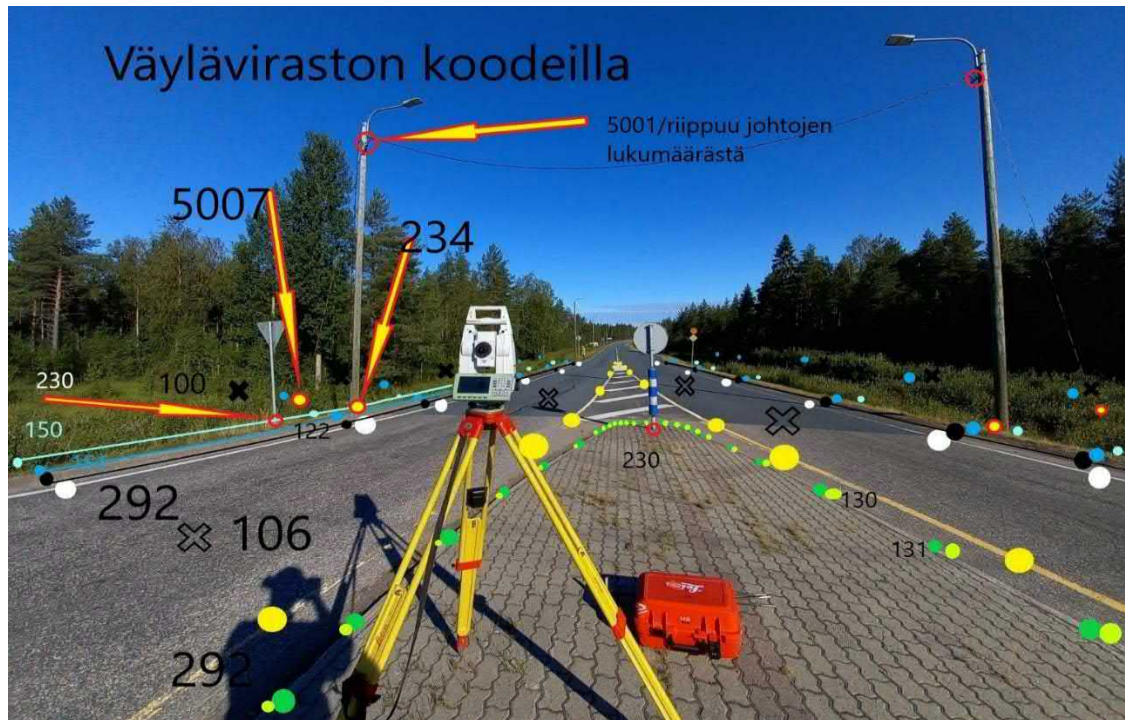
Kuvio 23. Viuhkana, poikittain eteneminen maastomallia tehdessä

Pelkästään pisteinä kartoitetaan liikennemerkin jalusta sekä valaisinpylväs. 5321 tarkoittaa kaksiparista ilmajohtoa, mikä kulkee puisen pylvään kautta. Ellei tilaaja erikseen asiasta mainitse, voi olla makuasia, kartoittaako johdot suoraan sauvan kera eli vain pylvään mittaamalla, vai kartoittaako takymetrin laserilla johdot koukujen/eristeen kohdalta (jälkimmäinen on lieriömäinen objekti), jolloin ilmajohtoilta saa tarkan korkeuden myös. Editointivaiheessa ilmajohtot kulkevat pylvään keskipisteen kautta (Liikennevirasto 2017b, liitteet 3–9, 24, 42).



Kuvio 24. Viivakohteiden ja pisteiden kartoitus

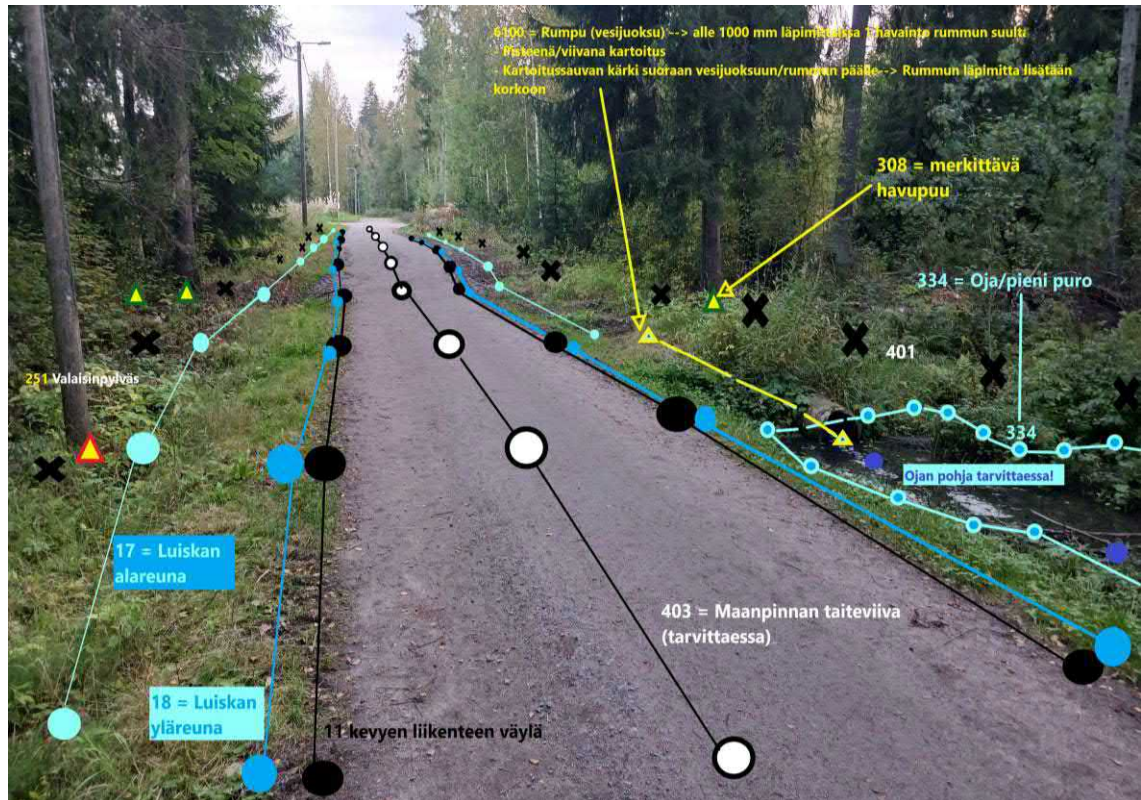
Kuvioissa 24 on havainnollistettu, miten samalta alueelta voi viuhkasta poiketen mallintaa eri tavalla; viivat samanvärisine nuolineen kuvaavat, miten viivakohteita voi kartoittaa viivana ensin yhteen suuntaan, sitten toista viivakohdetta toiseen, esimerkiksi paluumatkalla. Viivakohteita kartoittaessa on mahdollisesti kartoitettu pistemäiset kohteet matkan varrelta. Kuvassa kevyenliikenteen puoli on tällä tavalla kartoitettu, ja ajoneuvoliikenteen tie on jätetty pistemäiseksi kartoituskohteeksi, nämä pisteet, joiden olisi tarkoitus olla maastomallissa viivamaisia kohteita, editoidaan 3D-Winillä pisteistä viivoiksi.



Kuvio 25. Tien risteysalue pohjoisessa Suomessa

Kuviossa 25 on lisää esimerkiksi tien risteysalueen kartoituksesta. 292 on keltaisen maaliviivan kartoitusta pistemäisenä kohteena, 106 on Väyläviraston koo-deissa päällysteen hajapiste, 5007 on pylvään tukivaijeri, "harus." Ilmajohdoista on hyvä käyttää vähintään koodia 5000, jos ei tiedä, millä koodilla muuten mal-lintaisi sitä. Kuvassa on määritelty, että ilmajohdoja kulkee pylvään koukun kautta, (mistä ilmajohdot mitataan kiinni) yksi kappale, mistä juontuu koodi 5001 (Liiken-nevirasto 2017b, liitteet 3–9).

Reunakiven alareuna on koodilla 130 ja yläreuna 131. Ala- ja yläreunan kartoitushavainnot tulisi mitata mahdollisimman vierekkäin, samalta tasolta, mutta luonnollisesti eri korkeudelta Kuvassa ilmenee monta edellä mainittua kohdetta koodeineen, jotka on tässä mallinnettu viivana, kuten 150 luiskan alareuna (Liiken-nevirasto 2017b, liitteet 3–9).



Kuvio 26. Kevyen liikenteen väylän maastomallinnus

Kuviossa 26 on esitetty kevyen liikenteen väylän maastomallin tekemistä Tampereen omilla koodeilla. Paikkana on lenkkeilyreitti, ja huomioitavaa kyseisellä hankkealueella olisi kartoituksen suhteen se, miten rumpu ja oja kartoitetaan, onko alaluiskalla tiestä poispäin yläluiskaa (minkä kartoitus silloin kun se on havaittavissa) vai tasamaata, mistä voi kartoittaa maanpinnan hajapisteitä havainnollistamaan maastonmuodon muutosta (maanpinnan hajapisteellä kartoitus on minimi päällystämättömien pintojen mittaamisessa!).

Maastomallin kartoituksissa on hyvä muistaa, kuten muutenkin kartoituksia tehdessä, että kohteita/koodeja voi myös editointivaiheessa eritellä, jos kentällä ei ole varma, mikä on oikea koodi käytettäväksi. Tämän vuoksi on hyvä valokuvata hankalia tai kysymyksiä herättäviä paikkoja ja/tai kohteita, jolloin voi myöhemmin aineiston editointivaiheessa katsoa kuvaa ja muokata kartoitusaineiston kohteita oikeille koodeilleen, kun on saanut 3D -Winin auki ja katsottua sieltä oikean koodin kohteelle.

4.2 Muut mittaukset yleisesti

4.2.1 Merkintämittaukset

Käytännössä jokaisessa GNSS- tai takymetria käyttävän kojeen tallentimen mitaussovelluksessa on mahdollista valita, tavalla tai toisella, eri pisteiden sekä pisteiden välisten linjojen, tai viivamaisten kohteiden merkintätoiminta, mistä käytetään termiä ”merkintämittaus.” Eri luvuissa on omat mainintansa ja ohjeensa, mitä tulee ottaa huomioon tiettyjen kohteiden merkintämittauksissa. Yleiset periaatteet merkintämittauksessa ovat kuitenkin samat. (Laurila 2012, 266; Tamimi 2020b.)



Kuvio 27. Merkintämittausta pohjatutkimuspisteelle Leican laitteilla (oikea) ja tonttihakkuurajan määrittystä Trimblen laitteella merkintälinjaa seuraamalla (vasen)

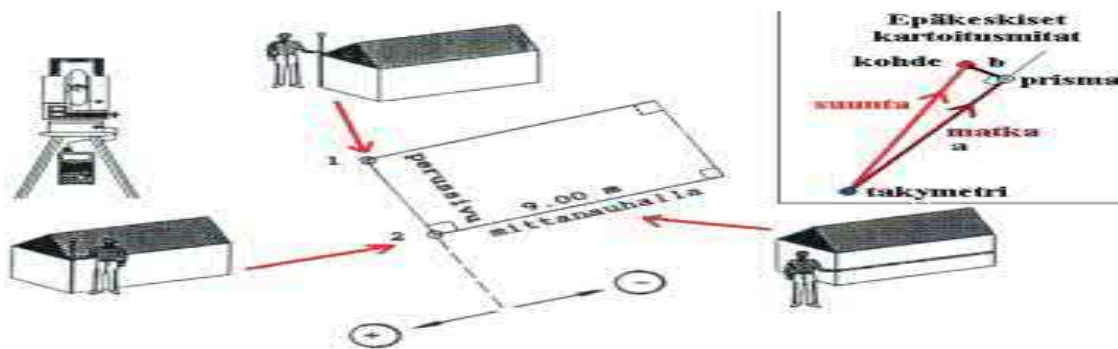
Merkintämittausta voi soveltaa pisteen tai viivakohteen merkintään maastossa, jolloin on olennaista havainnollistaa, onko merkattava kohta juuri siinä kohtaa, missä sen pitäisi olla, sekä tasosijainniltaan että korkeudeltaan. Jos merkattava kohde on eri sijainnissa tai korkeudessa, se pitää ilmoittaa merkinnöin, esimerkiksi maahan asennettavalla puukepillä, johon kirjoittaa tussilla merkinnät, missä kohdin/mihin suuntaan merkattava piste tai linja on kepeistä, ja millä etäisyydellä, ja millä korkeudella. Tämä on siirtomittamenetelmä, mikä edesauttaa silloin, kun merkintämittauksella tuetaan jotakin toimintaa, missä eri tahot tarvitsevat ja hyötyvät tiedosta, mitä maastoon tehdyt merkinnät ilmentävät. Tämä on olennaista etenkin rakentamista tukevissa mittauksissa, tai kiintopisteiden ja rajapyykkien

etsimisessä, mutta tästä on enemmän luvuissa 5 ja 6. (Laurila 2012, 266: Tamimi 2020b.)

Merkintämittaus -toiminto edesauttaa silloin, kun kyse on pisteen tai viivan sijainnin hahmottamisesta maastossa, vaikka ei tarvitsisi mitään fyysisiä merkintöjä tehdä. Voi olla tarpeen hahmottaa tonttirajaa, tulevaa ajotie tai -reunakiviliinjaa, tai kuten kuviossa 27 on esitetty, tonttialueen puunkorjuualueen rajan käymistä läpi. Merkintämittaamisesta voi olla apua myös maastomallin teossa, jos esimerkiksi ei ole varma, onko jotakin tiettyä kohtaa kartoittanut jo; tallentimen näytöltä voi löytyä piste tai viiva, mikä voi ilmentää kohdetta, mikä olisi pitänyt kartoittaa. Näiden kohteiden käyminen läpi merkinnällä voi edes auttaa siten jo kartoitettujen kohteiden läpikäymistä. Merkintämittauksen tukena voi käyttää myös tallentimen ja kartoitustyön näkymään laitettavia dwg tai -dxf -formaattien taustakuvia jo tehdyistä kartoituksista.

4.2.2 Muut kartoitusmittaukset

Voi tulla tilanteita, joissa jokin kohde on mahdollista mitata vain joissakin määrin GNSS-tai takymetrimittauksena, mutta ei kaikilta osin; GNSS-kojeen "lautanen" on liian katvealueella tietyn kartoituskohteen kohdalla, että sen kartoitus ei onnistu, ja takymetrillä, sen laserilla tai kartoitussauvalla, ei ole mahdollista näkö-esteen takia kartoittaa jotakin tiettyä kohdetta. Tällaisia kohteita voi olla useampi, joita ei voi kartoittaa näiden häirttekijöiden takia (Laurila 2012, 264–265).

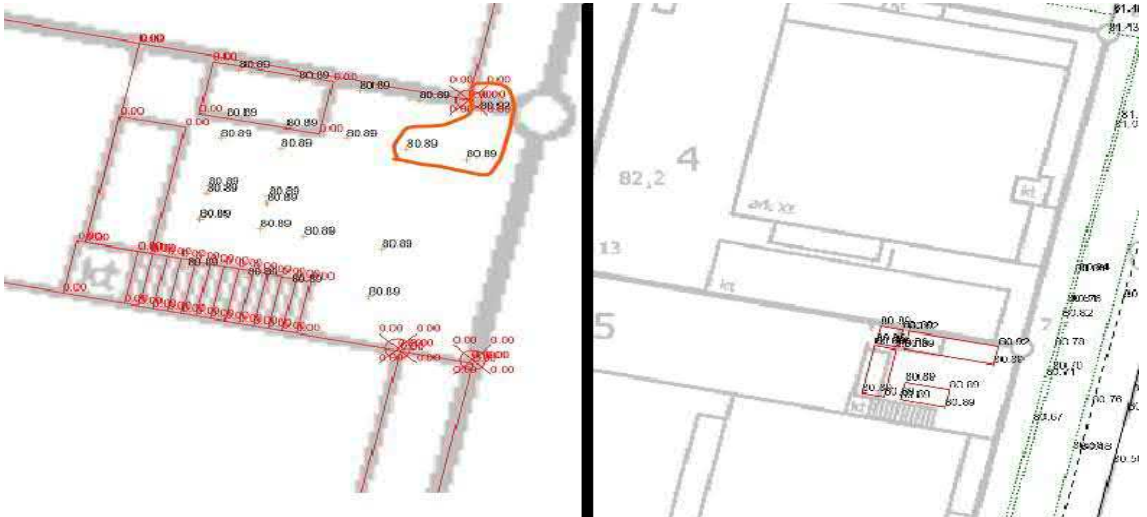


Kuvio 28. Mittanauhakartoitus takymetrin luomien lähtöpisteiden pohjalta (Laurila 2012, 263)

Haittatekijöinä tällaisia esteitä voivat aiheuttaa runsas pensaikko tai puusto, rakennukset ja rakenteet. Tyypillinen tilanne on sijaintikatselmuksen tekeminen rakennukselle, joka on pitkälle valmis, sillä on katto, mikä estää esimerkiksi GNSS-kartoituksen tekemistä. Tällaisen rakennuksen kohdalla voi olla myös sekin, että sen toinen puoli on korkean puuston alapuolella, mikä aiheuttaa myöskin haittaa GNSS -kartoitukselle. Takymetrillä kartoitus olisi muuten toimiva keino, mutta rakennuksen muoto ja kulmat aiheuttavat sen, että kojeasemia pitäisi pystyttää pari, ehkä enemmänkin, jos rakennuksen haluaa kartoittaa, ja kojeasemien pystyttäminen ja kojeen orientointi aiheuttaa oman vaivansa (Laurila 2012, 264–265).

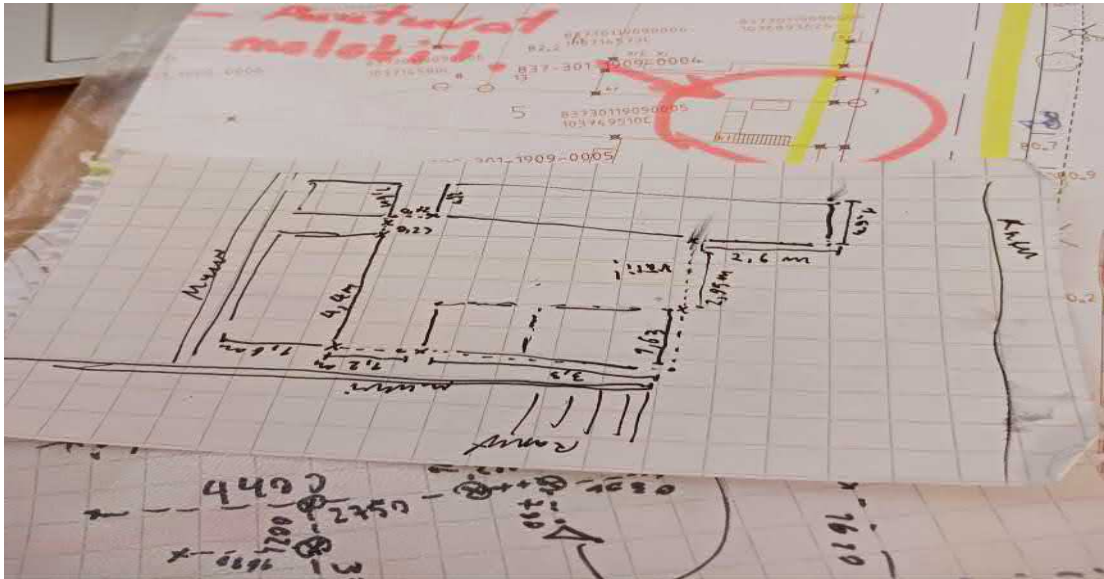
Tällaisessa tilanteessa hyvä, toimiva ratkaisu on mitata kuvion 28 mukaisesti vähintään kaksi kulmaa rakennuksesta, jotka toimivat ”lähtöpisteinä,” ja mitata muuten rakennuksen mitat mittanauhalla, piirtäen ja kirjoittaen muistiin mittanauhalla mitatut mitat ja suunnat mitatuilta kulmilta. Tällaisten muistiinpanojen pohjalta on suhteellisen helpompaa editoida aineisto 3D -Winillä muuten, lähtöpisteiden pohjalta. Mittanauhan pää vedetään ja kohdistetaan kulmiin, etäisyys kirjataan vähintään sentin tarkkuudella muistiin, piirretään kulman suunta, ja edetään seuraavalle pisteelle. (Anttila ym. 2003, 35; Laurila 2012, 264–265.)

Kun GNSS -kojeella tehdään näitä lähtöpisteitä, on huomioitava mahdollisesti jo olemassa olevan katon aiheuttama katve satelliittigeometriaan. GNSS -kojeella on kuitenkin mahdollista mitata lähtöpisteet rakennukselle, kunhan ottaa etäisyyttä siten, että katto ei ole kojeen päällä. Lähtöpisteen ja kulman etäisyys on myös piirrettävä ja kirjoitettava paperille muistiin. Kuviot 28 ja 29 ovat esimerkkitapauksia, miten on mahdollista kartoittaa edellä mainituilla tavoilla.



Kuvio 29. Jäteastioiden mittauksen editointia ja lisäykset kanta kartan ja Stellan rakennusosion ollessa taustalla

Kuviossa 29 on rakennuksen nurkkapisteillä 210 mitatut jäteastioiden reunat vasemmassa kuvassa, minkä taustalla on pohjakartta ja Stella-tiedosto rakennusten sijainneista; oranssilla on ympyröity nurkkapisteet, mitkä on mitattu maastossa GNSS-mittauksena. Loput nurkkapisteistä on mitattu mittanauhalla, jäteastioiden ulottuvuudet ja välit huomioiden. Mittanauhamittaukset oli kirjoitettu paperille muistiin, mihin tehtyjen merkintöjen avulla 3D -Winissä pystyi suorakulmaisella laskennalla laskemaan puuttuvat pisteet jäteastioiden nurkille. Oikealla kuvassa on lopputulos tästä kartoituksesta, missä jäteastiat on mallinnettu muun rakennusviivana punaisella värillä pohjakarttaa vasten. Kuviossa 30 on kentällä tehty piirros kartoituksesta.



Kuvio 30. Paperille piirretty kartoitus

4.3 Muut mallinnukset: Drone, maalasereilain ja niitä tukevat mittaukset

Laserkeilaus perustuu yleisesti siihen, että kyseisellä menetelmällä mittaava koje lähettää laitteesta laserpulsseja kartoitettavan ympäristöön, ja nämä pulssit kimpoavat osumispinnoilta takaisin laitteelle. Tämän pulssin kulkuajan perusteella saadaan laskettua mitatun pinnan kohteen eli pisteen etäisyys paikastaan kojeseen. (Laurila 2012, 269–272; RT 103133 2019, 1.)

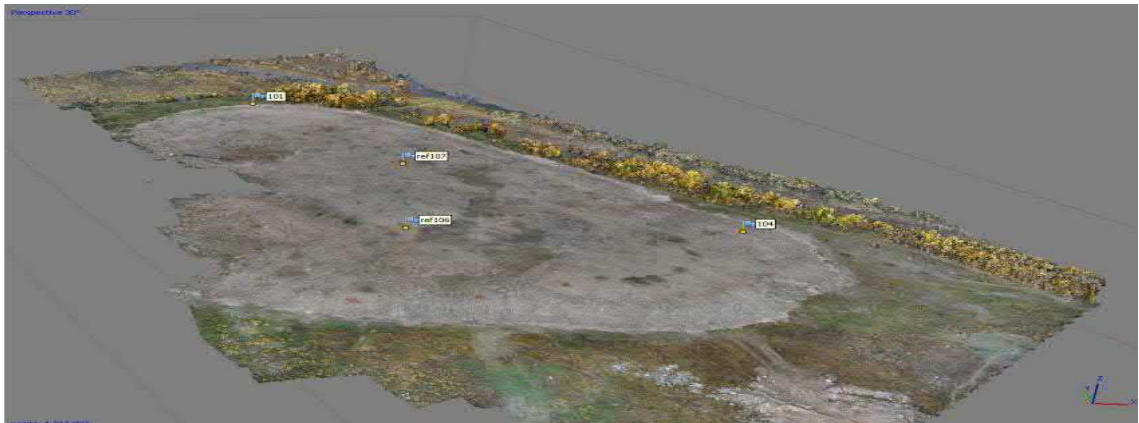
Eli laserkeilaus perustuu takymetrimittauksen tapaan etäisyyksien ja suuntien mittaukseen, ja kun keilaavan kojeen oma sijainti- ja korkeus on tiedossa, saadaan mitatulle, kolmiulotteiselle pisteaineistolle eli pistepilvelle ja sen pisteille omat koordinaatit ja korkeudet. Pistepilvidatan avulla voi muodostaa eri mallinnustuotteita, kuten pintamallin, joka ei itsessään erittele välttämättä keilattuja kohteita toisistaan (kasvillisuus, rakennukset, maanpinta jne.), tosin aineistonkäsittelyohjelmassa, joita Tampereen Infralla ovat Cyclone ja Pix4D, tämä voi olla ja yleensä on pitkälle mahdollista, tosin tässä tarvitaan vielä manuaalista aineiston läpikäyntiä yleensä jo varmuuden vuoksi. (Laurila 2012, 269–272; Nordic Drones 2023a & 2023b; Pix4D 2023a; RT 103133 2019, 1.)

Keilatun aineiston generoinnissa käytetään hyväksi kojeen ottamia kuvia, jolloin keilatuille kohteille saadaan niiden todellisuutta vastaavat värit luotua pistepilviaineistoon (tekstuurit). (Laurila 2012, 269–272; Nordic Drones 2023a & 2023b; Pix4D 2023a; RT 103133 2019, 1.)

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään pintapuolisesti kyseisillä kojeilla tehtäviä mallinnuksia, pääpainon ollessa siinä, että näitä kojeita muuten käyttämätön kartoittaja on näiden kojeiden tekemiä mallinnuksia tukevissa kartoituksissa.

4.3.1 Dronella tehtävät mallinnukset ja sitä tukevat mittaukset

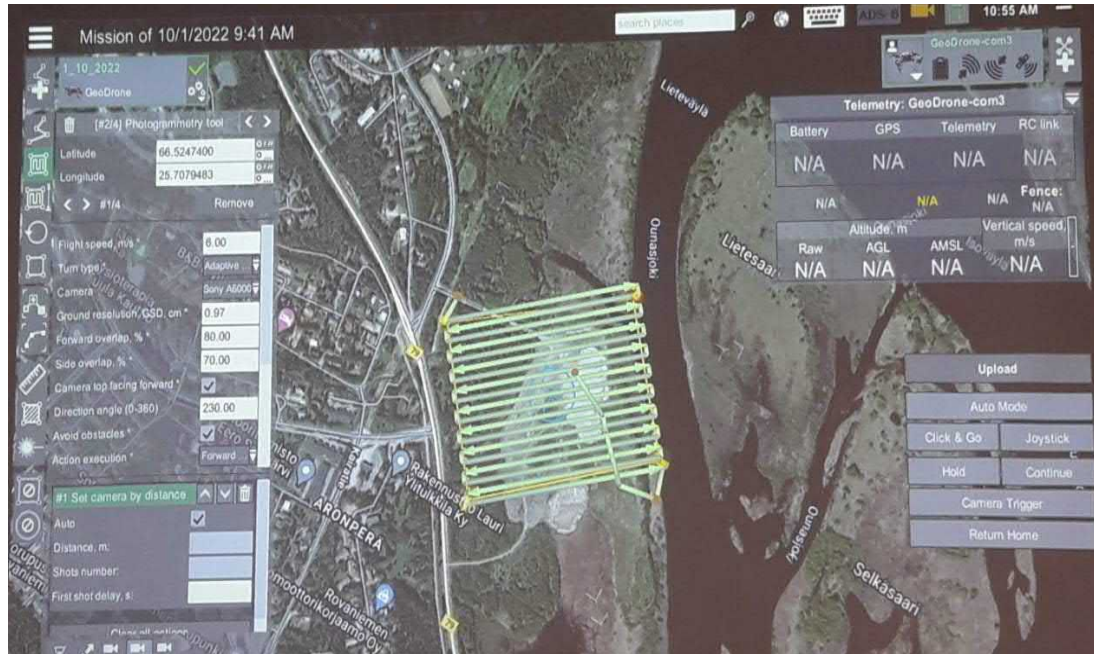
Luvussa 3 havainnollistettiin Tampereen Infran käyttämää dronea, jonka kartoittamaa aineistoa editoidaan ja tarkastellaan Pix4D Mapperin ohjelmassa. Ohjelmassa pintamallin generoinnissa käytetään hyväksi dronen ottamia ilmakuvia, jolloin keilatuille kohteille saadaan niiden todellisuutta vastaavat värit luotua pistepilviaineistoon. Dronessa oleva inertiamittausjärjestelmä edesauttaa ilmakuvien ja pisteaineiston koordinaattien ja korkojen mittaamista. (Laurila 2012, 269–272; Liikennevirasto 2017a, 20–22; Nordic Drones 2023a & 2023b; Pix4D 2023a.) Kuvio 31 havainnollistaa dronella keilatua aluetta aineiston käsittelyssä



Kuvio 31. Matalalaatuinen pistepilvi dronella keilatusta alueesta, referenssipisteineen

Dronella voidaan toteuttaa myös fotogrammetrisia mittauksia, missä lukuisilla eri kuvilla samoista kohteista ja alueista saadaan ylilennettyjen kohteiden ulottuvuudet ja mitat selville. Dronella tehtävillä kartoituksilla edesautetaan rakentamista hyödyttävien mallien ja maa-aineskasojen tilavuuden laskennan lisäksi kantakartan ylläpitoa, maankäytön ja liikenteen tilanteen ja muutosten seuranta. Oskari-

karttapalveluun tuotetaan myös aika ajoin dronella kuvattuja ilmakuvia Tampereen alueelta. (Laurila 2012, 269–272; Nordic Drones 2023a & 2023b; Pix4D 2023a; Tietoa Finland Oy 2023.)



Kuvio 32. Ground Station-lentosuunnitteluohjelma

Lentoa varten tulee suunnitella etukäteen, sekä kuvaus- ja tekniseltä kannalta, että lennon mahdollistavilta kannalta. Lentosuunnitelman tekemisessä kirjallisesti etukäteen pystyy määrittelemään omat jatkotoimet lennon toteuttamiseksi. Lentosuunnitelma kannattaa ja pitääkin tehdä kirjalliselle pohjalle, missä pitäisi määritellä muun muassa seuraavassa kappaleessa mainitut asiat. Kirjallinen lentosuunnitelma ja sen tiedot ovat pohja myös lennonsuunnitteluohjelma Ground Stationissa tehtävää suunnittelua varten, minkä näkymää on havainnollistettu kuviossa 32. Siinä on suunniteltu lentoreitti korkeuksineen, reitteineen, pituus- ja sivupeittoineen ja nousu- ja laskeutumiskohtineen määrittää lennettävän dronen lentoa. (Laurila 2012, 272; Nordic Drones 2023a & 2023b.)

Tavoiteltavan keilaus- ja kuvausmateriaalin vuoksi on määriteltävä muun muassa pituus- ja sivupeitto lennolle, mitkä ovat yleensä molemmat 80 prosenttia, Liikenneviraston vähimmäisvaatimuksen ollessa 70 prosenttia molemmille. Muita määritettäviä lennon reitti ja kartoitettava alue sekä lentokorkeus, sekä mitkä tekijät huonon sään lisäksi rajoittavat lennon toteuttamista; onko kuvausalueella täysi lentokieltoalue vai onko jossakin lennon suunnassa jokin alue, mikä ei kuulu

kuvattavaan alueeseen, mutta mistä ei pitäisi ainakaan julkisuuteen julkaista kuvamateriaalia. (Droneinfo.fi 2023; Liikennevirasto 2017b, 34; Maanmittauslaitos 2003, 18–19.)

Tällaisia kohteita ovat Puolustusvoimien ja muuten yhteiskunnalle tärkeät infra-kohteet. On kuitenkin paljon erillisiä lentokieltoalueita, joissa kuitenkin luvanvarainen lennätys on sallittua. Erittäin paljon on lentorajoitusalueita laajuudeltaan sekä korkeudeltaan, kuten Tampere, ja monen muunkin kaupungin keskusta, enimmäislennätyskorkeus on 50 metriä. Lentokielto- ja rajoitusalueet voivat olla pysyviä, tai tilapäisiä. Tällaiset rajoitus- ja kieltoalueet ovat nähtävissä Aviamapsin, nykyisen Flykin sovelluksessa, mistä voi havainnoida päivittäisen ilmatilan käyttöä ja tilaa, ja mikä tulee etukäteen tarkastaa ennen lennätystä. Lentokielto- ja rajoitusalueiden ulkopuolella enimmäislennätyskorkeus on 120 metriä. Droneen tulee pitää näköyhteys sitä lennätettäessä (Droneinfo.fi 2023; Flyk 2023.)



Kuvio 33. Signaaleita ilmakuvauksia varten: Tampereen Infran dronekeilausten tähys (vasemmalla), ristitähyksen mittaus GNSS-mittauksella lentokoneella tehtävää ilmakeilausta varten (oikealla)

Ympäri dronella mallinnettavaa aluetta sirotellaan kattavasti ja näkyvästi säännönmukaisia ja säännöllisen mittaisia tähyksiä/referenssipisteitä, tai toiselta nimeltään signaaleja, joiden keskipiste on mitattu joko tarkalla RTK GNSS -mittauksella, missä samalle pisteelle on laskettu useampi havaintosarja keskiarvon laskemiseksi, tai sitten tämä tähys on mitattu takymetrilla, joka on myös orientoitu

tarkasti. Tähysten määrä kartoitettavalla alueella ja näiden tähyksien koko riippuu kartoitettavan alueen koosta ja mittausluokasta. (Geotrim 2023; Laurila 2012, 272; Liikennevirasto 2017b, 21–25, 34; Maanmittauslaitos 2003, 18; Pix4D 2023a.)



Kuvio 34. Signaali ja referenssipiste käsittelyaineistossa

Tähykset on tehtävä ja sijoitettava tasaisille pinnoille siten, että ne ovat havaittavissa aineiston käsittelyvaiheessa, eli näkyvyys taivaalle on selkeä, ja varjoja aiheuttavia rakenteita tai puustoa ei ole liian lähellä. Tällaisia tähyksiä pitäisi sijoittaa noin 500 metrin välein. Nämä tähykset toimivat referenssipisteinä, ja ne erottuvat ilmakuvista, jolloin käsiteltävä aineisto voidaan sitoa niihin, ja niin ilmakuvat ja pistepilvi saavat koordinaatti- ja korkeustiedon. (Geotrim 2023; Laurila 2012, 272; Liikennevirasto 2017b, 21–25; Maanmittauslaitos 2003, 18; Pix4D 2023a.)

Kuviot 33 -34 havainnollistavat tällaisia tähyksiä ja niiden mittaamista.

Tähysten mittaaminen kiinni, kenties niiden paikan valitseminen ohjeen mukaan tai niiden etsiminen voi tulla kyseeseen kartoittajalle, joka ei säännöllisenä toimenaan tee dronekeilauksia ja siihen liittyvää aineiston käsittelyä, mikä vaatii omat ohjelmansa, aikansa ja vaivansa. Kyseisen tähyksen, on erotuttava ympäristöstään selkeästi, sekä kentällä että aineistossa itsessään, tämä helpottaa aineiston sitomista koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään. Tähyks voi olla pinnalle, kuten päällysteelle maalattu, tai sitten tähyksipohja voidaan asentaa päällystämättömälle

pinnalle, kuten nurmikolle, esimerkiksi purulevynä tai paperina. (Geotrim 2023; Liikennevirasto 2017b, 21–25, 34; Pix4D 2023a.)

Tähyksiä sijoitetaan siten, että ne kattavat lennettävän alueen siten, että ne ovat jonkin verran lennettävän alueen rajojen ulkopuolella, näin ei synny vääristymää koordinaatti- ja korkeustiedon tarkkuuden ja laadun suhteen. Lennettävän alueen sisällä on myös oltava vastaavia tähyksiä kontrollipisteinä. Isoissa infrahankkeissa voi olla tarve tehdä myös korkeuspisteruudukkoja 2 -3 tasaiselle kohdalle hankealueen sisällä, jotka mitataan takymetrillä, ja ne voivat olla kooltaan esimerkiksi 2,0 x 2,0 metriä, joiden sisältä mitataan takymetrillä 10 -20 senttimetrin välein havainto eli piste, kunnes tämä ruudukko on mitattu täyteen näillä väleillä olevia pisteitä. (Liikennevirasto 2017b, 21–25, 34; Maanmittauslaitos 2003, 18.)

4.3.2 Maalaserkeilaimella mallinnus ja sitä tukevat mittaukset

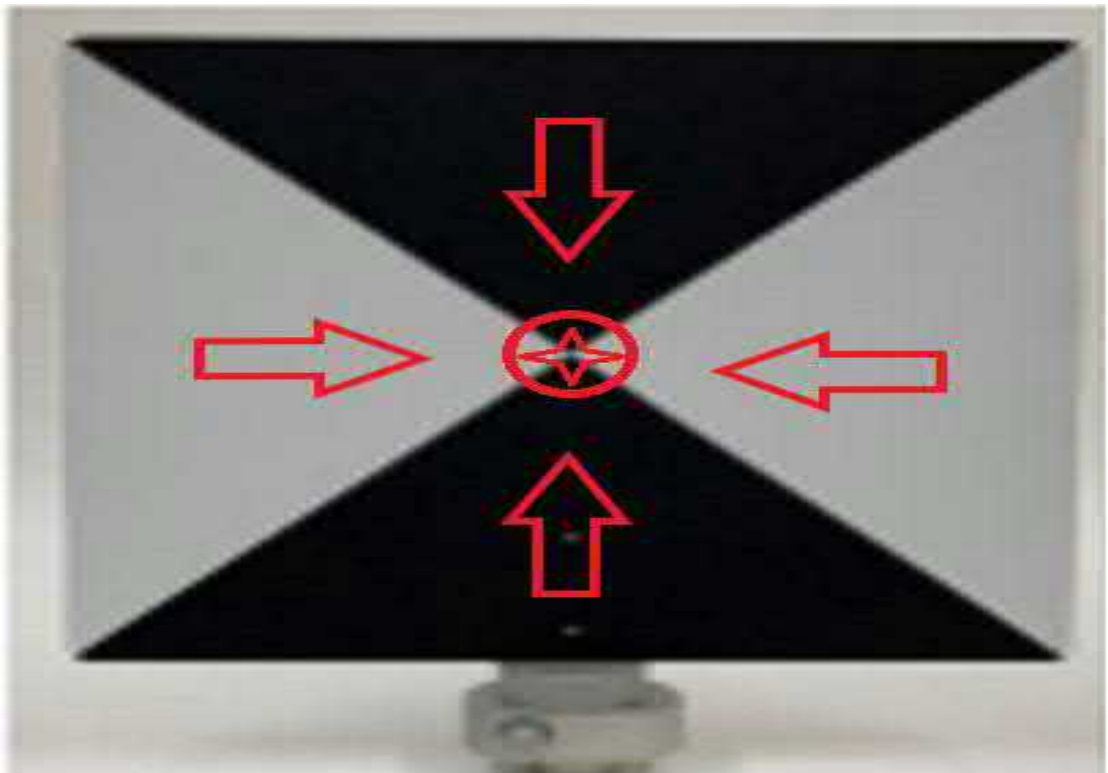
Laserkeilain, kuten luvussa 4.3 on mainittu, lähettää valopulssia takymetrin tapaan laserina keilaimen ympäristöön, mistä valopulssi heijastuu kojeelle takaisin, luoden pistepilven keilatun ympäristön muodoista ja kohteista. Leican kaltaista, pelkkää laserkeilausta tekevää kojetta ei sellaisenaan saada orientoitua kentällä tehtävissä mittauksissa, vaan aineisto kiinnitetään aineiston käsittelyvaiheessa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään rekisteröintidatan avulla (Liikennevirasto 2017a, 24).



Kuvio 35. Leican laserkeilaimen tallennin (vasen), ja keilain rakennuksen katolla tähyksen vieressä (oikea) (Leica Geosystems 2021; Tampereen Infra Instagram 2022a.)

On olennaista, oli kyseessä laserkeilain tai yhdistetty takymetri -laserkeilain, että ympäri mallinnettavaa aluetta on siroteltu kattavasti ja näkyvästi kuvioiden 36 ja 37 mukaisia tähyksiä/referenssipisteitä, tai runkopisteitä, liitospisteiksi, joiden keskipiste on mitattu takymetrin lasermittauksena. (Laukkanen 2023, 11; Laurila 2012, 272–273; RT 103133 2019, 2.)

Tällainen tähysten asettelu ja mittaaminen voi olla sellaisenkin kartoittajan tehtävä, joka ei laserkeilauksiin välttämättä muuten osallistuisikaan. Itse kentällä laserkeilaus, sen valmistelu ja etenkin keilatun aineiston käsittely on oma tehtävänsä ja vaivansa. Yleensä keilaukset kohdistuvat rakennukseen, sen sisä- ja ulkotiloihin, tai johonkin rakenteeseen, kuten siltaan tai sen osaan.



Kuvio 36. Mihin kohti tähystä pitää takymetrillä mitata (Laukkanen 2023, 11)

Tähyksiä tarvitaan vähintään kolme kappaletta yhden pistepilven, esimerkiksi yhden rakennuksen tilan keilaamista varten, mutta käytännössä tähyksiä pitää olla enemmän, etenkin kun tiloja on rakennuksen sisällä ja ulkopuolella tavallisesti monta keilattavana, ja vähintään kaksi tähystä pitää olla liitospisteinä seuraavan tilan keilausta varten, jotta kaiken kaikkiaan keilattu pistepilviaineisto rakennuksesta on mahdollisimman yhtenäinen ja eheä. Tähyslaput, etenkin paperiset, on

hyvä numeroida etukäteen näkyvästi, jotta aineiston käsittelyssä on selkeästi havaittavissa tähykset tunnuksineen, ja paikan päällä tähysten takymetrimittauksissa voi tallentimeen syöttää mitattavan tähyksen tunnuksen. (Laurila 2012, 272– 273; RT 103133 2019, 3.)

Kuvion 36 mukaisesti takymetrillä tähdätään keskelle tähyistä, missä mustavalkoruudukot kohtaavat, näin tähyksille mitataan koordinaatti ja -korkeussijainti. Tähysten koordinaatti- ja korkeus on takymetrimittauksen jälkeen siirrettävässä tiedostomuodossa aineiston käsittelyohjelmaa varten, missä etsitään tämän tiedoston vastaava tähy keilauksen näkymästä, referointia eli aineiston koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään sitomista varten. (Laurila 2012, 272–273).



Kuvio 37. Takymetrillä tähysten mittaus rakennuksen sisäosien laserkeilausta tukien

Takymetri orientoidaan normaalilla tavalla esimerkiksi tähystarroista, joita on ripoteltu keilattavan alueen laitamille siten, että ne kattavat mallinnettavan kohteen, kuten rakennuksen, eli takymetrin orientointi onnistuu rakennuksen ulkopuolisista tähystarroista. Mallinnettavia kohteita on kuitenkin yleensä rakennuksen sisällä, minne tähystarroja ei laiteta, sillä takymetrin orientointi onnistuu myös juuri mitatuista tähyksistä. Tämä on kätevää rakennuksen sisällä, kun edetään

huoneista ja käytäviltä toiseen. Takymetrin orientoinnin periaate on sama kuin normaalistikin, eli orientointipisteiden on katettava mitattava alue, ja pisteiden on hyvä olla hieman alueen ulkopuolella (Laurila 2012, 272–273).

Yksi kartoittaja voi aloittaa tähyksien mittauksien ennen keilausta, ja toinen voi seurata keilaimen kanssa ”perässä.” Itse keilaimen toiminnot, kuten keilattavan tilan määrittely ja keilauksen asetukset, tehdään keilaimen tallentimelta käsin, mikä on Leican kohdalla tabletti, ja jonka ruudulta keilauksen etenemistä voi seurata paikan päällä, kuvan 35 mukaisesti. Keilaimen käyttö sinällään ei ole vielä Infran kartoittajan päivittäinen työkalu, tähyksen mittaus voi olla. On kuitenkin hyvä tietää, mitä keilauksessa ja pistepilven käsittelyssä tehdään.

Laserkeilausaineiston referointi voidaan tehdä ennen tai jälkeen aineiston pistepilven varsinaista käsittelyä, riippuen myös käsittelyohjelmasta. Keskeistä on pistepilviaineiston läpikäyminen ja ylimääräisten, sekä päällekkäisten pisteiden ja pistejoukkojen karsiminen ja suodattaminen aineistoista, jotta aineistosta saadaan mahdollisimman tarkka ja eheä kokonaisuus. Tampereen Infran käsittelyohjelma laserkeilaimella tehdyn pistepilviaineiston käsittelyyn on Leican Cyclone. (Laurila 2012, 272–273; RT 103133 2019, 2, 4–5.)

Karsittavia pisteitä voi syntyä muun muassa ikkunan heijastuksista, ylimääräisestä taustaympäristöstä (liikenne ja läpikulkevat ihmiset), mitä ei haluta valmiiseen malliin, ylimääräisistä kalusteista ja henkilöistä keilausalueella ja näiden varjoista. Tällaisia aineiston käsittelyä haittaavia tekijöitä voi tosin karsia keilattavasta tilasta, esimerkiksi ikkunoiden peittämisellä ja estettä aiheuttavien huonekalujen siirrolla. (Laurila 2012, 272–273; RT 103133 2019, 4–5.)

Ulkona tehtävät keilaukset tehdään tyynenä päivänä sulan maan aikaan, sillä vesisade, kosteus, kylmyys, pimeys ja lumi aiheuttavat virhettä ja haittaa joko kojeelle, aineiston käsiteltävyydelle tai molemmille. Pistetiheys on riippuvainen etäisyyksistä, mikä on sekin kojeella säädettävissä, periaatteessa etäälläkin, yli 130 metrin päässä olevat kohteet saavat hyvän ”ryöpyn” pisteitä kuten luvussa 3 on kerrottu. (Laurila 2012, 272–273; RT 103133 2019, 4–5.)

On kuitenkin varmistuttava, mikä on haluttu pistetiheys mitattavasta kohteesta, ja voi olla hyvästä keilata lähempääkin jo etäältä keilattuja kohteita. Laserkeilausta

tehdään paljon rakennuksen sisätiloista, eli eri huoneita on pakostakin keilattava, ja keilattuja pistepilviä voi olla päällekkäin muun muassa käytäviin. Pistetiheydelle on omat tarkkuus- ja laatuvaatimuksensa, esimerkiksi pistepilven pisteväli pitäisi olla 5-20 millin väleillä rakennusten sisällä tehtävissä keilauksissa. (Laurila 2012, 272–273; RT 103133 2019, 5–6.) Leican laitteella ja sovelluksella voi seurata keilauksen etenemistä paikan päällä, kuvion 38 mukaisesti.



Kuvio 38. Keilauksen eteneminen (Leica Geosystems 2023b)

Mallintamisessa ja aineiston käsittelyssä edesauttaa sekin, että keilain tallentaa pisteiden koordinaatti- ja korkeussijainnin lisäksi takaisinpalautuvan laserpulssin signaalin voimakkuuden eli intensiteetin, mikä on riippuvainen keilatun kohteen etäisyydestä ja sen pinnan ominaisuuksista. Signaalin voimakkuus on esitettävissä harmaa- tai monivärisävyeroina, joiden avulla on eroteltavissa keilattujen pintojen tekstuuria, kuten kuvioita ja tekstejä. Värit kohteille saa keilaimen kameran kuvasta, jonka avulla pistepilven kohteille voidaan antaa mahdollisimman hyvin sellaiset värit, kuin ne todellisuudessa olisivat (Laurila 2012, 272–273).

5 VIRANOMAISMITTAUKSET

Viranomaismittaukset kattavat Tampereen Infran tarjoaman lakisääteisen palvelun etenkin Tampereen kaupungin rakennusvalvonnan ja kiinteistönmuodostuksen tehtäville, missä kentällä tehdään tarvittavat mittaukset kaupungin tehtäviä tukien. Kunnalle kyseiset tehtävät on annettu maankäyttö -ja rakennuslaissa, missä kunnan tulee huolehtia, että rakentaminen ylipäättään tapahtuu, kuten laissa on säädetty, rakennus ja sen korkeusasema on merkitty rakennuttajalle hyväksytyjen rakennuspiirustusten mukaan. Sijaintikatselmus on osa laissa mainittua rakennuksen katselmusta. (MRL 1999/132 § 17:124, 20:149 b, 20:150.).

5.1 Rakennusvalvonnan mittaukset

Rakennusvalvontamittauksista keskeisiä rakennusvalvonnan mittauksia ovat rakennuksen paikan merkitseminen maastoon ennen rakentamisen alkua, ja rakennuksen sijaintikatselmus, kun rakennuksen perustan rakenteet eli vähintään sokkelit on rakennettu. Mittaukset ovat osa rakennuslupavalvonnan prosessia, missä valvotaan, että onko rakennuksen rakentaminen tehty sille myönnetyn luvan, hyväksytyjen piirustusten ja laissa asetettujen vaatimusten mukaisesti, ja mittauksilla tuetaan tätä prosessia. (Tampereen kaupunki 2023a; Tampereen kaupunki 2023b; Tampereen kaupunki 2023c.)

Rakennusvalvonnan mittausdata editoidaan 3D-Winissä, ennen datan siirtoa Stellaan, mistä rakennuksen nurkkapisteet/seinälinja siirretään kantakartalle. Facta -järjestelmässä tehdään kirjaus siitä, minkä toimenpiteen on kyseiselle rakennusluvalla tehnyt (merkintä/sijaintikatselmus), kuten myös QGisissä tehdään kartta-aineistolle (attribuutti/ominaisuusvalikossa) merkintä luvan kohteelle.

5.1.1 Rakennuspaikan merkintä maastoon

Rakennuksen merkintämittaus tehdään ennen sen rakentamista asiakkaan tilauksesta, sen jälkeen, kun rakennuslupa on saanut hyväksytyt, lainvoimaisen päätöksen (Tampereen kaupunki 2023b). Rakennuksen paikasta merkitään vähintään neljä kulmaa, harjateräksillä, mitkä isketään esimerkiksi vasaralla tukevasti maahan, mahdollisimman keskelle aiottua nurkkapistettä. Rakennuksen

nurkkapisteet merkitään maastossa merkintäaineistoon tukeutuen, mikä on 3D-Winissä editoitu ja siten ladattu tallentimeen. Maastossa merkintä tapahtuu joko GNSS-paikannuksella tai takymetrillä. (Laurila 2012, 266–268; JHS 185 2014, 9.)



Kuvio 39. Rakennuspaikan merkintä maastoon, missä myös rakennuttaja on merkinnyt nurkkapisteet

Rakennuksen paikan merkintä voidaan jakaa esimerkintään ja varsinaiseen merkintään. Esimerkinnässä rakennuksen sijaintitieto on tarpeen, kun halutaan laittaa rakennekerrokset vaaditulla tavalla ja katsoa, miten rakennuksen alle asennetaan kuivatusta tehostavat salaojaputket, sekä miten muut liitokset (vesi- ja viemäri) tullaan asentamaan. Varsinaisessa merkinnässä valetaan rakennuksen perusta eli anturat ja sokkelit merkitylle paikalle paikalleen siten, kuin rakennuksen sijainti on osoitettu merkinnän avulla. (Laurila 2012, 266–268; JHS 185 2014, 9.)

Merkintämittauksessa, kun mitataan merkinnän yhteydessä harjateräksen asennussijainti, mitä havainnollistetaan kuviossa 40, voidaan tehdä samalla oma laaduntarkastus siitä, että merkinnän yhteydessä harjateräkset on asennettu haluttuun paikkaan halutulla tarkkuudella; mieluiten 0 -tarkkuudella täsmälleen haluttuun paikkaan, mutta 20 millin tarkkuus on riittävä rakennuspaikan merkitsemiseksi, sillä harjateräs yleensä laitetaan soralla päällystettyyn rakennekerrokseen pystyyn, missä sorarakeet muutenkin vaikuttavat harjateräksen uppoamiseen ja pysymiseen paikallaan. Kuitenkin, tällaisessa merkintämittauksessa on kysymys merkintöjen keskinäisen tarkkuuden tarkastamisesta. (Laurila 2012, 266–268; JHS 185 2014, 9.)

Sitä paitsi voi olla, että kyseisiä rakennekerroksia ei olla edes vielä laitettu ja tiivistetty rakennuksen alle, kuten esimerkinnässä voi olla tapana, joskus jopa rakennuksen varsinaisessa merkinnässä. Kuviot 39, 40 ja 41 havainnollistavat harjaterästen asentamista ja niiden mittaamista paikalleen. Harjateräs asennetaan vasaran/moskaa iskemällä teräksen yläpäähän. Teräksen päihin saatetaan laittaa muovisia, oranssisia varoitteita, jolloin harjateräkset erottuvat maastossa paremmin, työturvallisuutta lisäten (Haucon 2023).



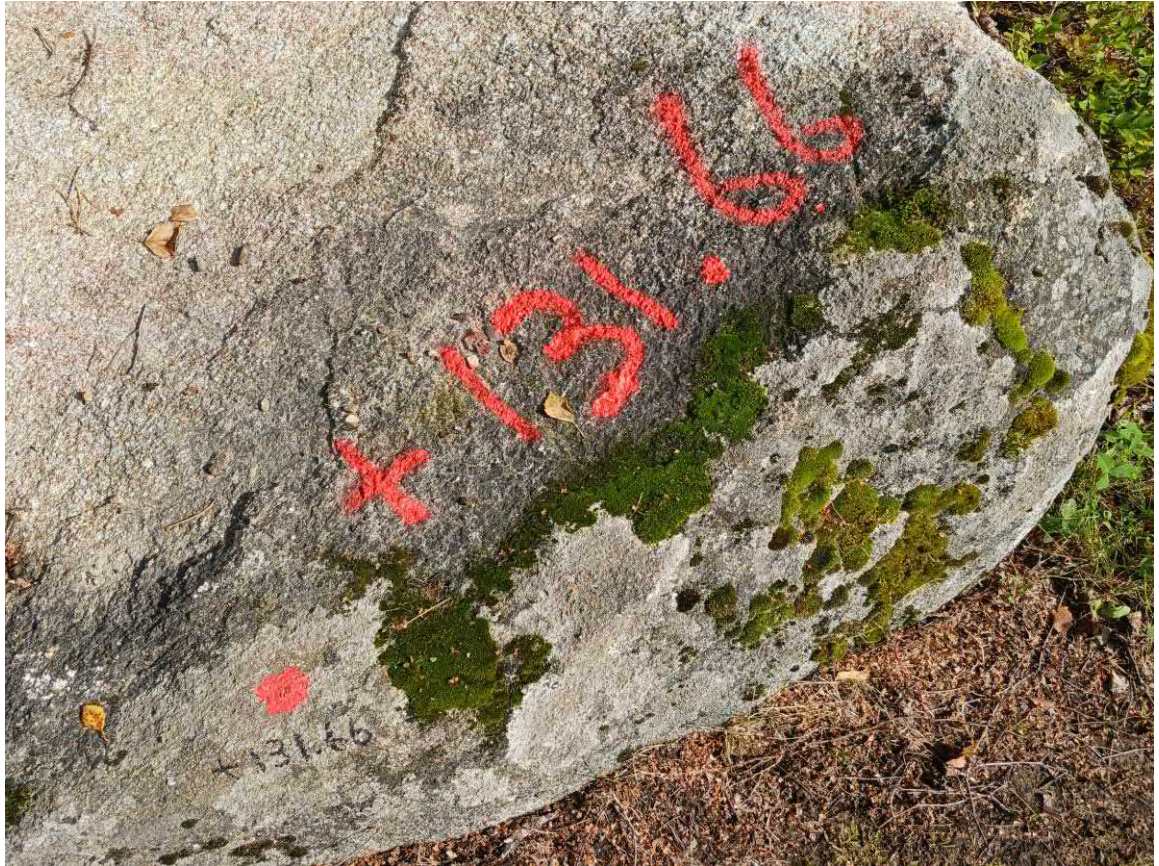
Kuvio 40. Rakennuksen merkintä maastoon harjateräksellä

Rakennuspaikan merkinnässä toimitetaan sen rakentamista palveleva korkeussijainti, mistä rakentajat hakevat ja vertaavat tasolaserilla työmaan korkeuksia, kun esimerkiksi rakennekerroksia luodaan rakennuksen alle. Korkeussijainti voidaan merkitä esimerkiksi spraymaalilla maahan tai sähköjakokaapin reunaan, mihin tehdään vähintään kerran, mieluiten useampi mittaushavainto samalla pistetunnuksella (keskiarvon laskeminen määrittää tuloksen) GNSS-mittauksena Kuvio 42 havainnollistaa korkeuden merkintää. (Laurila 2012, 217–218, 266–268; JHS 185 2014, 9.)



Kuvio 41. Rakennuspaikan merkintää maastoon välineineen

Mitattu korkeus on merenpinnan korkeus, ja se merkitään plussalla tai miinuksella, riippuen mikä on merenpinnan korkeus kohteessa, Tampereella korkeus on luonnollisesti "plussalla." Tarkkuus pyöristetään millimetreistä lähimpään senttilukemaan, esimerkiksi merkintä voi olla + 131.658, mikä pyöristyy lukemaan + 131.66.



Kuvio 42. Rakennuspaikan korkeuden merkintä kiveen (punainen täplä)

5.1.2 Rakennuksen sijaintikatselmus

Rakennukselle tehdään sijaintikatselmus kuvion 43 mukaisesti, kun sen lattiat ja seinän ulkoverhoukset, vähintään perusta, eli lähinnä sokkelit, on valettu pystyyn, vastaavan työnjohtajan tilaamana. Sen voi tosin tehdä periaatteessa myöhemminkin, jos esimerkiksi rakennukseen on tullut lisää kerroksia, mutta kuitenkin ennen rakennuksen käyttöönottotarkastusta. Tarkoituksena sijaintikatselmuksessa on todeta, että rakennuksen sijainti, sen korkeusasema ja päämitat ovat hyväksytyjen piirustusten mukaiset (Tampereen kaupunki 2023b).

Rakennuksen sijainti tarkastetaan asiakkaan tilaamana, mittaamalla joko GNSS-paikannuksella tai takymetrillä sokkelin ulkonurkista rakennuksen nurkkapisteet "kiinni," ja tarkastamalla sekä vertaamalla, vaikka tallentimen tai tietokoneelta 3D-Winin näkymästä, miten paikan päällä mitatut kulmat sopivat kantakarttatasolla piirrettyyn, suunniteltuun rakennukseen. Tämä on sekä mittajaan omaa mittauksen laaduntarkkailua, kuin myös ylipäätään sitä, että havaitaan rakennusvaiheen

aikana tapahtunut siirtymä. Vähintään sokkelista on tarkastettava myös sokkelikorkeus, että se on liki sama, kuin mitä rakennuksen piirustuksissa ja luvassa on mainittu, tässäkin asiassa 20 millin korkeustarkkuus on riittävä mittaustarkkuus. (JHS 185 2014, 9; Tampereen Infra 2020.)



Kuvio 43. Sijaintikatselmuksen mittaus

Voi olla hyvä myös tarkastaa lattiataason korkeus, onko se sama, kuin mitä piirustuksissa on mainittu, on kuitenkin huomattava, että onko lattiaa edes vielä tehty rakennustyömaalla. Sokkelien korkojen mittauksessa on huomioitava se, että tulee piirustuksissa mainittu lattiapinnan korkeus mitattujen sokkelien tasalle, ja sekkin, että onko rakennuksen pohjarakentamisen aikana koettu tarpeelliseksi esimerkiksi lisätä jonkin rakennekerroksen paksuutta, mikä voi kanssa aiheuttaa sen, että mitattu korkeus on eri kuin piirustuksissa mainittu. Joka tapauksessa

sijaintikatselmuksissa tehdyt havainnot välitetään kaupungin rakennusvalvonalle eteenpäin, missä tehdään päätökset asian suhteen.

5.2 Kiinteistönmuodostusmittaukset

Tampereen kaupungin palveluja maanomistamiseen liittyen ovat tonttijaot, kiinteistötoimitukset ja kaupanvahvistukset Tampereen asemakaava-alueella (muuten vastaavia asioita hoitaa maanmittauslaitos, esimerkiksi laajalti Teiskon alueella), missä kaupungin oma kiinteistönmuodostusyksikkö toteuttaa lainsäädännön vaatimusten mukaisesti edellä mainittuja tehtäviä; tontin lohkomisia, tonttien välisiä rajankäyntejä ja rasi-toimituksia. Nämä ovat keskeisesti kiinteistönmuodostamislain määrittämiä lakisääteisiä tehtäviä maanomistukseen liittyvien perusoikeuksien turvaamiseksi, ja kaupungin puolesta kyseiset tehtävät ovat asioista ”päätäviä” tehtäviä, eli toimistotöitä. (KML § 1:1, 2:5, 11:101; Tampereen kaupunki 2023d; Vitikainen 2006, 42–43.)

Kentällä näitä tehtäviä toteutetaan Tampereen Infran kartoittajien toimesta, kaupungin kiinteistönmuodostuksen, tai riidattoman rajankäynnin osalta maanomistajan tilaamana. Keskeisiä tehtäviä kiinteistönmuodostukseen liittyen ovat rajapyykkien asennukset ja etsinnät, rajankäynnit (kentällä) ja rajojen selvittämiset ja toimituksen tukena oleminen, viimeksi mainitussa kartoittaja merkitsee rajapyykkien paikat maalilla ja kepeillä, ja esimerkiksi havainnoi, miksi tiettyyn kohtaan ei voi asentaa tai ei ole asennettu rajapyykkiä. On huomioitava, että Infran kartoittajat toimivat kiinteistönmuodostuksen mittauksissa toimitusmiehinä, joilla on tehtävänsä puolesta oikeus liikkua tehtävänsä mukaisesti, tehtävän määrittelemällä alueella, kuitenkin siten, ettei tästä aiheudu haittaa tai vahinkoa maanomistajille. (KML § 11:103, 11:108, 15:182; Vitikainen 2006, 94–96.)

5.2.1 Rajapyykkien merkintä ja asennus paikalleen

Rajapyykkien asennus ja etsintä tehdään kaupungin kiinteistötoimituksen tilaamana, osana kiinteistön toimitusprosessia tonttijaossa. Käytettävänä asiakirjana kentällä käytetään muun muassa tonttikarttaa, mihin rajapyykit tasosijainteinen

(xy -koordinaattitieto) ovat merkittynä, mitkä lisäksi ladataan tallentimelle soveltuvilla formaateilla (csv, -gsi -tai gt -tiedostot). (JHS 185 2014, 9; MRA § 8:38; Vitikainen 2006, 96.)

Viimeksi mainitun tiedon avulla, muun muassa GNSS-laitteella on mahdollista merkintämitata rajapyykit niille halutuille paikoille, kuten toimituksessa on mainittu, tai etsiä niitä sieltä, mistä niitä halutaan etsittävän rajapyykkien etsintätehtävissä. Paperinen asiakirja on tällöin yksi tuki tai muistiinpanoväline rajapyykkien asentamisessa tai etsimisessä. Myös rajapyykkien poistaminen on mahdollinen toimenpide, jos on koettu, että niitä ei tarvita, muun muassa. (JHS 185 2014, 9; Vitikainen 2006, 100–102.)

Ennen rajapyykit saattoivat olla neliskanttisia kiviä tai reunakivenpätkiä, mihin oli putki asennettu kiinni, aiemmin maaseutualueilla saattoi olla myös viisisuuntaisia kivimuodostelmapyykkejä osoittamassa rajamerkin paikkaa. Nykyään varsin virtaviivaisia, 70 senttimetriä pitkiä ja noin 2 kilogramman painoisia metalliputkia käytetään rajapyykkeinä, ja noin 20 senttimetriä pitkiä metalliputkia, joiden alareuna on yläreunaa kapeampi, kalliopyykkeinä. Kuvio 44 havainnollistaa näitä putkia. (Maanmittauslaitos 2011, 12–13; Nipere Oy; Vitikainen 2006, 99–102.)

On huomioitava, että monessa muussa kunnassa ja Maanmittauslaitoksella asemakaava-alueen rajapyykkien päälle tulee neliskanttinen metallilaatikko, näkevöityskappale, mistä putken pää pilkistää vain hieman esillä. Näkevöityskappaletta tosin ei tarvitse käyttää asemakaava-alueella, rakennuspaikan ja yleisen alueen rajalla, eikä pyykkiä tarvitse numeroida. Rajapyykit perustuvat Suomessa pitkälti SFS-4940 standardiin. (Maanmittauslaitos 2011, 12–13; Vitikainen 2006, 99 – 102.)



Kuvio 44. Rajapyykkejä; Kalliopyykki isoon maakiveen asennettuna (vasen yläkulma), rajapyykki kivetyksellä (vasen alakulma), missä voi olla, että kivetys on laitettu pyykin ympärille rakennusvaiheessa, oikeassa kulmassa pyykki maassa

Etenkin rajapyykkien asentaminen perustuu asennustarkkuuteen eli mikä on rajamerkin sijainnin piste keskivirhe (RSK-luku), mikä on asemakaava-alueella, missä Tampereen kaupungin kiinteistönmuodostukset tehdään, 0,1 metriä (JHS 185 2014, 9; Maanmittauslaitos 2011, 8, 11; Tampereen kaupunki 2023d.) Eli 10 sentin tai vastaavasti 100 millin sisään on saatava rajamerkki, mikä voi olla putkipyykki, tai kallioon tai kiinteään, liikuttamattomaan maakiveen asennettava kalliopyykki (pulttipyykki), kuten kuviossa 44 on esitetty.

Rajapyykkien asennus voi olla varsinainen merkintä, tai esimerkintä, viimeksi mainittua yleensä käytetään ennen tontille rakentamista, jolloin tontin rajat voidaan maastossa osoittaa. Merkintä voidaan tehdä esimerkinnän jälkeen, tai jos esimerkinnälle ei ole koettu tarvetta, suoraan osoittamaan tontin rajoja.

Rajapyykin upottaminen voi olla tarpeen, jos on tiedossa, että rajapyykin kohdalle tai lähetyville on tulossa rakentamista, tai jos on tiedossa, että pyykin kohdalta menee lähellä ajotie, jolloin rajapyykki voi aiheuttaa haittaa tien käytölle. Tällaisessa tapauksessa on kuitenkin mahdollista jättää rajapyykki asentamatta, jos sen asentaminen tai olemassaolo aiheuttaa haittaa kiinteistön omistamiselle ja

käytettävyydelle; kenenkään pihakivetystä tai sähkönjakokaappeja ei lähdetä esimerkiksi siirtämään rajapyykin asentamista varten. Rajapyykkiä ylipäätään ei välttämättä tarvitse asentaa näiden seikkojen takia asemakaava-alueella. Rajamerkin siirtokin voi olla mahdollista tällaisessa tapauksessa, mutta sitä ei yleensä Tampereella käytetä (Vitikainen 2006, 98).

Pääsääntöisesti rajapyykkien on oltava näkyvillä siten, että putken punainen pinta on näkyvillä, 5 -10 senttimetriä maanpinnan yläpuolella. Putkipyykit lyödään moukarin tai vasaran avulla maahan tukevasti paikalleen, minkä jälkeen periaatteessa lyöntipäänä toimiva metallikeppi laitetaan putkipyykin sisälle, keppiä lyödään putken sisään, jolloin putken sisällä olevat harukset leviävät putken sisäältä raoista ulospäin, edesauttaen putkipyykin paikallaan pysymistä, jolloin putkea voi lyödä vielä lisää maata kohti, tai tarkemmin merkittävälle sijainnilleen, jos se on liian sivussa. Myös lapiota ja poraa voi käyttää helpottamaan asennustyötä.

Kalliopyykki, virallisesti pulttipyykki, asennetaan kallioon tai isoon, liikuttamattomaan ja kiinteään maakiveen paikalleen, ja asennuksessa käytetään poraa ja vasaraa asennustyökaluina. Ensin poralla porataan tarpeeksi, mutta ei kuitenkaan liian syväälle, reikä pyykkiä varten, mikä sitten asetetaan reiän kohdalle, painetaan alaspäin ja vasaralla isketään porattuun reikään kiinni. Poratun reiän tulee olla pystysuora, jotta kalliopyykkikin olisi pystysuora paikallaan. Pulttipyykin läpimitta ja korkeus asennettavan alustan pinnasta tulisi olla vähintään 20 millimetriä, tai metallipultin osalta vähintään alustaan asennettavan osan läpimitta on vähintään 10 millimetriä ja alustan yläpuolinen osa olisi läpimitaltaan ja korkeudeltaan vähintään 20 millimetriä. (Maanmittauslaitos 2011, 12–13; Vitikainen 2006, 99–102.)

Rajapyykin asennuksessa on omalla tavallaan huomioitava työturvallisuus ja ergonomia, sillä tarvittavia välineitä voi olla paljon, niiden kantaminen on oma rasitteensa, ja asentaminen myös on osaltaan oma rasitteensa. Jos mahdollista, on parempi ajaa työssä käytettävä ajoneuvo mahdollisimman lähelle asennettavaa pyykkiä, ja toimia pareittain, jolloin kumpikin pareista kantaa osan tarvittavista työvälineistä. Hankalassa maastossa liikuttaessa voi olla paikallaan tiedustella turvallinen kulkureitti asennuspaikalle ennen töiden aloittamista.

Poraaminen ja pyykin lyöminen paikalleen moukarilla tai vasaralla tuottaa kovaa ääntä, voi aiheuttaa maa ja -kiviainesten pirstoutumista, lisäksi kannettavat tavarat voivat hieman "liikehtiä" kulkiessa, minkä vuoksi on olennaista työturvallisuuden kannalta pitää mukanaan ja käyttää kuulonsuojainta, suojalaseja, sekä mielellään kypärää. Poran käytössä on huomioitava, että se voi "iskeä" eli poran vääntö voi aiheuttaa kahvalle äkkinäisen liikkeen, minkä vuoksi poran käsittelyn tulisi olla osaltaan varmaa, kahdella kädellä tehtävää toimintaa, mikä estää tai vähentää tällaisen iskun haittoja. Luonnollisesti kannattaa varoa, ettei iske omaan tai parin käteen vasaralla tai moukarilla, jälkimmäisessä voi olla "pullon velkaa" kaverille.

5.2.2 Rajapyykkien etsintä

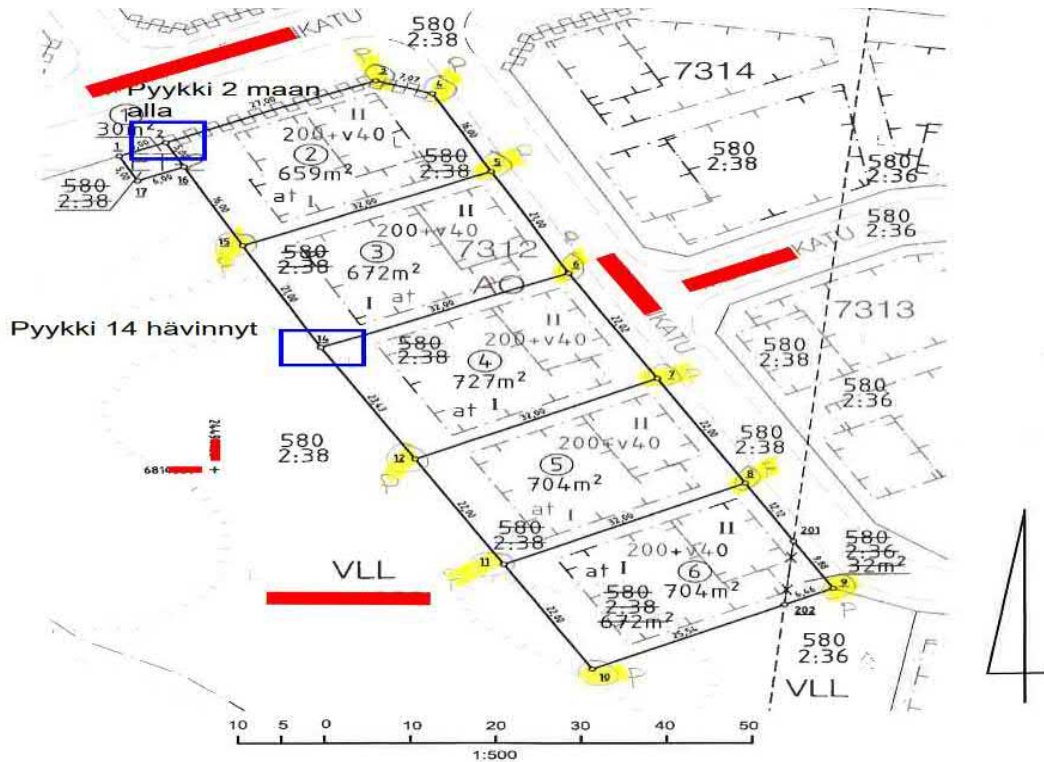
Rajapyykkien etsinnässä käytetään tarpeen mukaan myös metallinpaljastinta GNSS-laitteen ja asiakirjojen lisäksi; koska rajamerkkien korkeustietoja (z-koordinaatti) ei tarvitse ilmoittaa eikä määrittää, pelkällä GNSS-laitteella on vaikeaa etsiä rajapyykkejä, etenkin jos ne on upotettu (tai hävitetty). GNSS-laitteella voi merkinnällä etsiä pyykin sijainnin, ja metallinpaljastimella varmistaa, onko pyykki paikallaan maakerrosten alla.

Metallinpaljastimen herkkyyttä ja äänenvoimakkuutta voi säätää tarpeen mukaan, ja jos laite "vinkuu" voimakkaasti juuri siinä kohtaa, missä pyykin pitäisi sijata, se todennäköisesti on paikallaan upotettuna, ja asian varmistamiseksi päältä voi poistaa esimerkiksi lapiolla maata pois päältä tai iskeä teräväpäisellä metallikepillä pyykin kohtaa, jolloin keppi "kilahtaa" pyykkiin osuessaan.



Kuvio 45. Rajapyykit

Rajapyykkien, joita kuvio 45 havainnollistaa, etsintä yleensä kohdistuu putkipyykkeihin, joita voi, kuten aiemmin on mainittu, tarpeen vaatiessa "upottaa" maahan niitä asentaessa. Upotus on yksi syy niiden etsintään, kuten sekkin, että tontin rakennusaikanakin voi pyykkejä hävitä vahingossa, kun pyykin kohdalle on asennettu esimerkiksi sähkönjakokaappi. Osa pyykeistä voi olla vuosikymmeniäkin vanhoja, ja niiden olemassaolon aikana on ympäristö voinut ja yleensä onkin muuttunut erittäin paljon.



Kuvio 46. Rajapyykit etsitty tonttikartan avulla. Punaisella peitetty koordinaatit ja katuosoitteet salassapitovelvollisuutta noudattaen

Kuviossa 46 on havainnollistettu tehtävää varten annetun tonttikartan ja siihen tehdyn kirjapidon avulla, miten rajapyykkien etsintää voidaan toteuttaa kiinteistönmuodostuksen pyytämällä tavalla. Merkinnot etsinnöistä on kirjattu karttaan tehty käsin ja editointiohjelmalla. P tarkoittaa, että pyykki on paikallaan. Tarkemmin merkityssä kartassa olisi vielä merkittynä, onko pyykki normaali putkipyykki, vai kalliopyykki kivessä (järeällä, liikuttamattomalla) tai kalliossa.

Keltainen tarkoittaa, että pyykki on löytynyt ja paikoillaan maan pinnalla. Jos pyykkiä ei ole löytynyt tai on havaittu muuta olennaista pyykin olemassaoloon liittyen, se kirjataan myös jollakin tavalla ylös. Ylipäätään, olennaista tehdä havainnollistavat muistiinpanot rajapyykkien etsinnässä, sillä etsintöjen perusteella esimerkiksi kiinteistönmuodostus päättää jatkotoimista pyykkien asennuksen suhteen.

5.2.3 Rajankäynnit

Rajankäyntitehtävissä tarkoituksena on kiinteistön rajan selvittäminen, esimerkiksi silloin kun sen rajaa osoittava rajamerkki on hävinnyt, sen sijainnista on riitaa

tai muuta epäselvyyttä, rajankäyntiä voi hakea toimitusviranomaisen kiinteistön omistajan tai vastaavasti kiinteistön vuokraoikeuden haltijan hakemana, tai muun henkilön tai yhteisön hakemana, joka on aiheuttanut rajamerkin häviämisen tai siirtymisen. (KML § 209; Tampereen kaupunki 2023d.)

Viimeksi mainitussa hakija maksaa toimituskustannukset, muuten rajankäynnistä aiheutuvat kustannukset jakautuvat rajankäynnin asianosaisten maksettaviksi sitten, miten he saavat rajankäynnistä hyötyä, elleivät he kustannusten jakamisesta toisin sovi. (KML § 16:209; Tampereen kaupunki 2023d.)

Rajamerkkien paikat voi hakea GNSS-laitteella merkintämittauksena, kuvion 47 havainnollistamana, vaikka pyykkien paikoilla ei välttämättä olisikaan enää fyysisesti havaittavissa pyykkiä, ja merkitä puukepillä ja spraymaalilla rajamerkin kohdan maastoon, samoin jos pyykki on hankalassa paikassa, kuten pensaikon keskellä tai liian paljon maan alla, mistä käsin pyykki ole kunnolla näkyvillä.



Kuvio 47. Kalliopyykki, jonka päälle on laitettu muoviputki helpottamaan sen löytymistä maastossa

Rajalinjan voi käydä läpi tallentimen ja sovelluksen pikalinjatoiminnolla, ja kulkea rajalinja läpi sitä myötäillen; rajalinjan voi muodostaa kahden rajamerkin välille,

jolloin syntyy kohtisuora viiva tallentimelle, ja jonka suhteen on mahdollista kulkea raja läpi suoraan. On kuitenkin huomioitava mitä laitetta käyttää ja kuinka peitteinen maasto on, sillä GNSS -laitteistolle voi tulla keskellä metsää katvealue, mikä heikentää sen tarkkuutta, ellei välillä pysähdy paikalleen odottamaan laitteen alustusta. Sama voi tapahtua myös muuten kaupunkimaisemmassa ympäristössä, missä voi myös olla jonkin verran puustoa, korkeaa pensaikkoa tai korkeita rakennuksia ympärillä. Takymetrilla on toki tässä tapauksessa myös mahdollista osoittaa rajalinja, on muistettava myös edellä mainitut esteet kojeen ja prisman välillä.

6 KAUPUNKIPALVELUN MITTAUKSET

Kaupunkipalvelun mittauksiin kuuluvat myös luvussa 5 mainitut viranomaismittaukset, sekä paikoin myös luvun 4 ja 7 mittauksia, etenkin maastomallin mittauksen suhteen. Tähän lukuun on kuitenkin eriytetty selkeyden vuoksi kaksi kaupunkipalveluiden mittausta, joista kantakartan mittaukseen Tampereen Infran kartoittaja tulee tekemään enemmän tai vähemmän, sekä ottamaan osaa kiintopistemittauksiin, ja hyödyntämään kiintopisteitä omissa mittauksissaan, ja luomaan omia apupisteitä osana päivittäisiä mittaustehtäviä.

6.1 Asemakaavan pohjakartan eli kantakartan päivitys

Kantakartan päivittämisellä, kartoituksella tai mallinnuksella tarkoitetaan kaupungin tai kunnan asemakaavakartan ylläpitämistä. Asemakaavakartta on sanansa mukaisesti asemakaavan kartta, ja sen pohjakarttana käytettävää kantakarttaa käytetään monipuolisesti muun muassa rakennusten ja asuinalueiden suunnittelussa ja osoitetiedon ylläpidossa. Kantakartan ylläpitäminen on lakisääteinen kunnan tehtävä, mikä on käytännön tasolla Tampereen Infran paikkatiedon kartoittajien yksi tehtävä muiden joukossa. (MRL § 7:54, 7:54 a–c, 7:60; JHS 185 2014, 2; Rainio 2013.)

Asemakaavan pohjakartan itsessään tulee esittää karttatietoa kiinteistöistä ja muista rekisteri ja -käyttöoikeusyksiköistä sekä kiinteistönrajoista ja rajamerkeistä, sekä myös tarvittaessa johtoelementeistä, etenkin johtoelementtien maanpäällisistä johtokaivoista (kaivonkannet), mihin liittyen erillisessä johtoelementissä kuvaillaan muista rakenteista ja johtoyhteyksistä (JHS 185 2014, 7).

Asemakaavan pohjakartan eli kantakartan päivitys perustuu lakisääteisyysedessänsä siihen, että vanhaa tai vanhentunutta karttaa ei saisi käyttää kaavan pohjana. Päivitettäessä kantakarttaa siihen päivitetään kaikki kaavan alueella tapahtuneet rakennetun ympäristön muutokset, eli esimerkiksi uusia rakennuksia ja rakennelmia on rakennettu tai purettu, ja uusia tontteja on muodostettu uusine tai päivitettyine rajamerkkeineen (JHS 185 2014, 5–9).

Päivitystyöt voidaan tehdä jo rakennusaikanakin kohteista, jotka on jo rakennettu. Kartoitus voidaan tehdä stereokuvista (ilmakuvamittaus), laserkeilauksesta tai

normaalilla kartoitusmittauksella, eli kartoittaja käy GNSS tai -takymetrimittauksena kartoittamassa tietyn alueen (JHS 185 2014, 5–9).

Kantakartan mallinnuksessa mallinnetaan asemakaava-alueen ympäristöä soveltuvin osin samalla tavalla, kuin perinteisessä maastomallinnuksessa. Olenaista on pitää mielessä, että kartoituksella on tarkoitus tuottaa ja päivittää kaksiulotteista karttaa, mitä esimerkiksi arkkitehdit voivat hyödyntää rakennusten ja ympäristön suunnittelussa. Tarkoituksena ei periaatteessa ole perinteisen maastomallinnuksen tapaan tuottaa kolmiulotteista mallia ympäristöstä, vaikka korkeustieto kartoitetuille kohteille onkin suositeltavaa mitata, poikkeuksena korkeuskäyrien- ja pisteiden mittaus, joissa korkeustieto on nimen mukaisesti välttämätön, sekä seuraavaksi mainitun mittausluokan 1e kohteiden mallinnus (JHS 185 2014, 5, 8).

Kuvio 48 havainnollistaa tällaista kantakartan mallinnusta sen julkisessa muodossa virastokarttana, mitä esitetään tällä opinnäytteellä kantakartan sijasta siksi, että kantakartalla voi esiintyä salassa pidettävää aineistoa, kuten johtolinjoja.



Kuvio 48. Kantakartan havainnollistamista virastokartalla

6.1.1 Kantakartan mallinnuksen vaatimukset

Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunnan ohjeessa 185 ja sen liitteissä 1-5 on määritelty vaatimukset kantakartasta ja sen kartoituksesta. Kyseisessä ohjeessa on määritelty tavoiteltavat mittausluokittain, joita on kolmea eri luokkaa, joissa on omat tarkkuudet ja sallitut pistekeskivirheet kartoitettavien kohteiden taso ja -korkeussijainneille, kartoitettavan kohteen mukaan, sekä kartoitustiheydelle. Vaatimukset ovat tarkempia ja keskivirhe on pienempi luokituksen alussa, ja luokituksen loppua kohden keskivirheet ja tarkkuudet ovat suuripiirteisempiä. Kuvio 49 havainnollistaa ohjetta (JHS 185 2014, 2, 4–5).

JHS 185 Mittausluokat

Mittausluokka 1: Käytännössä keskusta-alue ja moni keskeinen lähiö;

”Taajama-alueet, joilla maa on erittäin arvokasta ja joilla on voimassa sitovan tonttijaon asemakaava tai rakennuskielto tällaisen asemakaavan laatimista varten.” Mittakaava on 1:500 tai 1:1000.


Mittausluokka 1e: ”Mittausluokka 1e on kaksi kertaa tarkempi sijaintitarkkuuden suhteen kuin mittausluokka 1, esimerkiksi rakennuksen seinälinjan sijaintitarkkuus pistää olla 0,1 metrin sisään, verrokissa 0,2 metrin sisään. Lisäksi mittausluokassa 1e on tarpeellista tehdä kartoitus kolmiulotteisena mallinnuksena

”Kartoituksissa, joita on tarkoitus käyttää osana kunnan paikkatietojärjestelmää ja hyödyntää suurta tarkkuutta edellyttävässä teknisessä suunnittelussa, voidaan käyttää tarkempaa vaatimustasoa

Mittausluokka 2: Tämä luokka käsittää ne taajamat, joille ei ole edellytetty sitovaa tonttijakoa asemakaavassa. Mittakaava on 1:1000 tai 1:2000.

Mittausluokka 3: Käsittää ranta- asemakaava -ja ranta-alueet sekä muut sellaiset alueet,

”joilla maa on maa- ja metsätalousmaata selvästi arvokkaampaa, esimerkiksi ns. haja-asutusalueet.”

Mittakaava on yleensä 1:2000, mittakaavaraja voi olla 1:4000 tai 1:5000, jos mittakaava ei syrjäytä kaavalle asetettuja vaatimuksia, eli mittakaavan takia ei jää kaavan käsittämiä alueita piiloon. 

Kuvio 49. JHS 185 Mittausluokat

On muistettava, että digitaalisessa muodossa mittakaavarajaa ei ole, mutta paikan päällä tehdyn kartoituksen on vastattava edellä mainittuja mittausluokkien vaatimuksia. Kartoituksen kohteiden sijainti- ja korkeustarkkuus tarkastetaan mallinnuksen editointitöiden yhteydessä tai niiden jälkeen (JHS 185 2014, 5).

6.1.2 Kantakartan päivitysmittaukset

Kartoitettaessa rajamerkkejä tai rakennuksia tai muita, suurta sijaintitarkkuutta edellyttäviä kohteita, on kartoitus tehtävä takymetrillä tai GNSS RTK -mittauksena, runkopisteisiin tukeutuen (taso -ja korkeussijainnin tarkkuuden vertailu tai pisteisiin orientointi), eli kunnan, valtion tai muun tahon luomiin pisteisiin, kuten

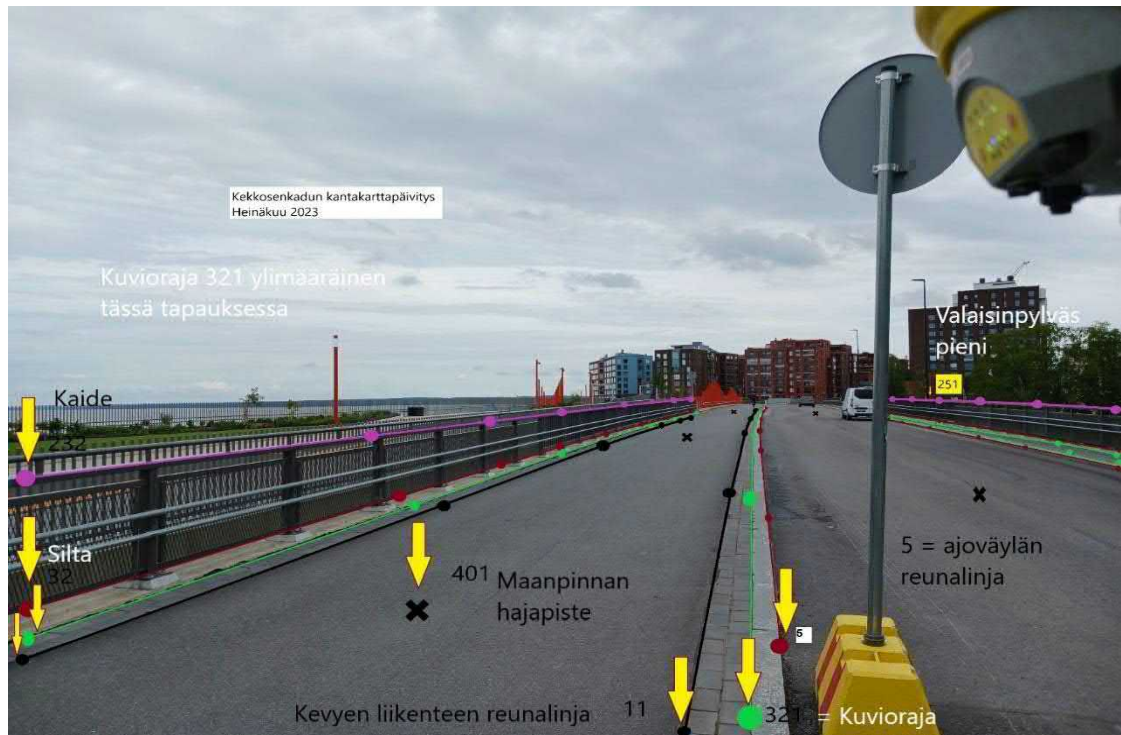
korkeuskiintopistepultteihin tai monikulmiopisteisiin, joiden korkeus ja/tai tasojainti on tiedossa. (JHS 184 2017; JHS 185 2014, 8.) Näistä pisteistä on lisää tietoa alaluvussa 6.2.

Tämän opinnäytteen kantakarttamallinnuksen ohjekuvissa esitetyt koodit perustuvat Tampereen kaupungin omiin kartoituskoodeihin, missä kullekin kartoitettavalle kohteelle on oma koodinsa. Näiden kohteiden kartoitus ja mittauksen vaatimukset perustuvat kuitenkin JHS 185:n ja sen liitteissä mainittuihin vaatimuksiin.

Kuvio 50 havainnollistaa yhden kohteen kantakarttaan mallinnusta, viivojen ja pisteiden värit pyrkivät jäljittelemään soveltuvin osin värejä, mitä näillä koodeilla mallinnettavista kohteista syntyy esimerkiksi 3D-Winissä. Koodit on merkitty kuvaan numerotunnuksillaan ja väreillään, ja ajatuksena on ollut havainnollistaa, että kyseisen paikan voisi kartoittaa viivamaisina kohteina GNSS-mittauksena, kuten se todellisuudessa tapahtui (laite yläkulmassa havainnollistaa kartoitusta myös).

Pisteet viivoilla edustavat kartoituskohtaa eli pistettä, missä kyseisellä koodilla on mitattu laitteella havainto. Nuolella on merkitty kuvaan kyseisten kartoitettavien, viivamaisten kohteiden aloituskohdat, sekä yksittäisten pistekohteiden ensimmäiset havainnot kyseiselle koodille.

Koodi 321 eli kuvion reunaa mallinnetaan, kun havaitaan, että maastonkohde muuttuu, esimerkiksi kivilaatoitus. 401 eli maanpinnan hajapiste otetaan kantakartalla maaston korkeuden havainnollistamiseksi.



Kuvio 50. Kantakartan päivitystä

Sillan mallinnus poikkeaa siitä, miten on esimerkiksi Väyläviraston ohjeissa kerrottu, kuvan mukaisesti: Maatukea ei kartoiteta samalla tavalla, vaan tukimuurin yläreuna otetaan silloin, kun on selvästi havaittavissa ero muuhun sillan rakenteeseen, alareunaa ei tarvitse kartoittaa. Sillan saumakohta merkitsee eroa sillan ja maatuen välillä. Sillan alla oleva tunneli kartoitetaan esimerkiksi kuviossa 51 mainitulla koodilla, periaatteessa samalla tavalla kuin tukimuuria.

Sillan mallinnus

Koodit:

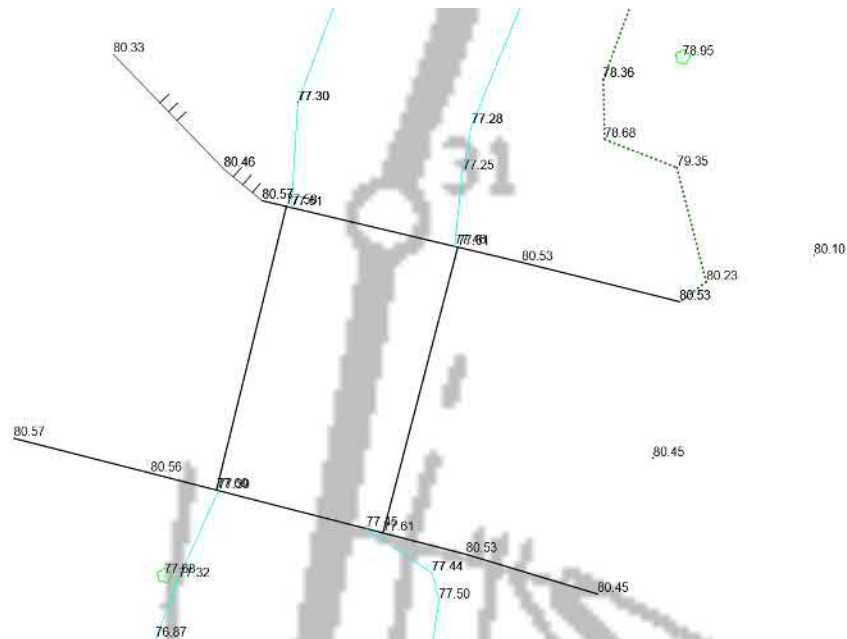
- 32 silta (ulkoreuna)
- 232 kaide (ei välttämättä tarvita)
- 248 tukimuurin yläreuna (ulkoreuna)
- 249 tukimuurin alareuna (ei välttämättä tarvita) (ulkoreuna)
- 335 Oja reunaviiva 2-5 m leveä
- 208 maanalaisen tilan reunalinja
- 321 kuvioraja

Kirjoita tähän



Kuvio 51. Sillan ja sen lähialueen mallinnus maastossa kantakartan päivityksessä

Kuvion 51 mukainen sillan mallinnus kantakarttaa varten näyttää 3D-Winissä seuraavanlaiselta kuviossa 52:



Kuvio 52. Maastossa tehtyjen mittausten 3D-Win editoinnin tuotos sillasta ja lähi-alueesta.

Kuvio 53 havainnollistaa suorakulmaisten kohteiden ja rumpujen kartoitusta.



Kuvio 53. Suorakulmaisten kohteiden ja rumpujen kartoitus

Kantakartan päivityksissä tulee usein vastaan kaupunkialueella kuvion 54 kaltaisia alueita, missä ei välttämättä ole täysin selvää, miten kartoittaa kohteita.

Tre Koodeilla vastaava

- 11 Kevyen liikenneväylän reunalinja
- 321 Kuvioraja
- 309 Huomattava lehtipuu
- 551 Pensaikko

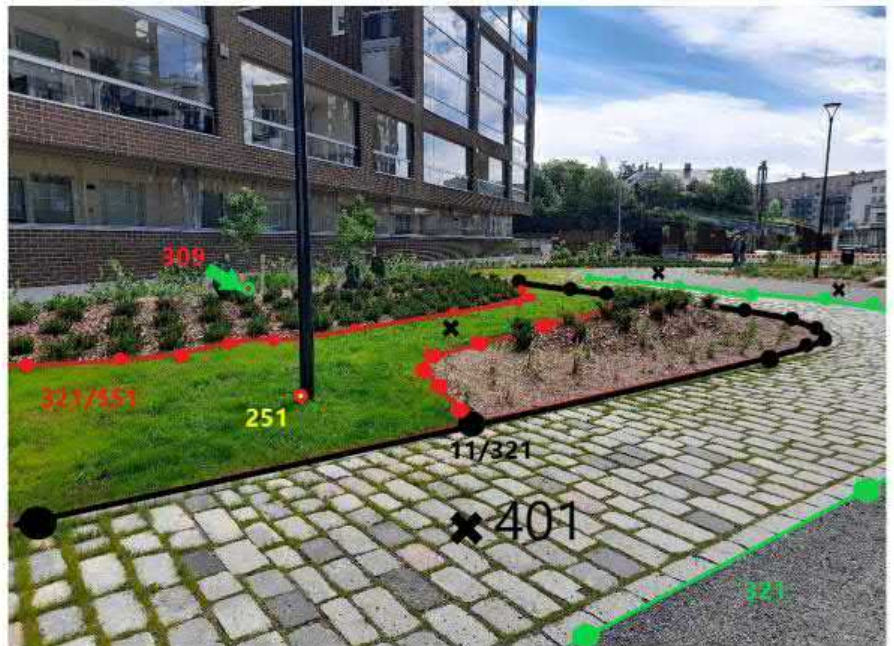
321 →

Ilmentää/havainnollistaa maastonmuodon muutoksia

- Voi olla tapauskohtainen milloin käyttää

Kevyenliikenteen yms liikenteen reunojen havainnollistaminen:

- On tavallaan absoluuttinen, ilmentää kartalla maankäyttömuotoa



Kuvio 54. Kevyen liikenteen väylää, istutuksia ja kuviorajoja

Kuvio 55 havainnollistaa puistoalueen kartoituskohteita.

Puistoaluetta

- 26 Puistotien reunalinja
- 321 Kuvioraja
- 309 Huomattava lehtipuu
- 308 Huomattava havupuu
- 585 Pöytä + penkki yhdistelmä
- 543 Roska-astia

26 → Ilmentää/havainnollistaa Puistotietä kartalla

- Erkanee yleensä esim. kevyen liikenteen väylältä, johtaa puiston läpi

Roska-astia pöntön päältä/tukivarresta

Pöydät keskeltä

- Jos epävarma, viiva/pisteet molemmista reunapäädyistä keskilinjaa mukaan
- Sama idea pitkissä penkeissä

Puut ja valaisnpylväät + muut tolpat → Kartoitus reunalta



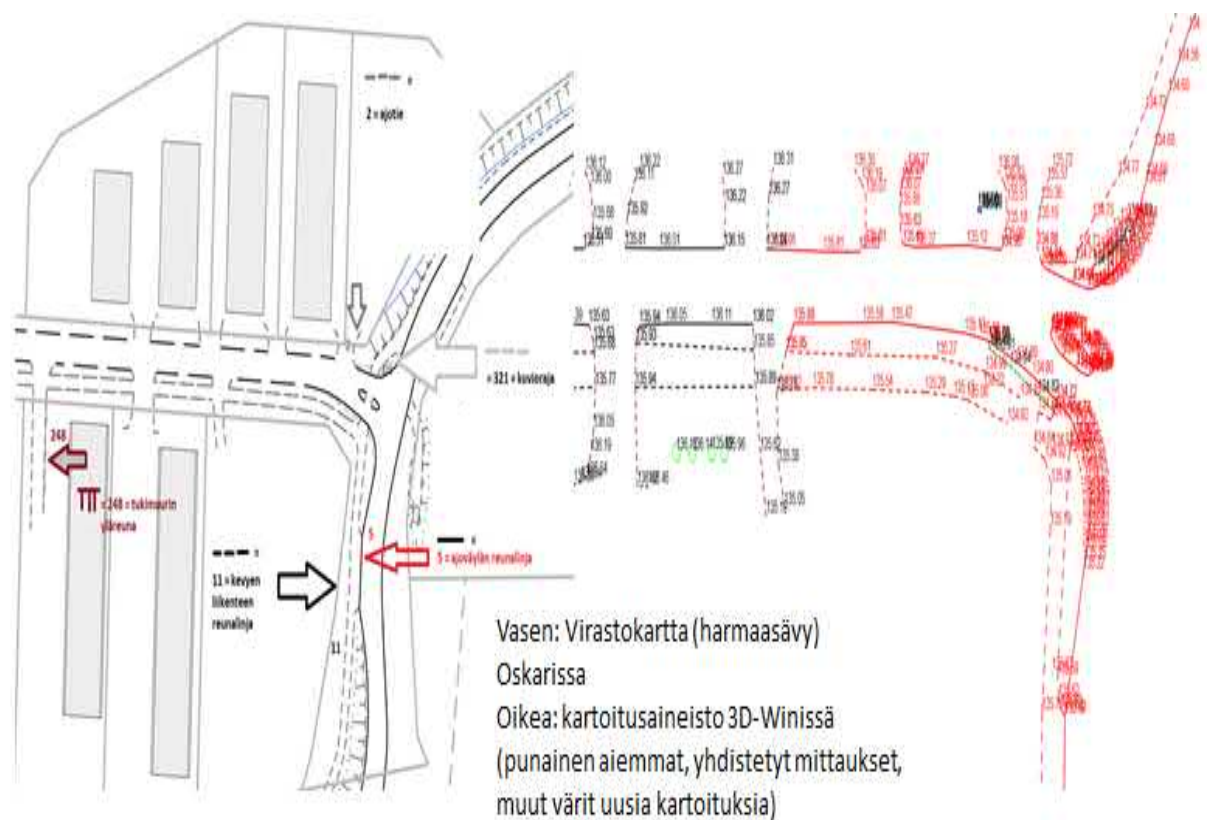
Kuvio 55. Puistoalueen kohteita

Kartoitettu alue editoidaan 3D-Winissä ennen Stellaan siirtämistä. On hyvä ottaa kuvia kartoitetusta alueesta oman muistin sekä aineiston käsittelyn tueksi; kartoittaja tekee kentällä kartoituksen ja aineiston editoinnin toimisto-oloissa, missä aineisto 3D-Winiä käyttäen yhtenäistetään mittauksien myötä mahdollisimman eheäksi ja yhtenäiseksi kartoituksen, etenkin, jos kartoitusalue on laaja, ja siellä on tehty kartoituksia monena eri päivänä.

Eheässä ja yhtenäisessä mallissa ei ole saman pisteen tai viivan kohdalla montaa samalla koodilla olevaa viivaa tai pistettä. Jos mahdollista, viivat päättyvät johonkin, esimerkiksi joskus kuvioraja 321 kevyen liikenteen reunassa on hyvä päättää ajotien reunaan 5, jos tulee mutkakohta, esimerkiksi suojatien kohdalla, missä kuvioraja ilmentää mukulakivetystä kevyen liikenteen ja ajotien reunalla. Perinteiseen kolmiulotteiseen malliin poiketen 3D-Winissä kartoitettu aineisto on aina pintakoodilla 1 eli kaikki kohteet tulevat malliin.

Kantakartan päivitysmittauksissa suositellaan, että mallinnettavat kohteet esitetään niille luontaisella tavalla valmiilla kartalla ja sen valmistelutöissä; viivasijaintina viivamaiset kohteet kuten tien reunat, pistemäisinä kohteina esimerkiksi valaisinpylväät. (JHS 185 2014, 10; JHS 185 2014, liite 2, 2; JHS 185 2014, liite 3, 6.)

Kuvio 56 havainnollistaa lopputuotosta 3D-Winissä, ja miltä se näyttää Oskari-palvelussa virastokartalla. Kuvion vasemmassa kuvassa olevat numerot ovat kartoitettujen kohteiden havaintojen korkeuslukemia.



Kuvio 56. Kartoitetun kantakartan päivitysmittauksen aineiston vertailua virastokartalla

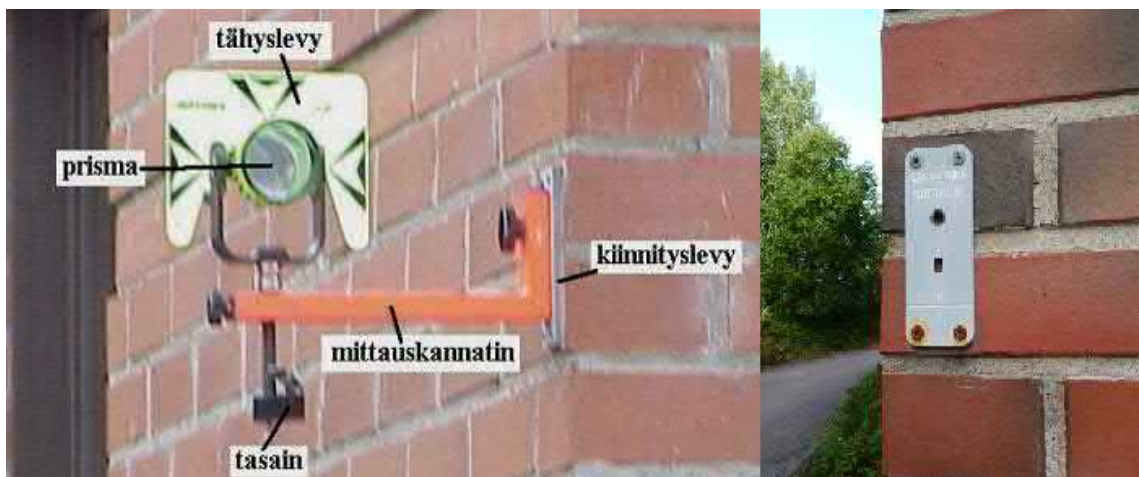
6.2 Kiintopisteet

Kiintopisteiden asentaminen, mittaus, etsintä ja uusintamittaukset ovat keskeisiä kaupunkipalvelun mittauksia, sekä ylipäätään maanmittausalalla. Kiintopisteet ovat kiinteitä merkkejä maastossa tai rakenteissa, joille on mitattu tarkasti joko koordinaatti- tai korkeus tai molemmat. Niillä mahdollistetaan rakentamisen, kaa-

voituksen ja ylipäättään mittaamisen toteutuminen; rakentamista palvelevat merkintämittaukset pyritään orientoimaan kiinto -eli lähtöpisteistä, kuten myös kaa-voitusmittaukset maastossa (perusrunkoverkon mittaukset), myös ilmakuvausset fotogrammetrisine mittauksineen sidotaan kiintopisteisiin, ja näin kartoitettavalle työlle saadaan koordinaatit ja korkeus valtakunnalliseen järjestelmään (Anttila ym. 2003, 6, 35; JHS 185 2014, 8; Laurila 2012, 8–10.).

6.2.1 Eri kiintopisteet

Kiintopisteitä perustetaan siten, että otetaan huomioon niiden jo olemassa olevan tai tulevan käyttöympäristön aiheuttamat rajoitteet huomioon. Esimerkkinä seinäpiste kuviossa 57 sekä putki ja -asfalttipisteet sekä korkeuskiintopisteet. (Anttila ym. 2003, 35; Laurila 2012, 8–10.)



Kuvio 57. Seinäpiste ja sen käyttö (Laurila 2012, 10)

Seinäpisteet ovat yhdistelmäpisteitä, joiden taso- ja korkeussijainti xyz on tiedossa, ja ne on jonomittauksena mitattu aiemmin. Seinäpisteeseen orientointi tapahtuu kuvion 57 mukaisella jatkokappaleella, mikä kiinnitetään seinäpisteeseen kiinni, prisman kera, ja tallentimelle on kirjattava prisman vaaka- ja korkeusetäisyys pisteestä. Seinäpisteen selkälevyssä voi olla myös piste, johon takymetrin voi laserilla orientoida. (Anttila ym. 2003, 35; Laurila 2012, 8–10.)

Muita kiintopisteitä ovat taso/monikulmio ja -korkeuskiintopisteet, ensiksi mainituilla on pääsääntöisesti tasosijainti eli xy -koordinaatit tiedossa, viimeiseksi mainitussa taas usein korkeussijainti z. Molempia voi käyttää esimerkiksi takymetrin

orientointiin, kunhan muistaa joko korkeuden tai tasosijainnin mitata muuten selville. (Anttila ym. 2003, 6, 35; JHS 185 2014, 8; Laurila 2012, 8–10.)

Tasokiintopisteellä pitää olla selkeä, pisteen keskustaa osoittava merkki, kuten pieni aukko (putket ja tangot), lovi (asfaltti eli .mittapistenaulat). (JHS 185 2014, 8; Laurila 2012, 8–10.) Jos mahdollista, putkipisteen keskelle asennettava, ammutun haulikonhylsyn nallinkohta on aika hyvä keskusmerkki pisteelle, se ei kuitenkaan ole Suomessa yleinen menetelmä. Tiedossa on, että yksi inframittausyritys hyödyntää tätä menetelmää.



Kuvio 58. Korkeuskiintopiste 301010

Korkeuskiintopisteeseen, mikä on kuvion 58 mukainen rautapallo, tai rautapultti, esimerkiksi takymetriorientoinnin jälkeen on hyvä verrata, vaikka kartoitussauvan korkoa, ja verrata orientoinnin korkeuseroa kiintopisteen vastaavaan, vaikka merkintämittauksena. Tällöin voi sauvan korkoa lisätä tai vähentää korkeuseron mukaisesti, tai sitten editoida tallentimella asemapisteen korkeus, tai sitten jo mitattujen kohteiden korkeus editoidaan 3D-Winissä. (Anttila ym. 2003, 6; JHS 185 2014, 8; Laurila 2012, 8–9.)

6.2.2 Kiintopistehierarkia

Korkeuskiintopisteitä käytetään kaavoitusmittauksessa 1 ja 2 mittaussuokan korkeudenmittauksia varten, jotka ovat, kuten edellä luvussa 6.1.1 on mainittu, tarkkavaaittu korkeuden suhteen. Korkeuskiintopisteitä on oltava riittävän tiheästi rakentamisen mittauksia tukien, että niistä on helppo tuoda seuraavan kaavan mukaisesti korkeus rakennustyömaalle: $10\text{mm}^*(\text{neliöjuuri}(L))$, missä L on jonon pituus kilometreinä. 10 millimetrin sijasta käytetään 7 millimetriä, jos jonon pituus on alle puoli kilometriä (JHS 185 2014, 8–9).

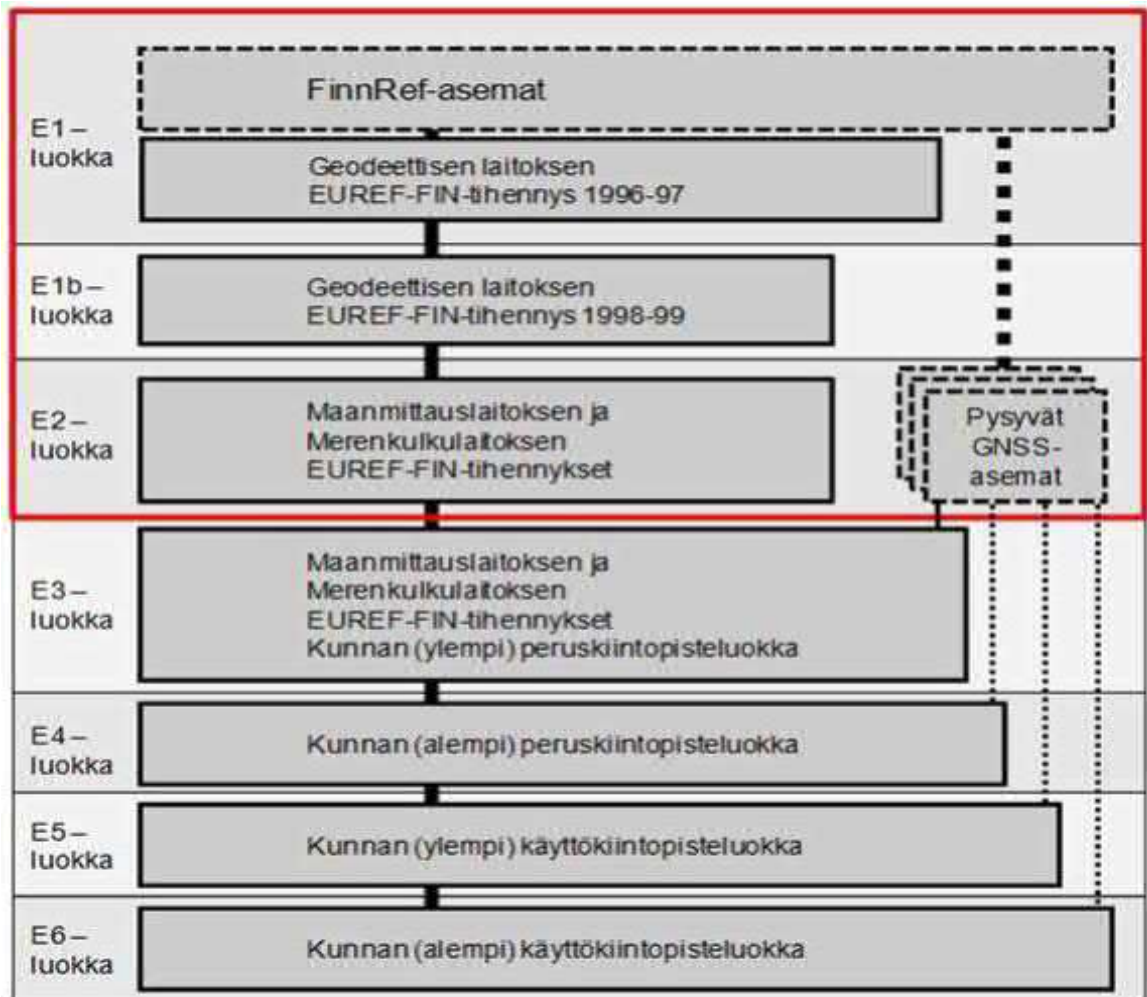
Korkeuskiintopisteiden välinen etäisyys toisiinsa ei saa olla yli kilometriä, ja korkeuskiintopisteiden välisen korkeuden eron suhteellinen tarkkuus pitää olla parempi kuin 5 ppm (parts per million). Mittausluokan 3 alueilla tehtävä korkeuden mittaaminen voidaan tehdä tasokiintopisteistä, joille on korkeus määritetty ”jonovaaituksella, trigonometrisella jonomittauksella tai satelliittimittauksella” (JHS 185 2014, 8).

Nämä ovat peruskiintopisteitä, yleensä 3-4, joskus 3-5 luokan pisteitä, erotuksena rakenteisiin kiinnitettäviin tähystarroihin, tai sitten muuten päällysteeseen asennettaviin ”asfalttinauloihin,” tai muuten maahan tai kallioon asennettaviin mittauspisteputkiin, jotka ovat yleensä 5–6 luokan käyttökiintopisteitä, riippuen niiden tarkoituksesta säilyvyydestä ja mittaustavasta. (JHS 184 2017, 5–6; JHS 185 2014, 8; Laurila 2012, 8–9; Liikennevirasto 2017b, 12–16.)

Tähystarroja sekä pieniä hiltinauloja hyödynnetäänkin pienimuotoisilla työmailla, ja niiden taso- ja korkeussijainti voikin perustua joko paikan päällä tehtyyn nopeaan ja riittävään tarkkaan GNSS-mittaukseen, tai vastaavasti GNSS-orientointina tehtyyn takymetrimittaukseen. JHS:n ja Väyläviraston ohjeissa veloitetaan tietyissä tapauksissa, että näiden 5-6 luokan kiintopisteiden ”kiinni mittaamisen” taustalla on oltava kuitenkin orientointi 3 -5 luokan pisteisiin. (JHS 184 2017, 5–6; JHS 185 2014, 8; Laurila 2012, 8–10.)

Orientoinnin jälkeen on kuitenkin päätetty helpottaa tulevia takymetrin orientointeja tähystarroilla, jolloin orientointi onnistuu kojeen luota lasermittauksena, tai sitten muuten jatkettu asfalttinauloilla pisteiden kattavuutta, jos 3-5 luokan pisteitä

ei muuten ole tarpeeksi kattamaan tehtävän mukaisia mittauksia, tai ne ovat hankalasti käytettävissä. Pisteverkoston eli uusien pisteiden luontia tehdäänkin käyttökiintopisteiden perustamisella laaja-alaisissa infrarakennushankkeissa, kuten tie- ja ratamittauksissa, missä kuvion 60 mukaisia putkia asennetaan maahan, periaatteessa monikulmiopisteeksi (Laurila 2012, 8–10).



Kuvio 59. EUREF-FIN-kiintopisteiden luokittelu (JHS 184 2017, 6)

Kuvio 59 havainnollistaa kiintopisteluokittelua, missä punaisella viivalla on ympäröity valtakunnalliset E1-E2-luokat, ja tästä ”hierarkiassa” alaspäin olevat muut pisteet yhtenäisellä mustalla viivalla. Katkoviivalla on havainnollistettu ” passiivisia kiintopisteitä,” joista havainnollistetaan tämän hierarkian yli tapahtuvaa mittaamista. E2-luokan hyväksytyt pysyvät GNSS-aset, jotka nimensä mukaisesti keräävät GNSS-havaintoja kokoaikaisesti, voidaan käyttää E3-E6-luokkaan

kuuluvien pisteiden mittaamiseen, jolloin käytettävä mittausmenetelmä määrittää, mihin luokkaan tämä mitattava piste sijoittuu. (JHS 184 2017, 6–8; Laurila 2012, 12; Liikennevirasto 2017b, 10–12.)

Peruskiintopisteitä perustetaan pitkäaikaista käyttöä varten rakennetun ympäristön rakenteisiin tai kiinteään kohtaan rakentamattomalla alueella; seinäpisteitä asennetaan rakennusten seinille, korkeuskiintopisteitä rakennusten kivijalkaan, sokkeliin, kallioon tai liikuttamattomaan maakiveen, monikulmio- ja asfalttipisteitä päällysteeseen tai maastoon.

Kiintopisteitä perustettaessa on varmistuttava, että ne ovat hyvin käytettävissä ja saavutettavissa erilaisten mittausten mahdollistamiseksi. E3-luokan kiintopisteitä on perustettu harvempaan, E4-luokan kiintopisteiden tarkoituksena on tihentää E3-luokan verkkoa. E5- ja E6-luokan kiintopisteet eivät ole yhtä tarkkaan mitattuja pisteitä, tai ne ovat aikaisemmasta koordinaatti- ja korkeusjärjestelmästä muutettuja, mutta eivät uusintamittattuja. E6-luokan kiintopisteet ovat juuri edellä mainittuja tähystarrojen tai hiltinaulojen muodostamia apupisteitä, joita käytetään jokapäiväisten mittausten tukena. (JHS 185 2014, 8; Laurila 2012, 8; Liikennevirasto 2017b, 10–16.)

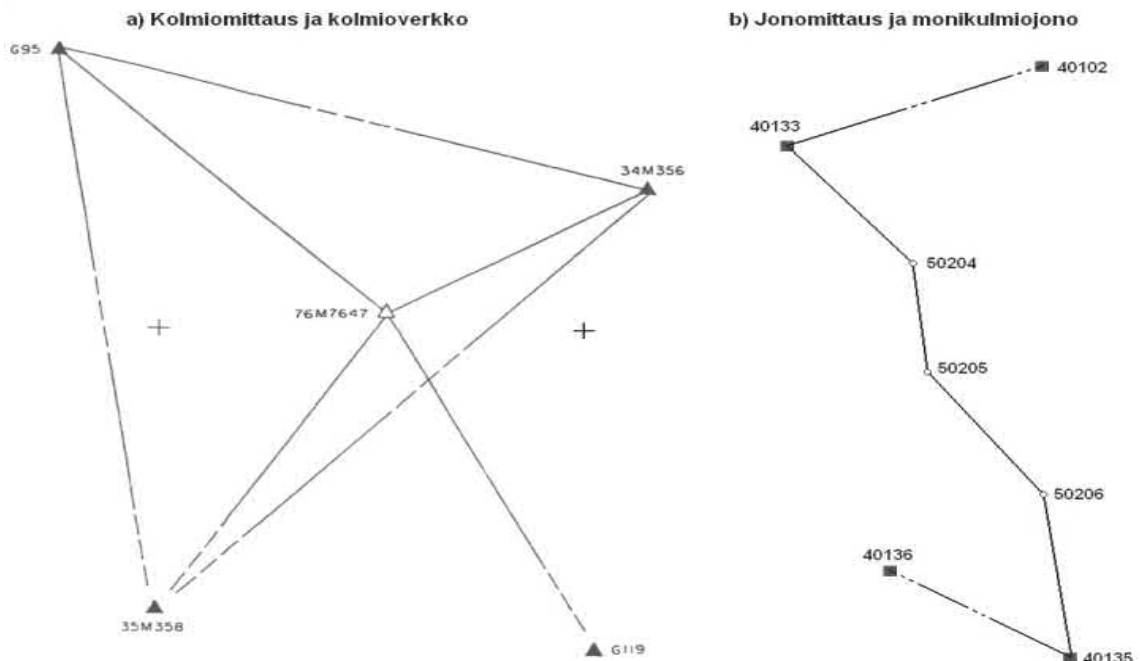


Kuvio 60. E5-luokan mittauspisteiden asennustyöt ja alustavat mittaukset

6.3 Kiintopistemittaukset

Kiintopistemittauksista puhutaan runkomittauksina, ja niissä korostuu entises-tään tehtyjen mittausten tarkkuus, sillä pisteitä voidaan käyttää muiden mittausten lähtöpisteinä. Kiintopisteiden hierarkia, kuten on edellä mainittu, määrittää, miten kiintopisteet mitataan. Mittauksia ovat GNSS-RTK mittaus (E6/E5-luokan pisteet), staattinen GNSS-mittaus, vaaituskojeella vaaitukset, ja takymetrillä jonomittaukset. (Laurila 2012, 8–13; Liikennevirasto 2017b, 12–15.)

Edellä mainituissa pisteissä kolmiomittauksella on mitattu kolmiopisteet, ja monikulmiopisteet jonomittauksella, kuvion 61 havainnollistamana. Yleisesti runkoverkon mittauksia nimitetään runkomittauksiksi, nykyaikana tasorunkoverkkoja mitataan pääosin satelliittipaikannuksen avulla. Käytettävänä työvälineinä on pääsääntöisesti GNSS sekä takymetri, etenkin päivittäisten apupisteiden tekemisessä. Vaaituksella mitataan pisteille tarkka korkeus, ja takymetria käytetään etenkin jonomittauksissa silloin, kun kiintopisteille halutaan tarkka taso -ja koordinaattisijainti. Monikulmio/monikolmiopisteitä on vieläkin varsin paljon Tampereen alueella, ja niitä mitattiin muinoin muun muassa teodoliittimittauksin. (Anttila ym. 2003, 17, 39; Laurila 2012, 12.)



Kuvio 61. Kolmio -ja monikulmiomittaus (Laurila 2012, 13)

6.3.1 GNSS RTK -mittaus

Kiintopisteelle voidaan RTK-mittauksena mitata sille koordinaatit ja korkeus, perustuen otettujen havaintojen keskiarvoon ja keskihajontaan. Periaatteessa tällöin GNSS-kojeen kartoitussauvan tulisi olla tuettuna kolmijalalla tai paalutusjalalla, ja kojeen korkeuden eli sauvan korkeuden oltava 2.0 metriä. Havaintoja otetaan, kun GNSS -laite on alustettu ja fix-tilassa. Havaintoja on otettava 5-30 kappaletta, välissä GNSS-kojeen alustukset, esimerkiksi viiden havainnon jälkeen alustus ja toiset viisi havaintoa ja niin edelleen (JHS 184 2017, 12–13).

GNSS RTK -kiintopistemittauksen aikana tulisi saada yhteys ainakin kuuteen satelliittiin, jotta mittauksesta saadaan riittävän tarkka ja luotettava. Kiintopistemittauksissa pisteet mitataan yksittäisten pisteiden mittauksen sijaan suurina kokonaisuuksina, runkoverkkoina, joiden rakenne ja mittaukset esitetään verkkopiirroksena, joissa tasorunkoverkot ovat muodoltaan kolmioverkkoja, tai monikulmiojonoja. Näistä muodoista tuleekin kiintopisteille nimitys kolmio- tai monikulmiopiste. Tasorunkoverkon piirroksesta pitää ilmetä merkinnöin ja symbolein, millaisessa tarkkuusluokassa alueen kiintopisteet ovat ja millaisia mittauksia niille on tehty. (Laurila 2012, 12; Ryyänen 2022, 13–14.)

Tallentimella voi kirjoittaa mitattavan pisteen tunnuksen uudelleen, jolloin laite mittaa keskiarvon pisteen sijainnille ja korkeudelle, ja havaintojen välisiä tarkkuuksia voi selata laitteelta. Mittauksen tarkkuuden voi tarkistaa esimerkiksi tuomalla havaintojen koordinaatti- ja korkeustiedot laskettavaksi keskiarvolla - ja hajonnalla, ja tarkistaa, että hajontaa ei ole liikaa (JHS 184 2017, 12–13).

6.3.2 Staattinen GNSS-mittaus

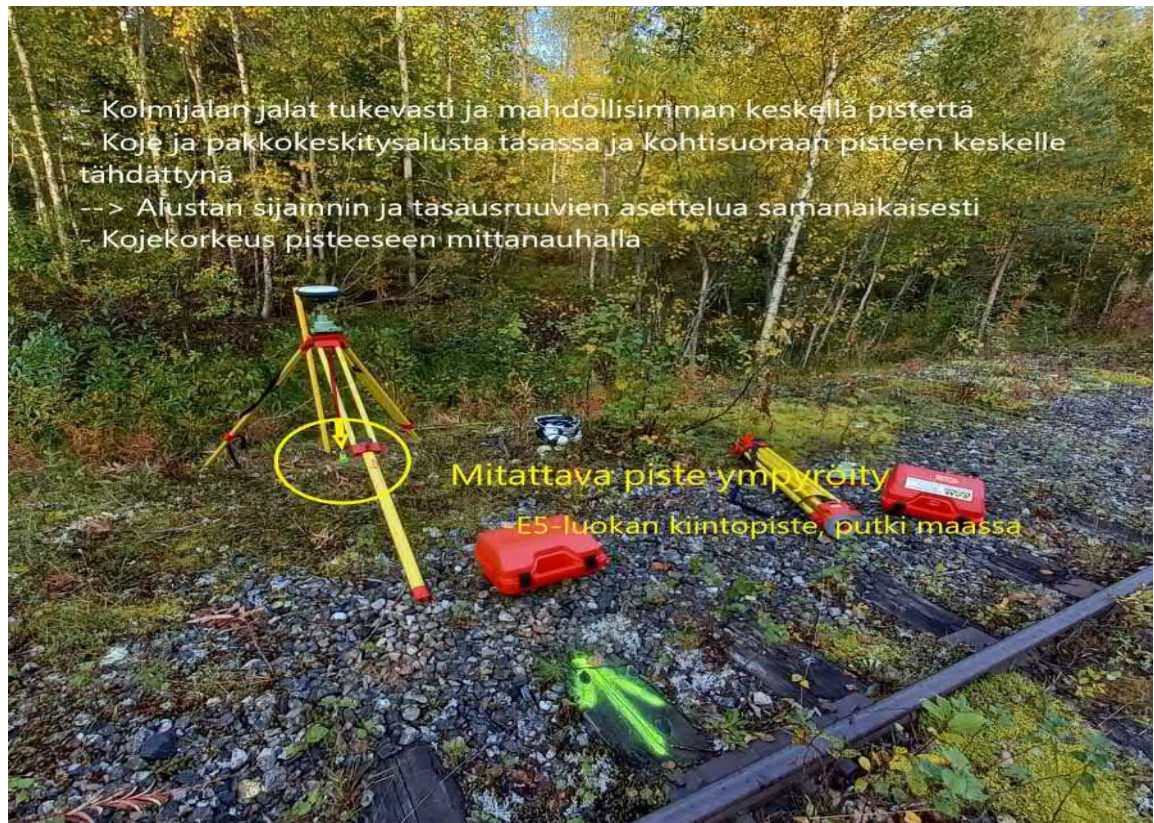
Staattisessa, relatiivisessa GNSS-mittauksessa määritetään uusille tai muuten tuntemattomille kiintopisteille tarkka tasosijainti sekä mahdollisimman tarkka korkeus, mittauksessa käytettävät laitteet ovat paikallaan koko mittauksen ajan, ja mittausaika riippuu muun muassa siitä, mihin kiintopisteluokkaan mitattavat pisteet halutaan, sekä mitattavien kiintopisteiden määrästä ja välimatkasta ja siitä, kuinka helppoa staattisen mittauksen suorittaminen on satelliittigeometrian suh-

teen, PDOP-arvon tulee olla vähintään 8. Mittaus voi kestää mitä tahansa 30 minuutin ja useamman tunnin välillä. (JHS 184 2017, 9–11; Liikennevirasto 2017b, 13.)

Mittauksessa käytetään kuvion 62 mukaista yhdistelmää, missä kolmijalkojen päälle on asetettu tasain, mikä kiinnittää GNSS-kojeen. Kolmijalat ja tasain asetetaan tasaisesti mitattavan pisteen ylle, tasain tasataan kuplan mukaisesti taiseksi, ja tasaimen sivussa olevalla linssillä tähdätään koko tasain pisteen keskipisteen kohdalle paikalleen (JHS 184 2017, 9–11).

Tämän jälkeen staattiseen GNSS-mittaukseen soveltuva koje kiinnitetään tasaimen kiinni, ja kojeen sekä pisteen välinen korkeusero kirjataan mittauksessa käytettävälle tallentimelle, mihin kirjataan myös pisteen muut tiedot, kuten tunnus. Kolmijalat laitteineen on hyvä suojata liikenneohjauskartioilla- tai sulkupylväillä, ”tötsillä”, jotta niihin ei törmättäisi, etenkin jos mittaus tapahtuu vilkkaasti liikennöidyillä kevyen liikenteen väylillä tai ajoväylillä, tosin kiintopisteiden paikat on pyrittävä määrittämään siten, että ne ovat helposti mitattavissa (JHS 184 2017, 9–11).

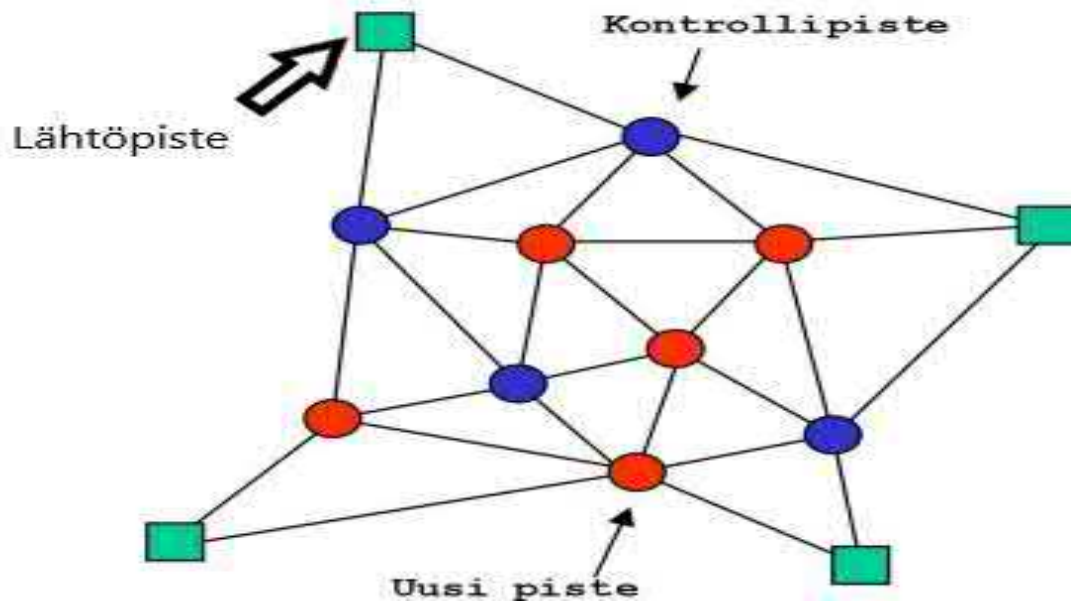
Kuten edellä on mainittu, staattisessa GNSS-mittauksessa määritetään kiintopisteen sijaintia, ja siinä käytetään omanlaisia laskentoja ohjelmineen toteuttamaan tätä (Trimble Business Center), ja se ei Infran kartoittajille ole jokapäiväistä mitaustyötä, kenttätöineen ja laskentoineen. Muuten mittaukseen perehtymättömälle kartoittajalle voi tulla tämä mittausmenetelmä avustavana tahona vastaan, missä edellisen kappaleen kentällä tehtävät toimet on hyvä tietää. Voi olla, että kartoittaja on alustavana mittauksena määrittänyt ohjeen mukaan kiintopisteelle sopivan sijainnin, asentanut sen ja mitannut alustavasti RTK GNSS -mittauksena havainnon pisteestä.



Kuvio 62. Staattisen GNSS-mittauksen toimet maastossa

Staattisessa GNSS-mittauksessa mitataan edellä kerrotuilla välineillä kiintopisteet, jotka ovat joko uusia tai tuntemattomia, tai sitten kyseessä voi olla päivitysmittaus. Tuntemattomia kiintopisteitä kohden pitää olla koordinaateiltaan entuudestaan tunnettuja kiintopisteitä lähtöpisteinä siten, että lähtöpisteet ”sulkevat” tuntemattomien pisteiden verkkonsa eli mahdollisimman tasavuisen silmukan sisään, jo tunnettuja kiintopisteitä pitäisi olla verkon sisällä myös kontrollipisteinä. kuvion 63 mukaisesti. (JHS 184 2017, 9–13; Liikennevirasto 2017b, 13.)

Mittauksen jälkilaskennassa määritetään havaintojaksoissa tuntemattoman pisteen paikka suhteessa tunnettuun kiintopisteeseen, eli koordinaattierot lasketaan mittauksessa. Mittausta ei suljeta samaan havaintojaksoon, vaan toisen havaintojakson eli session havainnoilla. Viereisillä silmukoilla on oltava vähintään kaksi yhteistä pistettä, jotka on siis mitattu molemmissa silmuissa. Mittauksen laskenta tehdään soveltuvalla laskentaohjelmalla, esimerkiksi Trimblen Business Centerillä. (JHS 184 2017, 9–13; Liikennevirasto 2017b, 13.)



Kuvio 63. Staattisen GNSS-mittauksen verkko (JHS 184 2017, 15)

6.3.3 Tarkkavaaitus

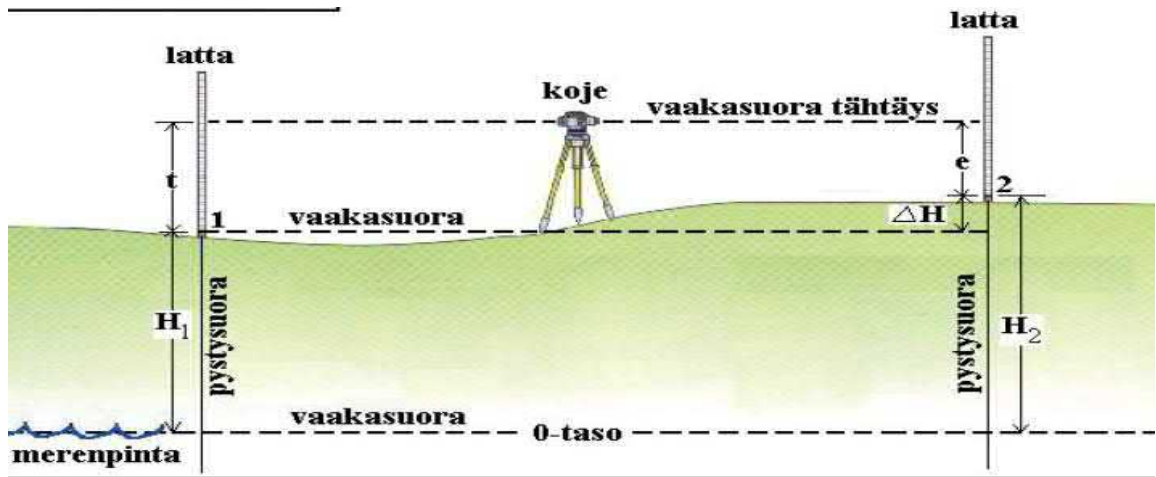
Vaaitus on mittausmenetelmä, mikä edellyttää sekä toteuttaa hyvää korkeuden tarkkuutta, ja itse menetelmä ja kojeen peruseriaate ei ole uusi, erona perinteiseen vaaituskojeeseen on se, että digitaalisella vaaituskojeella tähdätään kojeen tähtäystason ristikko vaakasuorassa latan viivakoodien muodostamaan mittaväliasteikkoon, minkä kautta digitaalinen vaaituskoje osaa lukea latan korkeuden ja etäisyyden, ja sitä kautta vaaituksessa matkan verralla mitattujen havaintojen korkeudet, vertailun tapahtuessa vaaituksen aloittaviin ja päättäviin kiintopisteisiin. (Anttila ym. 2003, 41; Laurila 2012, 18, 204, 207, 209; Liikennevirasto 2017b, 14.)

Käytettävä latta voi olla kiinteä, kuten kuviossa 68 on näytetty, tai teleskooppivarrella kuvion 64 mukaisesti, ja sen pohja asetetaan mitattavan pisteen päälle kohtisuoraan.



Kuvio 64. Teleskooppivartinen viivakoodilatta ja kilpikonna mahdollisimman tasaisella kohdalla havainnon mittaamista varten

Olennainen väline on myös latta, mikä digitaalisen vaaituskojeen mukaisesti on viivakoodiasteikolla varustettu, sekä kilpikonna kuvion 64 mukaisesti, johon latta asetetaan, kun otetaan pisteiden välisillä alueilla havaintoja. Myös mutteri voi olla hyvä lisäväline, jos on paljon päällysteelle perustettuja ”asfalttipisteitä,” joissa mutteri antaa pienen korotuksen päällysteen pinnasta, mikä helpottaa lattan asettamista pisteen kohdalle (mutterin korkeus on otettava pisteen havainnossa huomioon). Lattoja voi olla eri vaaituksia varten erilaisia, mutta pääsääntöisesti käytössä on edellä mainittu viivakoodilatta (Laurila 2012, 209).



Kuvio 65. Vaaitus havainnollistettuna, t = taaksehavainto, e = eteenpäinhavainto (Laurila 2012, 206)

Lähtöoletuksena vaaituksen toteuttamiselle on se, että on tehty alustavat pohjatyöt vaaittaville pisteille, ne on asennettu paikalleen, ja niiden sijainti on selvä, kuin myös vaaituksessa käytettävät korkeuskiintopisteet lähtö ja -sulkupisteinä ovat myös olemassa. Näin on mahdollista etukäteen suunnitella mahdollisimman turvallinen vaaituksen reitti; jos se on mahdollista, on hyvä edetä vähäliikenteisiä reittejä pitkin, tai kevyen liikenteen kaistalla, tosin tämä ei aina kaikissa paikoissa ole mahdollista (Liikennevirasto 2017b, 14).

Vaaitus perustuu nykyaikana siihen, että koje, tai viimeistään laskentaohjelma laskee vaaituksessa tehdyt havainnot, missä kahden pisteen välinen korkeusero lasketaan havaintojen perusteella seuraavalla kaavalla: $\Delta H_{12} = t - e$, missä ΔH_{12} on pisteen 2:n korkeusero pisteen 1 suhteen, t on taaksepäin lukema pisteelle 1, e on eteenpäinlukema pisteelle 2. Kuvio 65 havainnollistaa tätä kaavaa ja mitausta (Laurila 2012, 205–206).

Yksittäisen havainnon korkeus on periaatteessa pystysuora etäisyys vertailupinnasta, yleensä merenpinnan keskivedenkorkeuteen. Kun mitataan korkeuseroa suhteessa korkeudeltaan tunnetun kiintopisteen suhteen, voidaan tämän uuden pisteen korkeus laskea tämän kiintopisteen määrittämästä kiintopisteestä kaavalla: $H_2 = H_1 + (t - e) = H_1 + \Delta H_{12}$, missä H_1 on korkeusrunkopisteen korkeus, H_2 on määritettävän pisteen korkeus, ΔH_{12} on pisteen 2 korkeusero pisteen 1 suhteen (Laurila 2012, 205–206).

Vaaituksessa tarvitaan vähintään kahta ihmistä kuvion 67 mukaisesti, yhden hallinnoimaan kojetta ja toisen lattaa, mutta vaaitusta voi nopeuttaa, jos on vielä kolmaskin henkilö, toinen latankannattelijä, sekä voi olla hyvä, jos on vaikka neljäs henkilö mittaamassa avokelalla ennalta sovitun mittausetäisyyden mukaisesti havaintopaikkojen kohtia etukäteen reitin varrelle (etäisyydet oltava 20-100 metrin välillä). Jos mahdollista, käytössä on hyvä olla kaksi ajoneuvoa, joista toinen on reitin loppupäässä, ja johon voi vähintään toisen ajoneuvon kuljettaja nousta kyytiin, kun hänet viedään hakemaan toinen ajoneuvo reitin alkupäästä. Vaaituksessa käytettävät välineet lastataan ajoneuvojen kyytiin sen mukaan, mitä ennalta sovitaan (Liikennevirasto 2017b, 14).

Vaaituksen alussa kojeelle muodostetaan työ, missä alkuunsa määritetään ne kiintopisteet, joista vaaitus alkaa ja joihin vaaitus lopetetaan, sekä vaaituksen reitillä olevat muut, vaaitettavat kiintopisteet. Määrittämisessä annetaan kiintopisteen tunnus, ja vähintään korkeussijainnin tieto. Jos vaaitetaan uusia, tuntemattomia pisteitä, niiden tunnustieto yleensä riittää. Kuvio 66 havainnollistaa Leican vaaituskojeella, joita Infralla ei ole käytössä, mutta mistä voi nähdä, mitä kojeen näytöllä voi lukea.



Kuvio 66. Esimerkki Leican vaaituskojeen näkymästä

Vaaituskoje asetetaan takymetrin tapaan ruuvien avulla kolmijalkojen päälle mahdollisimman tasaiselle paikalle kohtaan, mistä on turvallista ja mahdollisimman hyvä näkyvyys tehdä mittaus. Tasaimen alustan pitäisi kolmijalkojen säädön jälkeen olla mahdollisimman tasainen, ja koje laitetaan mielellään käyttäjän silmien tasalle, mikä pitää jalkojen säädössä ottaa huomioon. Kojeen tasainta joutuu yleensä jonkin verran säätämään säätöruuveilla, samalla tavalla kuin takymetrin laittamisessa kojeasemaan, erona se, että itse kojeen kompensattori tasaa alkusäätöjen jälkeen itsensä tarkemmin paikalleen, jolloin myös tähtäysristikolla vaakasuora tähtäys lataan onnistuu (Laurila 2012, 207, 210–211).

Vaaituksessa on huomioitava se, että koje tosiaan voi kääntyä vain vaakasuorassa, ei ylhäältä alaspäin pystysuorisesti. Tämä on otettava huomioon siinä, että millä etäisyydellä määritettävä havaintopaikka on, eli minne ”lattamies” menee latan ja kilpikonnan kanssa seisomaan. Tasaisella alustalla voi välimatkat olla pitkiäkin, mutta mäkisessä maastossa taas lyhyitä. Latan on oltava sellaisella korkeudella, että sen voi kojeella havaita hyvin. Kojeen käsittelijä asettaa kojeen paikalleen, kääntää kojeen linssin ensin karkeasti latan kohdalle ja sitten kojeen täsmäruuvia, latan viivakoodin kohdalle havaintoa varten (Laurila 2012, 207, 209).

Latan käsittelijä pitää latan täsmälleen paikallaan pisteen kohdalla koko sen ajan, kunnes eteen- ja taaksehavainnot on tehty, ja vasta sitten liikkuu eteenpäin, kun koje on tehnyt mittauksen, mistä kojetta käsittelevän henkilön pitäisi ilmoittaa varmuuden vuoksi äänekkäästi, jos etäisyyttä ja taustamelua on paljon. Latan käsittelijä menee ennalta sovitun etäisyyden mukaisesti, jos se on mahdollista, esimerkiksi 30 metrin välein, sopivaan paikkaan, josta kojeella pystytään tekemään havainto. Paikan valitsemisessa tulee ottaa huomioon myös maaston korkeussuhteet, kun vaaituskojetta ei voi kääntää pystysuorassa kulmassa, ainoastaan vaakasuorassa.



Kuvio 67. Vaaituskoje ja latta korkeuskiintopisteellä (Tampereen Infra Instagram 2023a)

On pidettävä mielessä myös, kuinka lähellä vaaitettava on, ja asettauduttava sen mukaisesti. Kun latta ei ole pisteen päällä, se on kuvion 64 mukaisesti kilpikongan "pallon" päällä tasaisesti, ja niin, että se ei voi pudota. Itse kilpikonna on oltava tasaisella alustalla kanssa siten, että se ei valu, kaadu, ja sitä ei saa potkaistua. Kilpikonnaa on hyvä myös suojata sivusta omalla turvakengällä, ettei ohiajavan liikenteen renkaista sinkoa pientä kiveä, joka voisi liikuttaa kilpikonnaa pois paikaltaan.

Lattaa pidettäessä, havaintojen mittaamisen aikana, sen tulee olla kaikissa suunnissa suorassa, ja kohdistusta helpottaa latan kyljessä oleva kuplatasain, missä kuplan pitää olla havaintoa tehdessä keskellä kehystä, samalla periaatteella, kuin itse vaaituskojeen tai takymetrin tasainta säädettäessä. Latan pitämisessä paikallaan helpottaa kuvion 68 mukaisesti keppien pitäminen latan sivuilla.



Kuvio 68. Latan pitäminen suorana kiintopisteen päällä (Tampereen Infra Instagram 2022b)

Latan ollessa suorana ja tasaisesti mitattavan havaintopisteen päällä, kojeella otetaan havainto kojeen nappia painamalla, ja havainto tallentuu kojeen muistiin. Kojelle pitäisi kirjoittaa vähintään lähtö- ja sulkupisteinä toimivien pisteiden korkeussijainti. Vaaituskierros aloitetaan lähtöpisteestä ja lopetetaan sulkupisteeseen, mikä voi olla myös sama piste, mistä vaaitus on aloitettu. Lähtö -ja sulkupisteen välillä tehdään havainnot vaaitettavista kiintopisteistä, joilla halutaan korkeussijainti vaaituksella mitata.

6.3.4 Jonomittaus takymetrillä

Takymetria käytetään etenkin seinäpisteiden sijainnin ja korkeuden määrittämisessä, tai sellaisten pisteiden korkeuden mittaamisessa, minne ei vaaitsemalla pääse helposti. Takymetrillä tehtävässä jonomittauksessa takymetri orientointi

tehdään joko vapaalle tai tunnetulle asemapisteelle. (JHS 184 2017, 13–14; Liikennevirasto 2017b, 14–15.)

Matkan varrella kiinnimitattavat pisteet tulisivat olla jonossa, mahdollisimman suoraan ja välimatkojen ollessa yhtä pitkiä, niin, että jonoissa ei ole ”piikkejä,” ja että pisteiden välillä on näkyvyys esteetön (tulee ottaa huomioon mittauksen suunnittelussa). Käytännössä mittaus edellyttää siis takymetrin käyttöosaamista, ja yhtäläisyys vaaitukseen on se, että käytännössä sujuva jonomittaus edellyttää vähintään parityöskentelyä, mieluummin ryhmänä. (JHS 184 2017, 13–14; Liikennevirasto 2017b, 14–15.)

Ennen mittausta on takymetrin, käytettävien pakkokeskitysalustojen ja prismojen oltava kalibroidut, eli niiden tulisi tuottaa samanlaisella, minimaalisella virheellä samanlaisia mittaustuloksia, eli jonomittauksessa käytettävät välineet tulisi olla määriteltäviä ja erikseen testattuja mittausta varten. Takymetri mittaa sekä 1 ja 2-assennoissa sekä orientoinnit että mitattavat pisteet. Säätila kirjataan ylös tasoi-tuslaskentaa varten, mikä toteutetaan esimerkiksi Trimblen Business Centerillä. Mittaustuloksia ei muuteta maastossa erikseen. (JHS 184 2017, 13–14; Liikennevirasto 2017b, 14–15.)

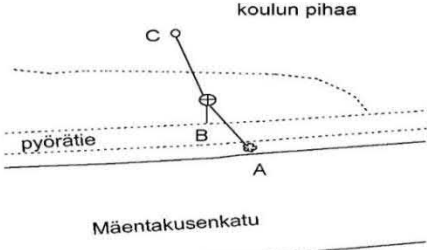
6.4 Pisteselityskortti

Tampereen Infralla on olemassa muun muassa 3D-Winillä avattava tiedosto Tampereen kaupungin alueen kiintopisteistä, sekä kaupungin karttapalvelu Oskarista löytyy oma karttataso asennetuista kiintopisteistä. Kiintopisteistä on sellaisenaan helppo löytää GNSS-merkintämittauksellakin, jos niille on annettu ainakin tasokoordinaatit, mutta esimerkiksi korkeuskiintopisteiden tätä ei välttämättä ole tehty, ja vaikka pisteelle olisikin mitattu tasokoordinaatit, ei ole välttämättä korkeutta, ja merkintämittauksessa korkeustieto on helpottava tieto silloin, kun ei ole tiedossa, onko piste hautautunut päällysteen tai sammalpeitteen alle kokonaan (Laurila 2012, 12).

Kiintopisteistä onkin laadittava pisteselityskortti, minkä avulla kiintopiste on löydettävissä, vaikka käytössä ei olisikaan takymetria tai GNSS-kojeita merkintämittaukseen, metallinpaljastin, lapio ja merkintää varten spraymaali voi riittää ihan hyvin. Pisteselityskortilla havainnollistetut sidemitat (joita pitää olla vähintään

kolme kappaletta) pisteestä muuhun ympäristöön, kuten puihin ja valaisinpylväisiin, edes auttavat pisteen löytämistä. (JHS 184 2017, 23; JHS 185 2014, 8; Laurila 2012, 11–12.) Kuvio 69 havainnollistaa kiintopiste kp301010:n, mikä on mainittu edellä kuviossa 58, pisteselityskorttia.

kp301010 ETRS89-GK24FIN N2000: 6820478.931 24495326.220 125.372

KUNTA	Tampere	Korkeuskiintopiste nro 301010	
KARTTALEHTI	212312Ca	TASO-LUOKKA	TRE X 20620.723
PISTEEN LAATU	Rautapallo		Y 95504.638
ALUSTA	Kallio	KORKEUS-LUOKKA	III N TRE H 124,842
MAANPINNASTA METRIÄ	0.00	TNro	VUOSI 2001
Sijaintipiirros, hakumitat			
		LAITOS	Kaupunkimittausyksikkö
		ALUE	Linnainmaa
		VIEREISET PISTEET	
		Nro	Suunta (g)
		Matka (m)	
		MUITA TIETOJA	

(C) Tampereen kaupunki 03/2011

Kuvio 69. Pisteselityskortti korkeuskiintopisteestä 301010 (Oskari 2023a)

Pisteselityskortti on siis yhdenlainen mittauksen asiakirja, ja siinä tulee selvittää esitettävän pisteen tunnus, sen koordinaatit ja/tai korkeus, pisteen tarkkuusluokka sekä käytettävän koordinaatti- ja korkeusjärjestelmän tiedot, sekä kuva elma pisteen rakenteesta ja sijainnista, sidontapisteistä muuhun ympäristöön sidemittoineen. (JHS 184 2017, 23; Laurila 2012, 11.)

Pisteselityskortilla tulee myös ilmetä käytetty mittaus- ja laskentamenetelmä, mittauksen ajankohta ja viittaus havainto- ja laskenta-asiakirjoihin, sekä kartoittajan, mahdollisen laskijan ja pisteen mitanneen organisaation nimet. (JHS 184 2017, 23; Laurila 2012, 11.)

Kuviossa 69 on huomattava päivitetyn korkeuden muutoksen ero, ylhäällä mainittu korkeustieto on päivitetty tieto 2011 vuoden korkeusjärjestelmän päivytyksen jälkeen, kun korkeus nousi uuden järjestelmän (N2000) myötä 0,53 metriä. Myös koordinaattijärjestelmä on ollut eri pisteen luomisen aikoihin. Kuvio 70 havainnollistaa kiintopiste kp301010:n jäljellä olevaa sidemittaa.



Kuvio 70. Sidemitat korkeuskiintopiste kp301010:lta muuhun ympäristöön pisteselyskortin mukaisesti

Verrattuna maastossa ympäristöä siihen, mitä se oli pisteselyskortin laatimisen aikoihin, huomaa, että A eli koivu on poistettu kortin teon jälkeen. Ainoastaan B eli asfaltin reuna on säilynyt sellaisenaan. Jos kuvion 58 mukainen kiintopiste olisi monikulmio- tai kolmiopiste, olisi pisteselyskortissa maininnat suuntakulmista muille kiintopisteille gooneina.

Pisteselyskortille löytyy 3D-Winistä oma otsikkotaulu "mpkortti.tit." Se voidaan avata, kun 3D-Winiin on hahmoteltu kiintopiste sidontapisteineen. Sidomitat voi tehdä viivana, ja ilmoittaa sidontapistees, mitat ja goonit otsikkotaulun "Editoi" -työkalun avulla, mikä avaa erikseen avautuvan tekstitiedoston, missä on mahdollista muokata ja tallentaa pisteselyskortin otsikkotaulun tarpeellisia tietoja. Pisteselyskortti on mahdollista tulostaa omaksi kuvatiedostoksi.

Kiintopisteen ja sidontamittojen goonit ja etäisyydet saa selville "Laskentatyökalun" "Säteittäin laskenta" -toiminnon avulla. Etäisyyden voi varmistaa "Laskentatyökalun" "Suorakulmainen laskenta" -toiminnon avulla, missä A-linja ilmoittaa lähtöpisteen eli esimerkiksi kiintopisteen ja loppupisteen eli sidontapisteen välisen etäisyyden.

7 SUUNNITTELUMITTAUKSET

7.1 Yleisesti suunnittelumittauksista

Infrahankkeet ovat maankäytön ja yhteiskuntateknisen tarpeen vuoksi tehtäviä asioita, eli on koettu tarpeelliseksi rakennuttaa fyysistä infrastruktuuria eli esimerkiksi teitä, katuja, vesi- ja viemärijohtoja, tukemaan nykyistä tai kasvavaa yhteiskuntarakenteen olemassaoloa, kaavoitukseen perustuen. Infrahankkeet ovat yleensä projektinomaisia hankkeita, ja niille on ominaista hankkeen alkuvaiheen tiukka aikataulu, mukana voi olla paljon eri toimijoita ja toimittajia, aikataulutuksen yhteensovittaminen voi olla vaikeaa, yhden osa-alueen myöhästyminen voi myöhästyttää koko hankkeen aikataulua merkittävästi. Kontrollin ja valvonnan merkitys hankkeen ohjaukselle korostuu, työnjälki on heti näkyvässä (Aalto 2021, 32–33, 38).



Kuvio 71. Infraprojektin eteneminen (Aalto 2021, 37)

Tyypillistä kunnallisinfran hankkeissa voi olla se, että samalle kadunpätkälle on kunnan puolelta suunniteltu esimerkiksi liikenneturvallisuuteen liittyviä muutoksia, kuten ajoradan kaventamista kevyenliikenteen väylien perustamiseksi tai leventämiseksi, minkä vuoksi paikoin kadun päällystettä pitäisi repiä auki muutosten tekemiseksi. Samalle kadunpätkälle voi olla myös tarvetta, vaikka kunnan vesihuollon organisaatiolla perustaa tai huoltaa erinäisiä vesijohtoja, ja sähkölaitoksella huoltaa sähkönsiirtoinfraa (Aalto 2021, 36–37, 62–63).

lhanteellisessa tilanteessa, ja myös yleensä tehdäänkin nämä kaikki tarpeelliset kunnallisinfran työt samaan aikaan, tavallista tämä on etenkin uusien katujen rakentamisessa uusilla asuinalueilla. Tampereen Infran kartoittajalla voi olla samalla alueella montakin asiaa kartoitettavana ja merkintämitattavana tämän vuoksi. Osana infrahankeita onkin tällaisten asioiden ennakointi ja selvittäminen, sekä vaikutusten arviointi etenkin ennen hanketta kuin myös työn aikana ja hankkeen päättymisen jälkeen (Aalto 2021, 36–37, 62–63).

Kuviossa 71 on esitetty infrahankkeen prosessikaavio, sen aloituksesta lopetukseen, missä hankkeen suuripiirteisyys muuttuu hankkeen edetessä yksityiskohtaisemmaksi, etenkin suunnitteluvaiheen vaiheiden aikana (Aalto 2021, 38–40). Tampereen Infralta tilaa sekä kunta -että yksityinen sektori kartoituksia ja pohjatutkimuksia omille hankkeilleen.

Kunnallisinfran suunnittelun, kuten kaavoituksen tueksi, on hyvä tehdä, ja oikeastaan on veloitettu tekemäänkin, kartoituksia ja pohjatutkimuksia, jotta saadaan tietää rakennettavan alueen maanpinnan muodoista ja korkeussuhteista, rakennelmista maanpäällä kuin sen alla ja maanalaisista rakennekerroksista ja pohjamaalajikkeista tarpeeksi. Näin saadaan esimerkiksi tietoa siitä, paljon on maata kaivettavana korkeuden tason ja pohjamaalajikkeen ominaisuuksien suhteen, eli mikä on massanvaihdon/leikkauksen tarve. (Aalto 2021, 84–88, 95; Liikennevirasto 2017a, 17–19.)

Nämä tiedot katusuunnittelun yhteydessä helpottavat rakennussuunnitelman tekoa, hankkeen aikataulun ja kustannuksen arviointia, lisäksi rakennusmaan pohjatietojen (johtolinjat ja maalajit jne.) selvittäminen jollakin tavalla on lakisääteinen velvoite valtioneuvoston asetuksen 205/2009 mukaan. Luonnollisesti, jotta kunnallisinfraa saadaan rakennettua, on niihin liittyviä kartoituksia ja merkintämitauksia rakenteiden paikalleen mittaamiseksi. (Aalto 2021, 84–88, 95; Jääskeläinen 2010, 268–269; Liikennevirasto 2017a, 17–19.)

7.2 Katusuunnittelu

Kunnallisinfran hankkeissa suunnitteluvaiheessa katusuunnittelu, puiston tai muun yleisen alueen suunnittelu ovat keskeisiä vaiheita kunnallisinfran hankkeissa. Katusuunnittelussa on yhtymäkohtia tiesuunnitteluun, eroina kuitenkin se,

Katujen, eli oikeastaan katualueen mitoitus rakennettavine rakennelmineen, riippuu siitä, mihin käyttötarkoitukseen katu on eli minkälaista liikennettä odotetaan kadulle; on olemassa liityntäväyliä eli pihaliittymäkatuja, jotka yhdistyvät kokoojaväyliin, ja jotka edelleen liittyvät pääväylään (sekaliikenneväylä), mikä edelleen voi yhdistyä moottoriväylänä toimivaan pääväylään. Katutyyppejä on olemassa 6 kuormituksen mukaan. (Hartikainen 2003, 113–116; SKTY 2003, 96.)

Näissä eri katutyypeissä on katu mitoitettu käyttösuuksiltaan (ajotie, jalankulku) eri leveyksille, ja katurakenteen rakennekerrokset on mitoitettu kestävyydeltään ja käytettävyydeltään odotetun liikennekuormituksen mukaan, mikä on odotettavasti suurempaa, mitä isompi katu on kyseessä. Mitä isompi katu on, sitä isompi on siihen varattava katualue rakennelmineen, jotka voivat vaatia myös mittavampaa massanvaihtoa eli kaivuutyötä rakennekerrosten toteuttamiseksi. (Hartikainen 2003, 113–116)

Kuvio 73 havainnollistavat näitä rakennekerroksia, joiden paksuuteen vaikuttaa myös alueen routamitoitus, eli kuinka maa-aines routii kyseisellä maantieteellisellä alueella. Roudalla on maa-ainesta tiivistävä ja laajentava vaikutus, mikä voi vaikuttaa rakennekerrosten muutoksiin, ja siten kadun rakenteen rikkoontumiseen kuoppineen ja rakoineen. Näiden katutyyppeiden lisäksi on olemassa myös kevyen liikenteen väylät ja joukkoliikenneväylät. (Hartikainen 2003, 79–80, 90–93, 113–116; SKTY 2003, 95–98.)



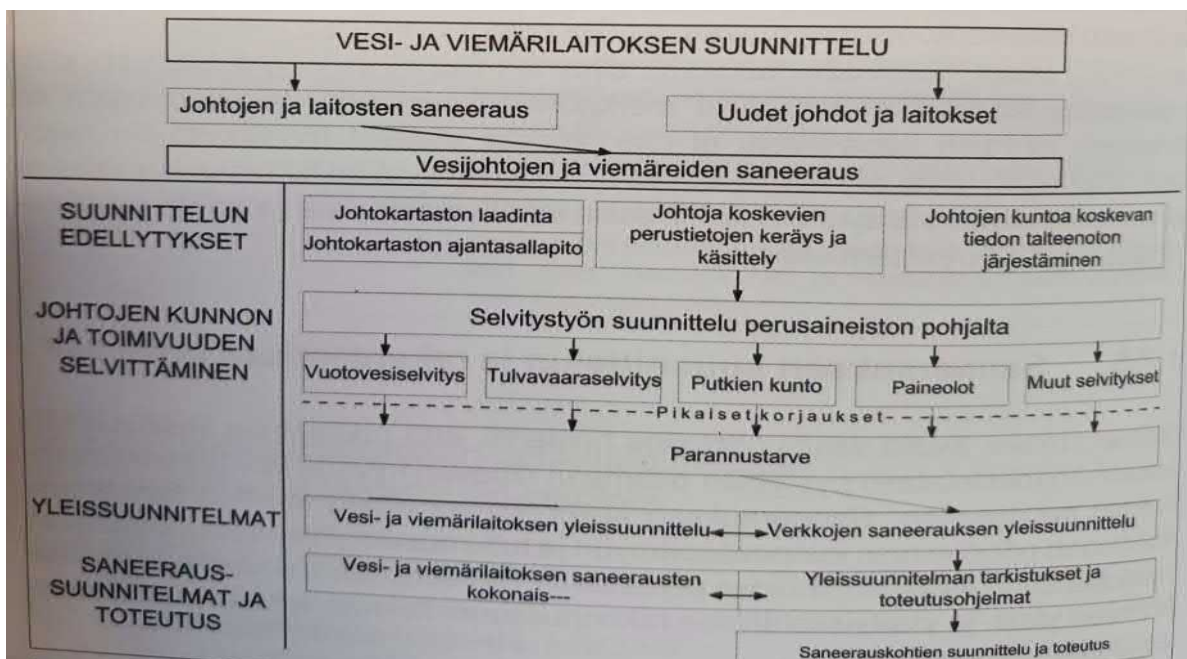
Kuvio 73. Kadun rakennekerrokset (Joki-Erkkilä 2021)

Kadun ja tien rakennekerroksissa on samat periaatteet, kerrosten paksuudet ovat eri, johtuen odotettavasta liikennekuormituksesta, mikä on tiellä (pääväylät eli moottoritiet) raskaampi. Kuten edellä on mainittu, myös katutyypeillä on eri kuormitus. Kuten kuviot 72 ja 73 osoittavat, on kadun rakennekerrokset jaettu, pohjalta ylös maanpintaa kohti lukien, eri kerroksiin, joiden on tarkoitus estää roudan ja kosteuden nousua, pitää rakenteet kuivina sekä jakaa kuormitusta. (Aalto 2021, 136–137; Hartikainen 2003, 79–81; Joki-Erkkilä 2021; SKT 2003, 95.)

7.3 Vesihuoltosuunnittelu

Vesihuoltoverkosto käsittää vesienjohtamiseen liittyvät johtolinjat maanalaisine ja maanpäällisine rakenteineen; talousvesi, -jäte -ja hulevesilinjat. Vesihuoltoverkoston olemassa olevista rakenteista, johtolinjoista maan alla, sekä maanpäällisistä osista kuten kaivojen kansista, tehdään myös kartoituksia. Näin on tiedossa näiden rakenteiden sijainnit ja korkeudet, jos rakennelmia pitää huoltaa, tai tulee rakentamista, mikä voi koskettaa myös vesihuoltoverkoston rakenteita jollakin tavalla. Ylipäätään, kuten on aiemmin mainittu, vesihuoltoverkoston eri johtolinjoja rakenteineen asennetaan erittäin paljon katurakentamisessa, kuten kuviot 72, 75

ja 76 osoittavat, kuvio 74 havainnollistaa vesihuollon linjojen suunnittelua tarkemmin. (RIL ry 2010, 13–17, 152; Tuusula 2023.)

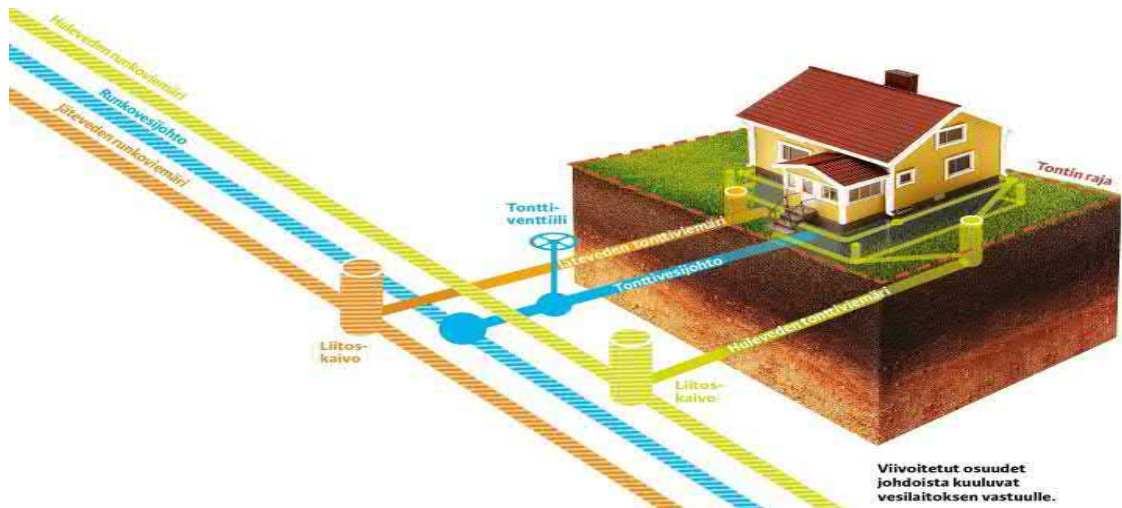


Kuvio 74. Vesihuoltoverkoston rakenteiden suunnittelu (RIL ry 2010, 92)

Tampereella on kunnallista talousvesivesijohtoverkoston yli 800 kilometrin edestä ja tuhansia asiakaskiinteistöjä jakelujohtoihin liittyneinä, sekä muun muassa painetta luovia rakenteita, edesauttamaan veden liikettä eteenpäin korkeuserojen takia maastossa, sekä vesitorneja. Kantakaupungin alueella talousvesiverkosto jakaantuu kahdeksaan eri piiriin, joista keskustan ja Tesoman piirit ovat suurimpia (Tampereen Vesi 2023).

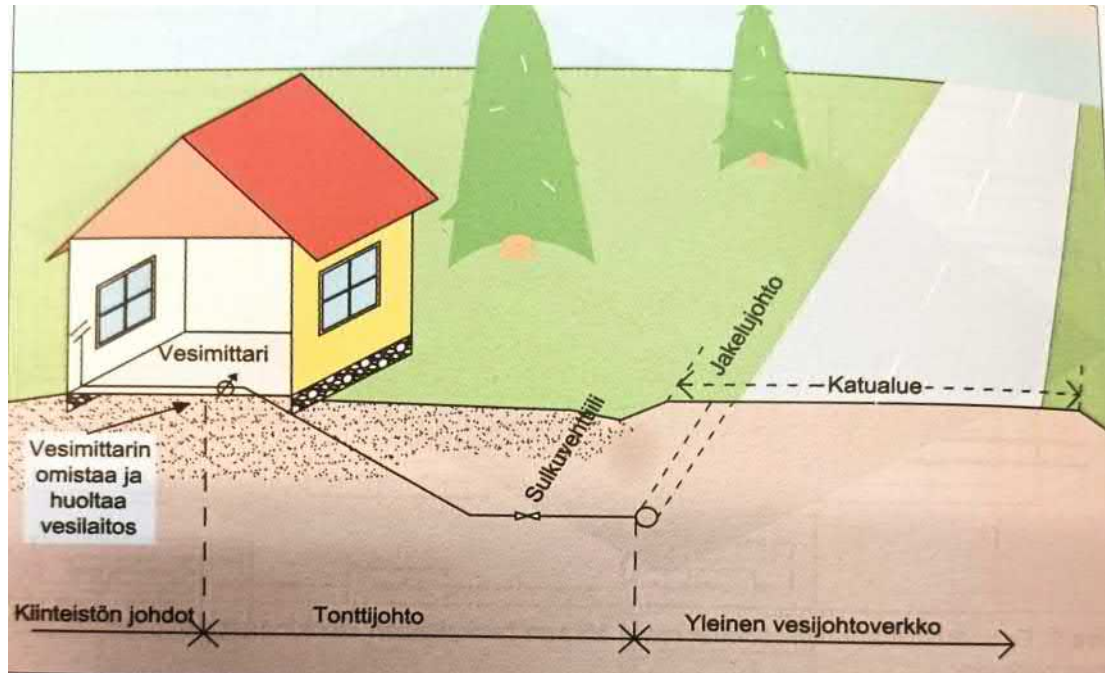
Tampereella jätevesiviemäriverkoston jakaantuu neljään erilliseen viemärointi-alueeseen, mihin kuuluu yli 90 jätevedenpumppaamo Tampereella ja 22 Pirkkalassa ja käsittään käytössä olevat kaksi viemärointijärjestelmää, joista keskusta-alueella on vanhimpana sekaviemärointi, missä jäte- ja hulevedet johdetaan samassa viemärijohtolinjassa eteenpäin jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi. Muualla kaupungissa on erillisviiemärointi käytössä, missä vain jätevedet johdetaan puhdistamoille, kun taas sade- ja kuivatusvedet johdetaan sopivaan maaston kohtaan maahan imeytettäväksi, tai sitten sellaisenaan suoraan vesistöön (Tampereen Vesi 2023).

Linjoja sekä niiden rakenteita kartoitetaan eri mittapuitteissa eri kartoitusten mukaisesti, esimerkiksi normaalissa maastomallissa pelkät kaivojen kannet ja rummut maanpinnalla riittävät. Joskus voi olla tarpeen tehdä juuri johtokartoituksia, missä selvitetään johtojen, niiden suuntien ja lähtöjen sekä niiden maanpäällisten rakenteiden sijainteja sekä korkeuksia (RIL ry 2010, 152).



Kuvio 75. Kunnallinen vesihuolto (Tuusula 2023)

Tampereen Infralle vesihuoltoverkoston kartoituksia tehdään yleensä tästä infra- vastaavalle taholle tilauksena. Paikoin voi olla tarpeen tehdä yhteistoimintaa ja tehdä näitä kartoituksia muutenkin, muun muassa kadunrakennuksissa. Myös kantakarttaan voidaan, asemakaavaa varten, täydentää johtoelementtien aineistoilla, missä pohjakartalla on esitetty johtolinjojen maanpäälliset osat, ja maanalaiset osat ovat erillisenä elementtinä. Kunta voi ylipäättään pitää johtoverkkoon liittyvää kartastoa yllä (JHS 185 2014, 6).



Kuvio 76. Vesijohtoverkon osat (RIL ry 2010, 26)

Ylipäättään ennen maanrakennustöitä on selvitettävä etukäteen ja paikan päällä johtojen sijainti ja korkeus, ja merkittävä esimerkiksi kepein ja spraymaalilla sijainti. Johtojen näyttö on lakisääteinen tehtävä. Johtolinjan omistavalla taholla, kuten vesihuoltolaitoksella, kuin vastaavasti sähkölinjojen osalta sähkölaitoksella tai tietoliikennekaapelien osalta teleyhtiöllä, on yleensä oma mittausryhmä tai urakoija, joka osoittaa johtolinjan sijainnin, ja edellä mainituilla tavoilla osoittaa ja merkitsee linjan sijainnin. Kaapelit paikannetaan metallinpaljastimilla, kaapelipaikantimella, sekä GNSS-laitteella ja takymetrillä (RIL ry 2010, 152).

Tampereen Infra ei kaapelinnäyttötoimintaa tee, mutta Infran oman kartoittajan on oltava selvillä, miten johtolinjan sijainti voidaan osoittaa. Maanrakennus- tai pohjatutkimustöitä varten Infran kartoittaja voi tällaisen kaapelinäytön tapahtuessa merkitä linjan sijainnin myös itse, ja pohjatutkimusten osalta siirtää kairauspistettä, jos se on liian lähellä johtolinjaa, ja on hyvä tuntea, miten näyttöjä tekevät tahot merkitsevät linjoja, kuten kuviossa 77 on esitetty.



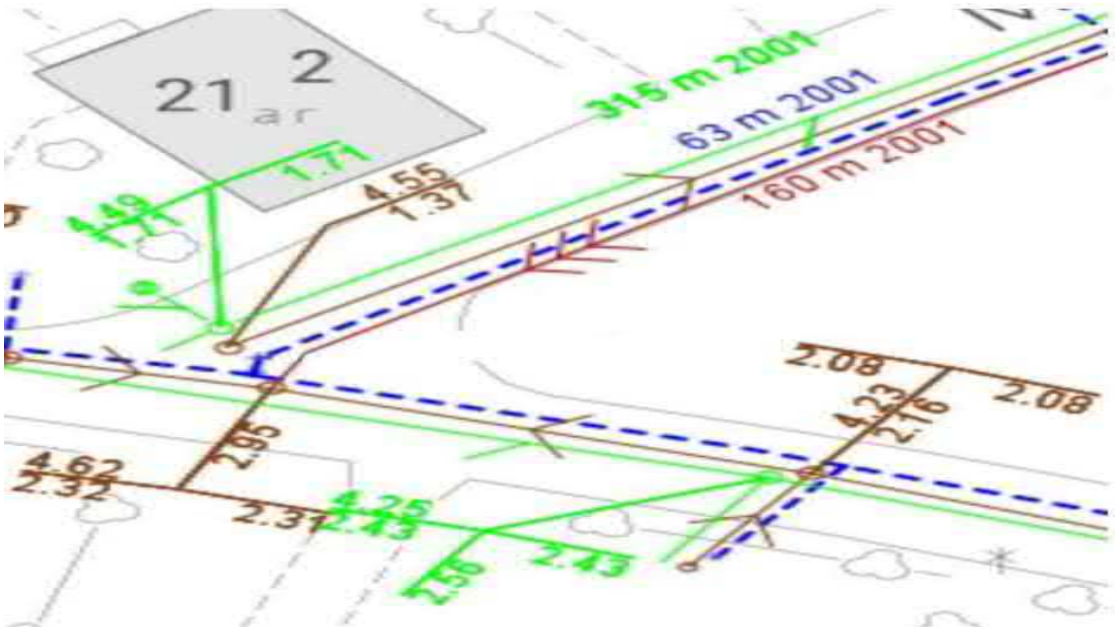
Kuvio 77. Kaapelinnäyttö pohjatutkimuspisteiden merkintämittauksen yhteydessä Konginkankaalla Keski-Suomessa. Punainen ja oranssi ovat merkittyjä johtolinjoja, jotka on näytön ohessa kartoitettu paikoin GNSS-mittauksena

On eri määritelmiä johtolinjojen kartoille, joita varten kartoitusta myös tehdään:

- Johtokartta, mikä on sijaintitarkka, ja missä on esitetty tiedot maanalaisista johdoista ja niiden välittömistä maanpäällisistä rakenteista. Sisältää myös pohjakartan johtotietojen lisäksi. Johtolinjat voi olla esitettyinä omilla kartoillaan tai yhdistelmäkartalla. Mittakaava on risteysalueilla 1:200 tai 1:250, muuten 1:500, 1:1000, 1:2000
- Tarkepiirustus, mikä on mittakaavaton yleensä, ja on suunnitelmapohja tai vastaava esitys piirretystä, toteutetusta johdosta tai sen rakenteesta, niitä kuvaavien sidemittojen kera. Sidemitat on yleensä kohdistettu maaston merkkeihin ja rakennusten seiniin.
- Verkkokartta, jonka mittakaava vaihtelee 1:500-1:10000 välillä, esittää yleensä yhden vesihuoltolaitoksen verkkoa koskevat tiedot kaaviollisesti. Johtojen keskinäinen sijaintijärjestys on oltava oikea, sijaintitieto on likimääräinen, ja kartta voi sisältää erityistietoa sekä myös verkkojen ja laitteiden hakumittoja.

- Yleiskartta on mittakaavassa 1:4000 tai pienempi, ja kuvaa laitoksen joh-toverkon kokonaisrakennetta (RIL ry 2010, 151).

Kuvio 77 havainnollistaa mahdollisen kartoituksen yhteydessä tehtyä johtolinjan kartoituksen karttaa.



Kuvio 78. Vesihuollon johtoverkon kartoitus (Perlinen 2021, 39)

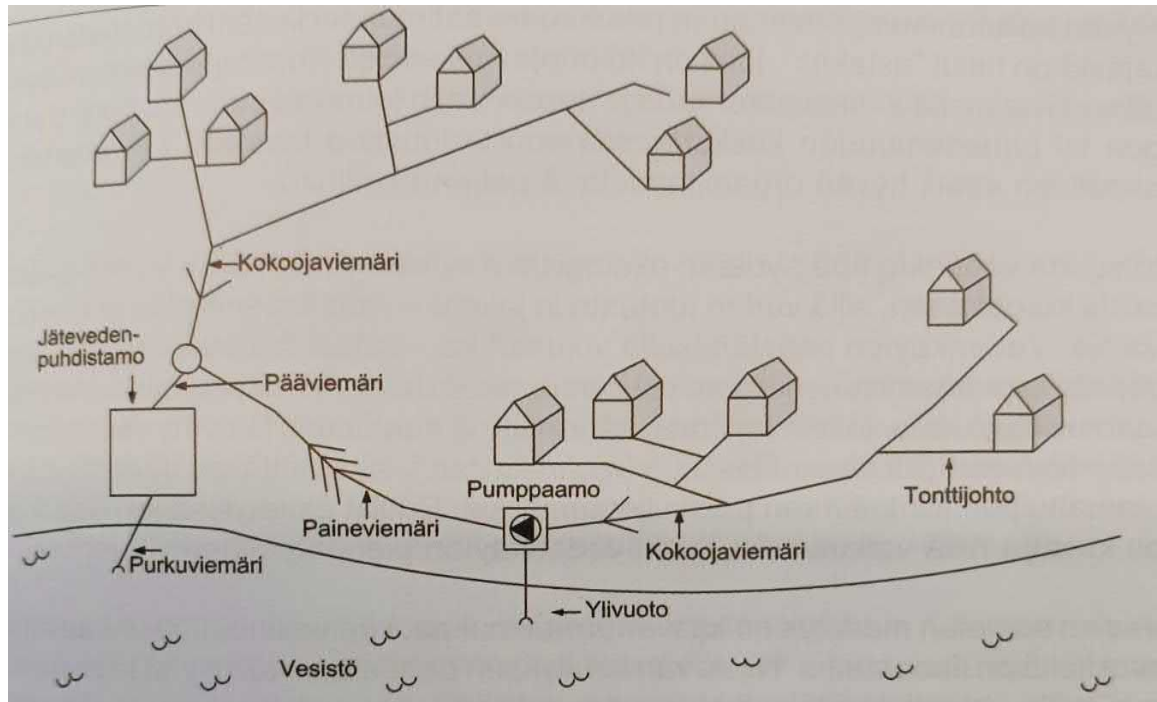
Kuvio 78 havainnollistaa värikoodeissaan eri vesijohtorakennelmia; kartalla sininen katkoviiva havainnollistaa vesijohtoputkia ja yläpuolella oleva merkintä 63 m 2001, kertoo johdon putken halkaisijan, materiaalin sekä linjan osuuden rakennusvuoden, numero 63 tarkoittaa, että linjan putki on halkaisijaltaan "DN63" ja kirjain m kertoo putken olevan muovia" (Perlinen 2021, 39).

Jos johdon putki olisi valurautaa, merkintä olisi v, teräsputkessa t, SG-putkessa sg ja betonipohjaisissa putkissa b. Samat merkintä tavat pätevät kaikissa muissakin putkissa, eli myös jätevesi-, hulevesi- ja paineviemäriputkissa. Kartalla olevat venttiilit merkataan linjan päälle X-merkillä tai poikkiviivalla (Perlinen 2021, 39).

Vaaleanvihreä viiva havainnollistaa on hulevesiviemäriin linjaa, ja siinä pätevät samat piirrosmerkit kuin jätevesiviemäriin, mistä on seuraavaksi asiaa (Perlinen 2021, 39).

Ruskea/tummanpunainen/punainen viiva johtolinjan värinä ilmaisee jätevesiviemäriin johtoa. Jätevesiviemäriin päällä olevat samanväriset avoimet ympyrät

havainnollistavat jätevesikaivoa, joista lähtevät ilmaisiviivat kertovat kaivon koron merenpinnasta. Suurin lukema ilmaisiviivalla ilmaisee kaivon kannen korkeuden, toiseksi suurin kaivon syvyyden kannen reunalta mitattuna, ja pienimmät luvut havainnollistavat kaivolta lähtevien putkien vesijuoksun korkeuden. Korkojen avulla saadaan selvitettyä viemärin syvyys maanpinnasta sekä suunta, minne jätevesi ohjautuu (Perlinen 2021, 39).



Kuvio 79. Jätevesiverkon osat (RIL ry 2010, 27)

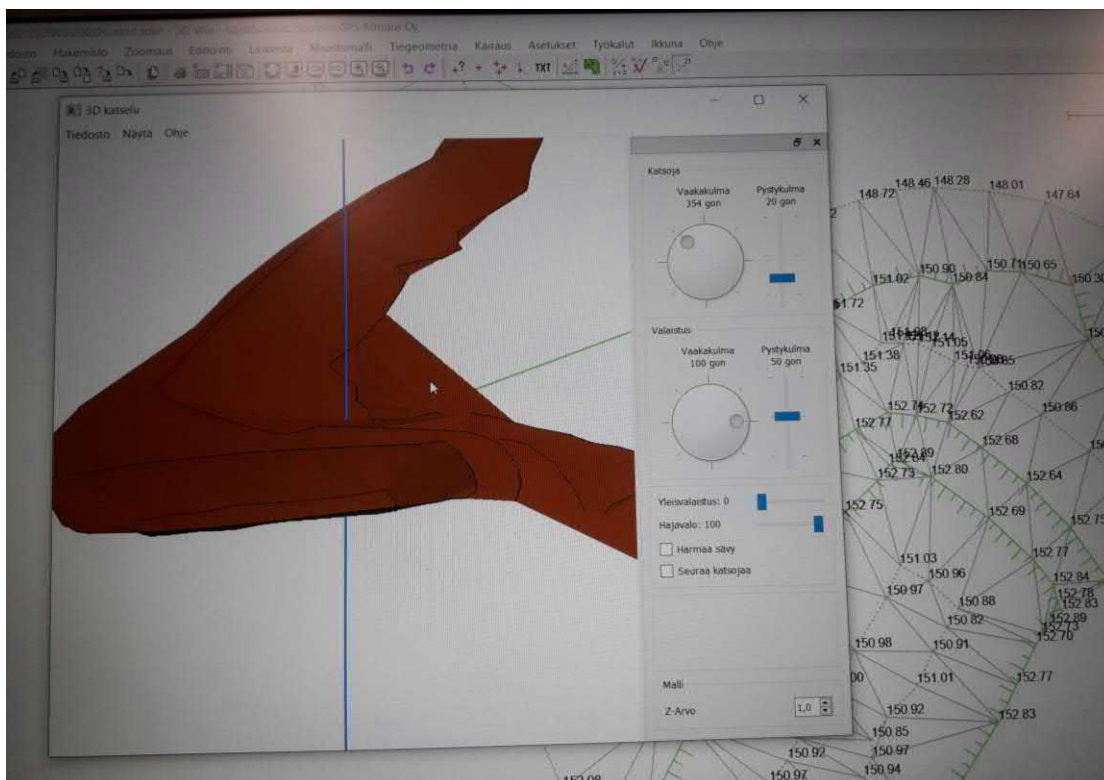
Kuviota 79 ja siinä esitettävien termien ja rakenteiden selitys on seuraavanlainen; tonttijohto eli tonttiviemäri siirtää tontin rakennuksen jätevedet tontin tarkastuskaivolta eteenpäin kokoojaviemäriin, mihin liittyy muitakin tonttijohtoja, ja mikä siirtää jätevedet edelleen pääviemäriin, johon liittyy muitakin kokoojaviemäreitä. Pääviemäriä jätevesi siirtyy käsiteltäväksi puhdistamolle, missä purkuviemäriin siirtyy puhdistettua purkuvettä vesistöön. Jätevettä pyritään ohjaamaan painovoiman avulla eteenpäin tässä prosessissa, ja silloin kun se ei ole mahdollista, hyödynnetään pumppaamoita ja painevesiviemäreitä, missä jätevesi ohjataan paineella eteenpäin (RIL ry 2010, 13–17, 26–27, 118–21).

Kuviossa 79 mainittu ylivuoto tarkoittaa joko johtolinjan putkeen vahingossa tulevaa pohjavettä tai valumavettä maanpinnan yläpuolelta, jos putkien liitokset eivät

ole tarpeeksi hyvin tehty, tai nopeasti lisääntyntä jäteveden määrää, että rakennelma ei sellaisenaan pysty siirtämään jätevettä eteenpäin prosessissa, vaan joutuu purkamaan osan tästä ylivuodosta muuhun ympäristöön. (HSY 2023; RIL ry 2010, 119–120.)

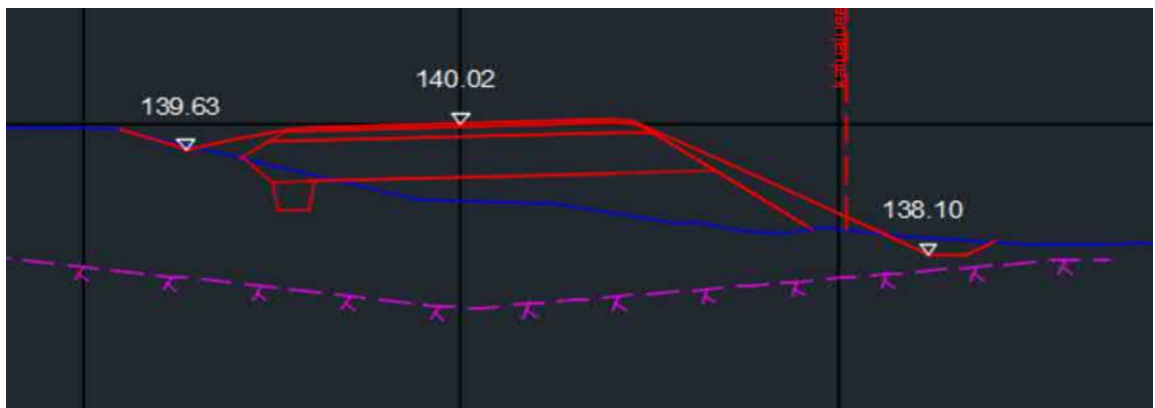
7.4 Suunnitelmamittauksen kartoitukset ja mittaukset

Kunnan infran rakentamista tukevan kartoitusmittauksen tavoitteena on tukea muun muassa rakentamiseen ja kaavoitukseen liittyviä päätöksiä. Kartoitus voi olla kaksivaiheinen, eli ensimmäisessä kartoituksessa hahmotetaan alueen kokonaisuutta, seuraava kartoitus voi olla pohjatutkimuksia tukeva, missä kartoituskohteet voivat olla rajatumpia alueeltaan ja selvitettäviltä kohteiltaan. Maastomalli on kartoituksen lopputuote, kuvio 80 havainnollistaa tällaisen maastomallin havainnointia 3D-Winissä, maastomallin ja kolmioidun 2D-tason suhteen. (Aalto 2021, 84; Laurila 2022, 266; Liikennevirasto 2017a, 17–19.)



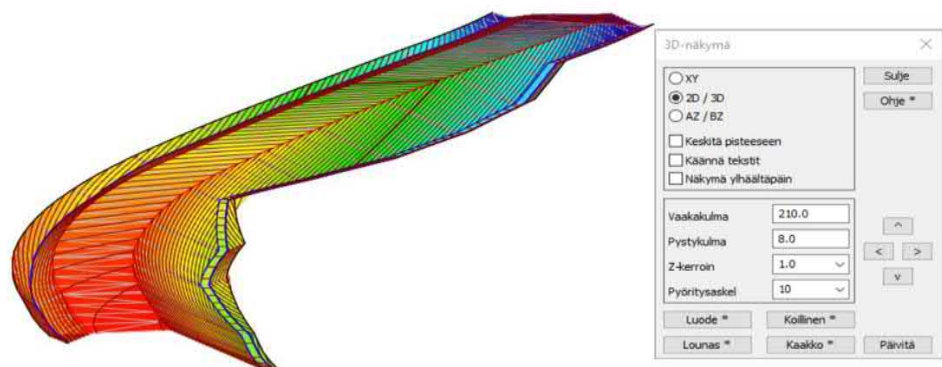
Kuvio 80. Maastomalli kolmiulotteisena ja kolmioituna 2D-tasona koodeineen ja korkeuksineen

Tällainen maastomalli on olennainen osa katu- ja muun kunnallisinfran suunnittelussa. Kartoitetun aineiston perusteella saadaan tietoa suunnittelun alla olevasta kohteesta, oli kyseessä sitten jo asemakaavoitusta tai jo yleis-, katu -tai peräti rakennesuunnittelua tukeva kartoitus. Maastomallin pohjalta tehdään kadun rakentamiseen tehtävät suunnittelumallit paaluväleineen, pituus- ja poikki-leikkauksineen esimerkiksi 3D-Winillä ja Autocadilla, kuten kuvioissa 81 ja 82 havainnollistetaan kyseisillä ohjelmilla tehtyä suunnittelumallinnusta kevyen liikenteen väylää varten. (Hartikainen 2003, 114–115; Liikennevirasto 2017a, 17–19.)



Kuva 81. Autocad-näkymä eräältä paaluväliltä korkeineen

Kuviossa 81 violetti väri hahmottaa kallion pintaa, sininen nykyistä maanpintaa (maastomallissa kartoitettu), punaisella on kadun eri rakenteet.



Kuvio 82. Korkeuskäyrien mukainen malli katualueen rakenteen ylimmästä yhdistelmäpinnasta

Maastomallin ohella muita suunnittelumittausten olennaisia kartoitustehtäviä ovat esimerkiksi hulevesi ja -viemärijohtokartoitukset, joista on kerrottu ja havainnollistettu luvussa 7.6.

7.4.1 Pohjatutkimukset

Pohjatutkimuksiin kuuluu myös maaperätietojen tutkiminen, missä selvitetään maaperälajikkeet ja niiden paksuudet ja syvyydet hankealueella, sekä pohjaveden korkeus. Näin selviää, että onko pohjamaa käytettävissä sellaisenaan rakentamista varten, vai onko tarve käyttää rakennekerroksia, kuten hiekkaa ja soraa rakennelman alla, ja kuinka paksuja näiden rakennekerrosten tulisi olla. Näin ennaltaehkäistään tulevan rakenteen painumat ja rikkoontumiset ja sen käytettävyyden mahdollisimman turvallisesti ja pitkään käyttötarkoituksen mukaisesti. (Aalto 2021, 85; Liikennevirasto 2017a, 26.)

Pohjatutkimuksissa alustavasti suunnitteluvaiheessa hankitaan jo olemassa olevat tiedot maaperästä, ja määritellään jatkotutkimusten tarve, laajuus ja menetelmät hanketta varten. Määrittelyssä hankkeen maaperälajitutkimuksissa maaperänäytteiden rakeisuudesta määritellään, mikä maaperälajike on kyseessä, mikä on sen routivuus, vedenläpäisevyys, käsiteltävyys rakennustyön aikana ja sen kelpoisuus rakennusmateriaaliksi. Kairauksessa otetaan näyte sekä määritellään maaperän kerrokset ja niiden paksuudet sekä asennetaan pohjaveden tutkimuspisteet eli pohjavesikaivot, joista tarkkaillaan pohjaveden korkeutta. (Aalto 2021, 85; Suomen Vesiyhdistys ry 2005, 87–91)

Kentällä kairaaja/pohjatutkija käy kairavaunulla tekemässä kairauksen mahdollisimman lähellä määriteltyä tutkimuspistettä, kuin mahdollista, ja tekee kairauksen kuvion 83 tapaisella kairavaunulla kairaustavan ja ohjeen mukaiseen syvyyteen. Esimerkiksi jos on tarve asentaa pohjavesiputki, kairaus tehdään pohjaveden pintaa alemmas kalliokerrokseen porakairauksena, ja siitä pyrkimyksenä on kairata vielä kolme metriä kallion pintaa syvemmälle, jolloin kallion pinnan taso on varmistettu, ja minkä jälkeen kairattuun aukkoon asennetaan muoviputket (umpi- ja rakosiiviläputket), sekä metallinen suojaputki kansineen ja lukkoineen, ja täten pohjavesiputkea voidaan hyödyntää pohjaveden tason tarkkailemisessa (Suomen Vesiyhdistys ry 2005, 87–91).



Kuvio 83. Kairausvaunu ja tallentimen mittaustuloksia

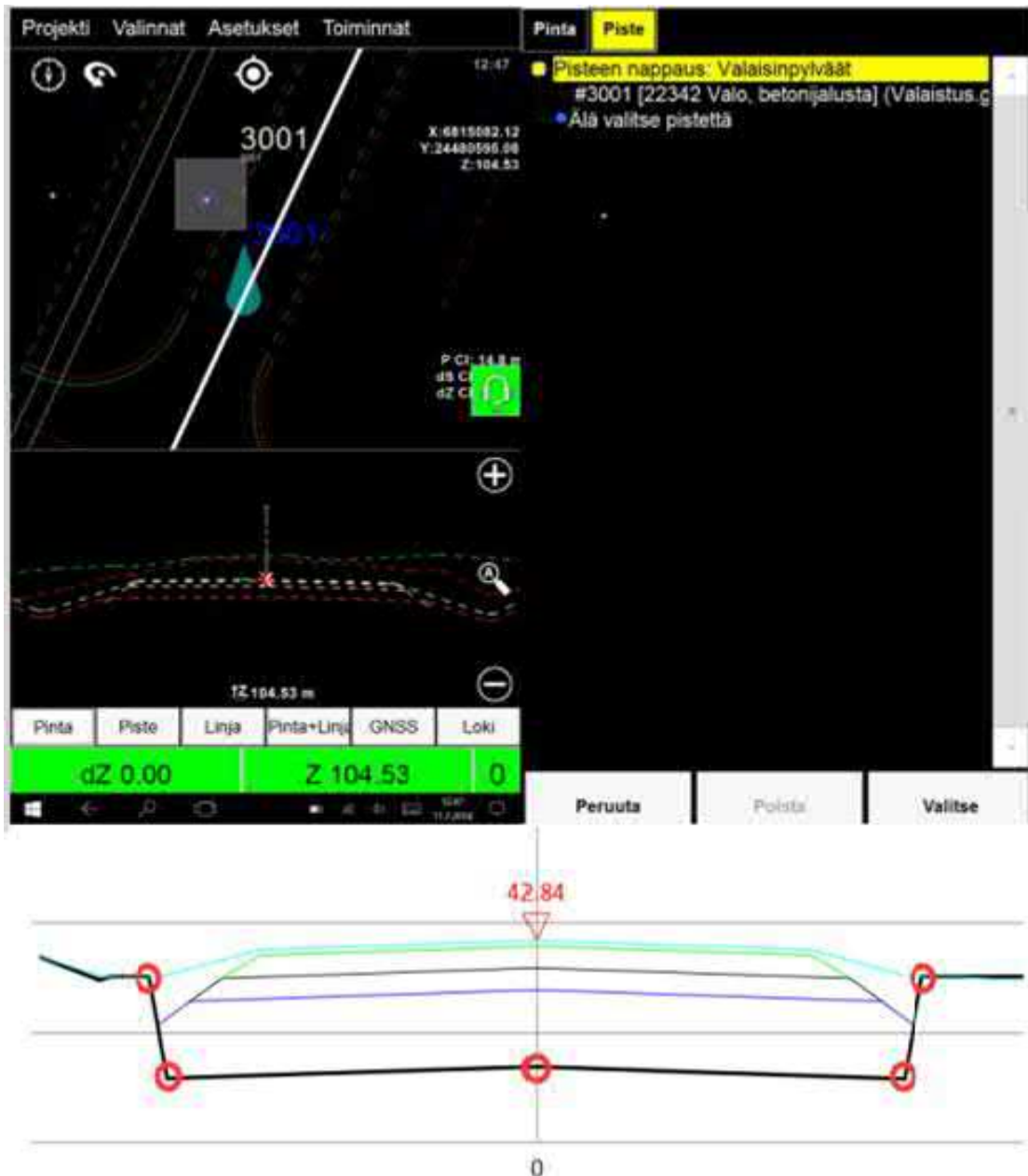
7.4.2 Koneohjauksesta

Koneohjauksella toteutetaan rakennesuunnitelmien pohjalta infrarakennustöitä, kuten massanleikkuuta kaivuutöineen ja rakenteiden täyttöä (rakennekerrokset), ilman, että kartoittajan täytyy merkintämitata keppejä sihtilappuineen työmaalla. Olennaista on, että koneohjauksella koneenkuljettaja tietää, millä korkeustasolla ollaan kullakin tarkasteluhetkellä ja tähän perustuen hän tietää, että kuinka paljon maa -ainesta kaivetaan pois, paljonko on vielä jäljellä kaivettavaa, sekä paljonko esimerkiksi kadunrakennustyömaalla on vielä täytettävää tarkasteluhetkellä kyseiselle rakennekerrokselle. (Jääskeläinen 2010, 38–43; Novatron 2023; Tampereen Infra 2020.)

Koneohjauksen toteutumiseksi koneella pitää olla kuvion 4 mukainen satelliittiyhteys koneen sijainnin ja korkeuden selvittämiseksi. Koneen kauhassa on antureita, joiden avulla on tiedossa, mikä on kauhan koordinaatti- ja korkeussijainti. Näin koneenkuljettaja voi asettaa koneen kauhan tarkasteltavaan kohtaan, ja saada siten tietää kohteen korkeuden, sekä saada tietoonsa, kuinka paljon kauha on tarkasteltavan rakenteen ylä -vai alapuolella, 10-30 millimetrin tarkkuudella. InfraKit on keskeinen väline ja ohjelma koneenohjauksessa, sillä ohjelmaan tulee

tieto koneenkuljettajan tekemistä tarke/toteumamittauksista, kuten edellä on mainittu. Näitä mittauksia tehdään enintään 10 metrin välein. (Jääskeläinen 2010, 38–43; Mulari 2018, 3; Novatron 2023; Tampereen Infra 2020.)

Kuvio 84 havainnollistaa työkonetta sekä tietokoneen näytöllä, miltä näyttää koneohjausjärjestelmän toiminta



Kuvio 84. Koneohjauksesta (Mulari 2018, 24; Tampereen Infra 2020.)

Rakenteiden tarke/toteumamittauksista sekä niiden vaatimuksista on kuviossa 85.

Työkoneella tehdyistä rakenteista tarkemittaukset takymetrilla (kartoittaja) 50 m välein kohteen pituus ja laajuus huomioiden

- Huomioiden, että jokaisesta kohteesta mitataan vähintään 2 poikkileikkausta jokaisesta rakenneosasta
- Mittaukset rakenteista + rakenteiden muutoskohdista
 - poikki- ja pituussuuntaiset taitteet, siirtymäkiilat, kaarteet jne.
- Jos mittausten tulokset eivät täytä InfraRYL:in valmiiden rakenteiden tarkkuusvaatimuksia (InfraRYL), niin
 - Mittausväli tihtyy 20 m väliseksi
 - Selvitetään poikkeamien sijainnit ja korjataan ne

Alkuperäiseen mittausväliin 50 m voi palata, kun näin tiheämmin tarkemittatun kohteen 4:stä poikkileikkauksesta mitatut tarkkeet eivät poikkea vaatimuksista (InfraRYL)

Tie- ja katurakenteet					
Rakennekerros	Mittausväli (m)	InfraRYL mittavaatimukset		Työkonejärjestelmältä vaadittava tarkkuus	
		XY (mm)	Z (mm)	XY (mm)	Z (mm)
Kantava kerros	*10	-0 ... + 150	+ 20 ... - 20	+ 50 ... - 50	+ 20 ... - 20
Jakava kerros	*10	-0 ... + 150	+ 30 ... - 30	+ 100 ... - 100	+ 30 ... - 30
Suodatin kerros	*10	-0 ... + 150	+ 40 ... - 40	+ 100 ... - 100	+ 30 ... - 30
Väylärakenteen alapinta	*10	-0 ... + 200	+ 0 ... -100	+ 100 ... - 100	+ 30 ... - 30
Alin yhdistelmäpinta	*2	-0 ... + 200	+ 0 ... -200	+ 100 ... - 100	+ 30 ... - 30
*Hankekohtaisesti sovittu mittausmenetelmä tai korkeustoleranssi					

Kuvio 85. Kartoittajan tekemät tarke/toteumamittaukset ja tie – ja katurakenteiden mittausvaatimukset (Tampereen Infra 2020)

7.5 Katusuunnittelun merkintämittaukset ja kartoitukset

Merkintämittausta voi soveltaa pisteen tai viivakohteen merkintään maastossa, on olennaista havainnollistaa, onko merkittävä kohta juuri siinä kohtaa, missä sen pitäisi olla, tasosijainniltaan ja korkeudeltaan. Jos merkittävä kohde on eri sijainnissa tai korkeudessa, se pitää ilmoittaa merkinnöin (siirtomittamenetelmä), ja jos mahdollista, työmaalla urakoiville työntekijöille, jotka tulevat asentamaan tai poistamaan rakenteita näiden merkintöjen avulla. Merkintämittauksella tuetaan suunnittelumittauksissa rakentamista, ja helpotetaan ja edesautetaan sen toteutumista turvallisesti ja tehokkaasti.

Kuviossa 86 havainnollistetut, merkintämitattavat kohdat merkitään sitä tiheämmin, mitä mutkaisempi tasosijainti on merkittävällä linjalla, tai kun korkeudet merkittävälle kohdalle muuttuvat. Merkintämittauksessa käytetään takymetria, kartoitussauvan tai miniprisman kera.



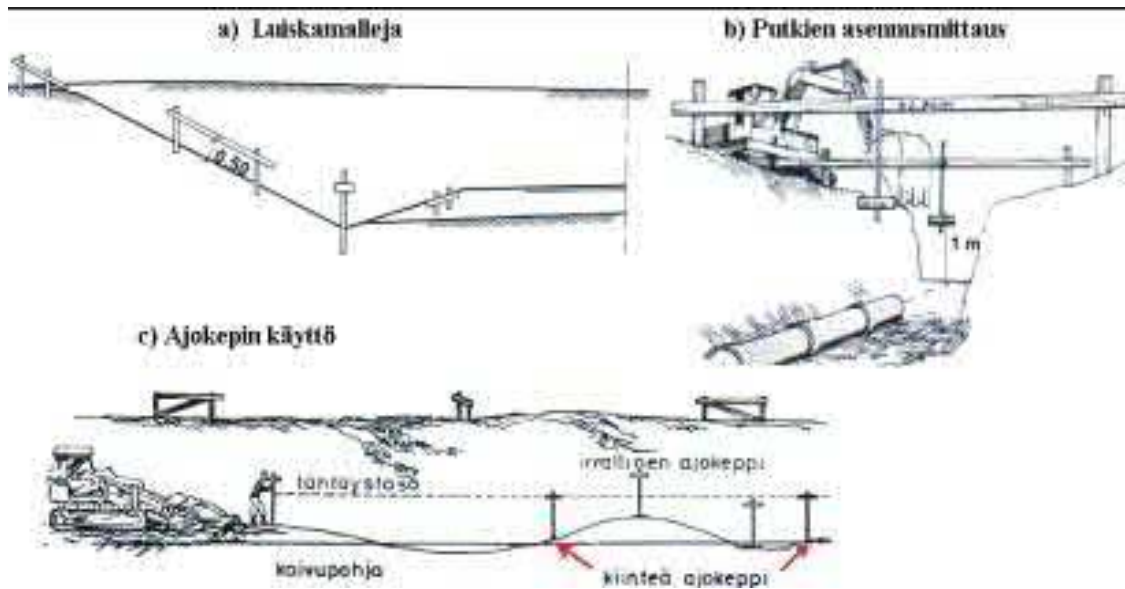
Kuvio 86. Reunakivilinjan merkintämittausta

Merkattavat kepit asennetaan moskaa/vasaraa/vasaraa käyttäen paikalleen, ja muovinen, kapea sihtilappu laitetaan niittimellä keppiin kiinni, joko siihen kohtaan, missä reunakiven yläreuna on, kun sihtilapun yläreuna vastaa reunakiven yläreunaa. Keppiin merkitään tussilla tai liidulla sihtilapun yläreunan koron ero reunakiven yläreunaan, ja merkitään nuoli kepin kapeaan kylkeen siihen suuntaan, minne ero kohdistuu; jos reunakivi tulee lapun kohtaa alemmas, nuoli osoittaa alas. Rakennusurakoitsijat muodostavat keppien sihtilappujen korkomerkinnän kohdalle lankalinjan, havainnollistamaan ja helpottamaan etenkin reunakivien asennusta.

Sihtilappu voidaan laittaa siihen kohtaan keppiä, mistä on ollut luontevinta katsoa tulevan reunakiven yläreunan korkoa, esimerkiksi kun halutaan ilmoittaa korkeusero sihtilapun ja yläreunan kohdalla tasaluvulla, esimerkiksi 0,5 metriä.

Lisäksi, jos kepin asentaminen ei ole mahdollista, on mahdollista merkitä linjaa pienillä "Hilti"-nauloilla, jotka asennetaan vasaralla/poralla maahan, ympäröidään spraymaalilla, ja johon viereen kirjoitetaan, kuinka paljon korkoero on, esimerkiksi -0.05 tai +0.30 metriä. Naulojen asentamisen tiheydellä on sama periaate, kuin kepeillä. Hiltinauloja laitetaan etenkin päällysteeseen. Samalla periaatteella myös harjateräksiä voidaan käyttää merkinnässä, ja sihtilapun sijasta nippusiteitä.

Näiden keppien ja naulojen asentaminen merkkamaan kyseisen rakenteen kohtaan ei välttämättä aina onnistu juuri siihen kohtaan, mihin asennettava rakenne juuri tulisi. Voi olla, että merkintäkepit -ja naulat on asennettava ja merkattava jonkin matkan päähän, esimerkiksi 1.0 metrin päähän rakenteesta. Tällöin on keppiin tai maahan merkattava tussilla tai spraymaalilla, mihin kohtaan merkattu rakenne tulisi, ja mikä on etäisyys merkatusta kohdasta rakenteeseen.



Kuvio 87. Erinäisiä sihtilaputuksia (Laurila 2012, 268)

Edellä mainituissa esimerkeissä nämä merkintämenetelmät soveltuvat reunakivilinjan merkkauksen lisäksi myös muiden rakenteiden, tai ylipäätään merkintämitattavien kohteiden osoittamiseen ja havainnollistamiseen maastossa; esimerkkeinä katualueen rajojen merkinnät, tulevien tai kuorittavien ja poiskaivettavien päällysteiden merkinnät, mahdollisesti kaivuusyvyyksineen (koron merkintä), kaivantojen kaivuusyvyuden eli korkeuden merkintä, kaivojen, lähtöjen ja rumpujen merkinnät. (Jääskeläinen 2010, 38–43; Laurila 2021, 266–268.)

Sihtilappuja harvemmin enää käytetään yleisesti koneohjauksen yleistyttyä, tosin niille on silloin tarvetta, kun koneohjaus ei ole mahdollista, kuten katveisen ympäristön takia, tai työmaa on pieni ja urakoijalla ei ole koneohjausta koneessaan. (Jääskeläinen 2010, 38–43; Laurila 2021, 266–268) Kuvio 86 havainnollistaa, millaisia sihtilaputuksia voi tehdä työmailla. Sihtilapuilla olennaista on korkeuden tason havainnollistaminen ja selventäminen.

Suunnittelumittaukset eivät ole pelkästään merkintämittausta. Kartoitussmittauksia tehdään max. 10 m välein:

- Tarkastusmittaukset = Tarkkeet, takymetri
 - Rakennekerrokset ja päällysteet → Alin/Ylin Yhdistelmäpinta (AYP/YYP).
- Rakennetun rakennelman, esim. päällysteen korkojen mittaus, kaivetun alueen laajuuden ja syvyyden kartoitus, GNSS/takymetri
- Loadmanilla rakennekerrosten tiivyyden mittaus → Kantavuusmittaukset
 - Laite on ladattu, sen "pää" asetetaan alas, laite on suorana → Vapautetaan paino laitteen sisällä → Tärähdytys → Mittaa rakenteen kantavuuden
 - Erillinen levy myös käytössä → Tärähdytys vaikuttaa syvemmälle rakennekerrokseen
 - Mittauskohta vähintään GNSS:llä mitattu (piste)
 - Sama idea työkonien levykuormituskokeilla → Infrakitiin/muu koneohjausohjelmaan tulokset
- Korkeuden eli koron tuominen työmaalle
 - Koneohjausta/tasolaseria varten → Voi tarkistaa oman laitteen/työkonien koron tarkkuuden
 - Naula/maalitappi maahan (Yleinen) → Tarkka GNSS-mittaus, esim. 5-10 havaintoa + alustus välissä → Koron ilmoittaminen esim. + 123.78
 - Myös takymetri ok
 - Voi olla sihtilapulla tai jossakin rakenteessa

Soveltuu myös vesihuoltoverkoston mittauksiin!



Kuvio 88. Muut katusuunnittelun kartoitukset

Kuvion 88 mukaisesti katusuunnittelussa tehdään myös infrarakentamiseen liittyviä mittauksia ja kartoituksia.

7.6 Vesihuollon merkintämittaukset ja kartoitukset

Johtolinjakartoituksissa selvitetään kaivonkansien sijainti ja korkeus, ja kaivoissa olevien lähtöjen eli putkien lähdöt (vesijuoksu) sijainteineen ja korkeuksineen, eli mihin suuntaan putket menevät, kuten kuvat 89, 90 ja 91 havainnollistavat. Tällaisissa kartoituksissa on olennaista myös selvittää kaivonkansien ja kaivojen läpimitat ja rakennusmateriaalit, lähtöjen läpimitat ja materiaalit, sekä selvittää, onko kyseessä puhtaasti jätevesiviemäri, vai hulevesiviemäri, ja mahdollisesti myös putkien liitostavat. (RIL ry 2010, 152; Vesilaitosyhdistys 2021.)

Lähtöjen suunnat selviävät seuraavaan kaivoon katsomalla tai lähistöltä rumpujen päiden havainnoinnilla. Tulvakynnyskaivoista kartoitetaan kynnyksen korkeus myös, paineviemäreistä putken laen korkeus. Jos kartoitettava putki on muuta poikkileikkausmuotoa kuin pyöreä, sen leveys ja korkeus mitataan. Näitä kartoituksia voidaan tehdä jo olemassa oleville johtorakenteille, kuin myös rakenteilla oleville, jolloin seurataan rakentamisen edistymistä (RIL ry 2010, 152). Kuvio 89 havainnollistaa näiden rakenteiden mittaushohtia, ja mitä voi tulla mitattavaksi.

Merkintämittauksessa merkitään suunnitelman mukaisesti jokin johtorakennelma paikalleen, tai merkitään johtokaivannon kaivuusyvyiden korko näkyvälle paikalle tai keppiin, missä on merkitty m/cm-määrä kaivuusyvyiden pohjalle asti

Kartoitusmittauksia taas tehdään rakennusvaiheessa silloin, kun johdon putki on asennettu paikalleen, ja sen sijainti- ja korkeus kartoitetaan talteen.

- Tämä on osin kontrollimittauksia, missä tarkastellaan toteutuneen työn onnistumista suunnitelmien suhteen, kuin myös johtojen kartoitusta johtokarttaa varten, uusista johtolinjoista

Kuvissa vesijohtorakenteen osia, ja niiden mittaushohtia → Mihin esim. kartoitussauvan kohta laitetaan

- Putkissa sama periaate kuin lähdöissä → Vesijuoksu/putken läpimitta + sauvan korko → Putken korkeus tasosijainnin lisäksi



Kuvio 89. Vesihuollon merkintä – ja kartoitusmittauksia. Oikeanpuoleisessa alareunassa on monihaaraventtiili kartoituskohtineen, yläreunassa ovat laipallinen runkoventtiili ja pistoliitettävä tonttiventtiili (Perlinen 2021, 24; Vesilaitosyhdistys 2021, 47.)



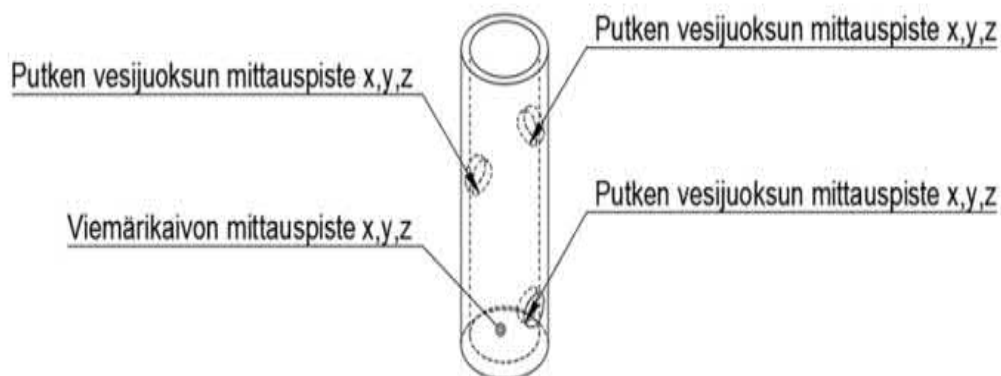
Kuvio 90. Hulevesilinjojen kartoitusta Pohjois-Savossa

Johtokartoituksessa hyödynnetään GNSS -ja/tai takymetria, minkä lisäksi käytetään kuviossa 90 käytettävää lattaa kaivojen lähtöjen kartoittamiseksi, kuvion 91 mukaisten kohteiden kartoittamiseksi.

Latan päässä olisi suotavaa olla suorakulmainen, neliskanttinen osa, jonka voi laittaa putken viereen tai sisälle, ja mitä kautta on mahdollista havainnoida putken läpimittaa latan mitta-asteikon mukaan. Mitta-asteikko voi vaihdella 2-6 metrin välillä, ja välimitat ovat yleensä sentin välein. Latta voi olla kuvion 90 mukainen teleskooppivartinen latta, tai sitten taitettava latta. Latan avulla havainnoidaan myös putkien ja kaivon pohjan korkeus eli syvyys. On myös mahdollista havainnoida kaivon läpimitta latan neliskanttisen osan avulla, jos sen pituus on tiedossa. Myös mittanauhalla on mahdollista kartoittaa vastaavin menetelmin korkeudet.

Rakennettaessa uutta johtoverkosta (etenkin viemäri) olisi hyvä kartoittaa mitä pikimmiten niiden maanpäälliset rakenteet, kuten kaivonkannet ja pumppaamot. Kannet avaamalla (kaivomagneetti, koukku tai rautakanki) selviää johtojen lähdöt ja niiden sijainnit ja korkeudet, kuten edellä on mainittu. Voi olla kuitenkin, että viemärijohto voi liittyä kaivoon merkittävästi kaivon keskikohdasta sivumpana, minkä vuoksi tällaisen johdon putken keskiviivan sijainti pitäisi myös kartoittaa. Jos kartoitettavalla alueella on tonttien liittymien johtoja, ne kartoitetaan tilaajan pyynnön mukaisesti, eli joko kokonaan, tai vain siten, miten kartoitusalue on määrittä, eli esimerkiksi yleisen alueen osalta (kuten kadulta). (RIL ry 2010, 151–152; Vesilaitosyhdistys 2021, 22, 34.)

Kaivojen paikallistamisessa hyödynnetään niiden paikkaa ilmaisevia merkkikilpiä (venttiilikilpimallit, yleensä vihreänä), ajorataan/reunakiviin tehtyjä merkkejä, metallinpaljastinta (RIL ry 2010, 151) sekä luonnollisesti myös GNSS tai -takymetrikojetta.



Kuvio 91. Kaivon kartoitus (Vesilaitosyhdistys 2021, 44)

On makuasia, miten lähtöjä kartoittaa maastossa. Yksi tapa on katsoa lähdön sijainti, ja katsoa sen korko mittanauhalla ja latalla, ja kirjata esimerkiksi paperille kyseisen lähdön läpimitta, materiaali ja korkeus eli syvyys. Toinen tapa on katsoa lähdön korkeus, kuten edellä on mainittu, ja laittaa kaivonkannen reunaan esimerkiksi liidulla merkki, siihen kohtaan, missä lähtö tasosijainniltaan sijaitsee, ja ottaa liidun kohdalta GNSS -ja takymetrihavainto. Tällöin tallentimeen on lisättävä sauvan korkeuden lisäksi lähdön syvyyden korkeus. Esimerkiksi jos sauva on 2.000 metrin korolla, ja lähdön korko on kaivossa 4.56 metriä, tallentimessa lisätään sauvan korkoon $2.000 + 4.56$ eli yhteensä korko lähdölle on 6.56 metriä.

3D-Winissä kaivon kannet ovat pistetietona ja lähdöt viivatietona. Lähdöt yhdistetään sen mukaan, mistä ne alkavat, ja mihin ne päättyvät. 3D-Winin näkymässä lähdöt päättyvät tai alkavat aina kaivon symbolin keskeltä. Kartoitettavista (kartoitus- tai merkintämittaus) rakenteista mitataan niiden sijainti ja korkeus tilattuun koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään. Vesijohtorakenteet merkitään ja kartoitetaan rakentamisurakan/saneerauksen edetessä maastoon mahdollisimman tarkasti tulevia kunnossapitotöitä varten, viemäriverkkoa ei välttämättä, koska sitä pystyy kartoitusaineiston paikantamaan kaivonkansien avulla. (RIL ry 2010, 150; Vesilaitosyhdistys 2021, 9–10, 22.)

Edellä mainittujen kartoitusmittausperiaatteiden mukaisesti toteutetaan myös johtoverkon rakennustöiden aikana mittauksia, sekä kartoitus – että merkintämittauksia. Merkintämittauksessa merkitään suunnitelman mukaisesti jokin johtorakennelma paikalleen, tai merkitään johtokaivannon kaivuusyvyiden korko näkyvälle paikalle tai keppiin, missä on merkitty metri- ja senttimetrimäärä kaivuusyvyiden pohjalle asti (Hartikainen 2003, 115).

Kartoitusmittauksia taas tehdään rakennusvaiheessa silloin, kun johdon putki on asennettu paikalleen, ja sen sijainti- ja korkeus kartoitetaan talteen. Tämä on osin kontrollimitausta, missä tarkastellaan toteutuneen työn onnistumista suunnitelmien suhteen, kuin myös johtojen kartoitusta johtokarttaa varten, uusista johtolinjoista. Kaivoista tehdään kaivokortit vain erikseen tilaajan pyytämänä, mutta se ei ole yleistä. Kaivokortissa on yksityiskohtaisemmin kirjattavissa muun muassa kaivon ja sen lähtöjen ominaisuuksia ja suuntia. (Hartikainen 2003, 115; Meltex 2023; Vesilaitosyhdistys 2021, 9–10, 51.)

On muistettava sekä merkintä- että kartoitusmittauksissa, oli sitten kyseessä uuden johtolinjan kartoitus rakennusvaiheessa, vai jo olemassa olevan, kartoittamattoman linjan kartoitus, että onko kyseessä hulevesi- vai viemärijohton, vai talousvesijohton kartoitus. Ei ole tavatonta, että nämä johdot kulkevat rinnakkain, tosin johtojen putket on eroteltu niiden värin mukaan jo; vihreät ovat hulevesijohtoja (tai mustat, joissa vihreä viiva), siniset talousvesijohtoja, ja punaiset ovat viemäriverkoston johtoja. Tämä tieto auttaa silloin, kun kartoitettava linja koostuu kyseisistä putkista, mutta tällöin ne ovat yleensä pienemmän luokan johtolinjoja. Isommat johtolinjat etenkin viemäriverkon suhteen koostuvat suuriläpimittaisista

betoniputkista. Lisäksi on syytä varmistua, onko tällaisen viemäriverkon linjan suhteen kyseessä pelkkä viemäri linja, vai sekaviemäri linja, mihin hulevedet johdetaan myös.

8 POHDINTA

Johdannossa mainitsin motiivit tämän opinnäytteen tekemiseksi ja aihealueen valitsemiseksi. Henkilökohtaisena motiivina oli valita ja tehdä opinnäytetyö itseäni kiinnostavasta aiheesta, mieluiten siten, että sen tekisi mahdolliselle opinnäytetyön toimeksiantajalle, mieluiten harjoittelupaikan organisaatiolle. Tampereen Infralla oli kiinnostusta valitsemalleni aiheelle.

Toisena motiivina oli tehdä opinnäytetyö aiheesta, joka olisi helppoa tehdä muutamana kuukauden sisällä. Tässä osittain motivoi uuden työn aloittamisessa tehtävässä, missä oli toiveena saada työn tehtävänkuvien toteuttamista varten maanmittausinsinöörin valmistumispaperit, jota varten minun piti enää tehdä ja palauttaa opinnäytetyö.

Toinen motiivi oli suurin piirtein käsi kädessä kolmannen motiivin kanssa, mikä oli se, että opinnäytteen tuli olla tarpeeksi haastava, mitä tämä opinnäytetyö todella oli; minun oli tarpeen perehtyä yksityiskohtaisesti ja monipuolisesti eri aihealueisiin, joita opinnäytetyö käsitteli. Erittäin paljon uutta tietoa kerrytin suunnitelmamittauksista, sillä kunnallisinfran rakentaminen ja siihen liittyvät mittaukset olivat kokonaisuutena uusi asia, vaikka Tampereen Infralla tuli niihinkin osallistuttua, ja aiemmissa kesätöissä muuhunkin inframittaamiseen.

Johdannon mukaisesti opinnäytteen tarkoitus oli olla selkeä opas vasta kartoitusta aloittavalle, tai muuten sellaiselle taholle, jolla olisi intressejä tehdä kartoituksia maanmittausalan välineillä ja -menetelmillä. Ensimmäisenä prioriteettina oli tehdä tällainen opas Tampereen Infran käyttöön, jolle valmistettiin myös oma erillinen ohjeistus aiheeseen liittyen. Theseuksesta, jonne tämä opinnäytetyö siirretään luettavaksi tarpeellisten tarkastusten jälkeen, on mahdollista myös laajemmän yleisölle perehtyä opinnäytetyön aihealueeseen ja siinä sivussa Tampereen Infran paikkatietopalveluiden toimintaan. Toimeksiantaja pohti tuotetun opasaineiston perusteella käyttöä myös esittelymateriaalina erinäisissä tilaajapalaverissa, eli opinnäyte ja sen kehityspainotteinen tavoite saavutettiin.

LÄHTEET

Aalto, O. 2021. Infrarakentamisen laatu. Rakennustieto Oy. Helsinki.

Anttila, M., Helen, A., Hellman, A., Koskinen, M., Lahtonen, T., Lemmetyinen, A., Ujanen, O. & Uusitalo, J. Tampereen kaupunkimittauksen historiaa 1933-2003. 2003. Tampereen kaupungin teknisen toimen julkaisuja 2/ 2003 ISSN 1456-7873.

Droneinfo.fi. 2023. Itseopiskelumateriaalia EU-asetuksen mukaisiin kauko-ohjaajan kokeisiin. Viitattu 6.9.2023 <https://www.droneinfo.fi/fi/itseopiskelumateriaalit-eu-asetuksen-mukaisiin-kauko-ohjaajan-kokeisiin>.

Flyk 2023. Ilmatila nyt ja tänään. Viitattu 15.9.2023 <https://flyk.com/map?drone&lang=fi#p=4.61/70.7/11.11>.

Geotrim 2023. UAS-kartoitus. Viitattu 15.9.2023 <https://geotrim.fi/tuotteet/uas/>.

Haucon. Harjateräksen varoite. Viitattu 2.11.2023 <https://www.haucon.fi/tuotteet/raudoitusvalikkeet-ja-tarvikkeet/raudoitustarvikkeet/718/harjateraksen-varoite>.

Hartikainen, O. 2003. Tietekniikan perusteet. Otatieto Oy. Yliopistokustannus University Press Finland Ltd. HYY-Yhtymä. 5. korjattu painos. Hakapaino Oy. Helsinki.

Holma, E. 2022. Vesihuoltolaitosten puhdasvesiverkoston putkien materiaalit, käyttö ja kunnossapito. Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu. Viitattu 6.9.2023 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/746622/Holma_Elias.pdf?sequence=3.

HSY 2023. Viemärien ylivuodot ja hajuhaitat. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Viitattu 10.9.2023 <https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/viemarien-ylivuodot-ja-hajuhaitat/>.

Ilmatieteen laitos 2023. Avaruussään vaikutus satelliittipaikannukseen. Viitattu 21.8.2023 <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/satelliittipaikannus>.

JHS 163 Suomen korkeusjärjestelmä N2000 2019. Viitattu 3.9.2023 <https://www.suomidigi.fi/ohjeet-ja-tuki/jhs-suositukset/jhs-163-suomen-korkeusjarjestelma-n2000>.

JHS 184 Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä 2017. Viitattu 10.9.2023 <https://www.suomidigi.fi/sites/default/files/2020-07/JHS184.doc>.

JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen 2014. Viitattu 6.9.2023 <https://www.suomidigi.fi/sites/default/files/2020-07/JHS185.doc>.

JHS 185 liite 2. Viitattu 6.9.2023 https://www.suomidigi.fi/sites/default/files/2020-07/JHS185_liite2.doc.

JHS 185 liite 3. Viitattu 6.9.2023 https://www.suomidigi.fi/sites/default/files/2020-07/JHS185_liite3.doc.

JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen, liite 4. Viitattu 6.9.2023 https://www.suomidigi.fi/sites/default/files/2020-07/JHS185_liite4.doc.

Joki-Erkkilä, H. 2021. Kadun rakennekerrokset. Pdf-esitys Lapin AMK:n kursilta ”Rakentaminen ja infrasuunnittelu.”

Jääskeläinen, R. 2010. Maarakennuksen ja louhinnan perusteet. Tammertekniikka/Amk-kustannus Oy. 1.painos.

Kiinteistönmuodostamisasetus 20.12.1996/1189. Ajantasainen lainsäädäntö. Viitattu 13.7.2023 <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961189>.

Kiinteistönmuodostamislaki 5.2.1995/554. Ajantasainen lainsäädäntö. Viitattu 13.7.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>.

Kytölä, M. 2008. Takymetriryhmän seurantakalibrointi. Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu. Viitattu 20.8.2023 <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9577/Kyt%C3%83%C2%B6l%C3%83%3F.Markus.pdf?sequence=2>.

Laukkanen, J. 2023. Laserkeilausaineiston määrittely, hankinta ja käyttöönotto-suunnitelma. Opinnäytetyö, Lapin ammattikorkeakoulu. Viitattu 23.9.2023 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/794623/Laukkanen_Jasna.pdf?sequence=2.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. Uudistettu painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Viitattu 10.8.2023 <http://www.ramk.fi/fi/Palvelut-tyoelamalle/Julkaisutoiminta/Tekniikka-ja-liikenne/Mittaus--ja-kartoitustekniikan-perusteet>.

Leica Geosystems 2021. Leica Cyclone 3DR Touch Mode - BIM Inspection Workflow. YouTube -video. Viitattu 20.9.2023 <https://www.youtube.com/watch?v=hrBnJn3-BoY&t=26s>.

Leica Geosystems 2023a. Analysointi. Viitattu 20.9.2023. <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/laser-scanners/software/analyse>.

-2023b. Leica Cyclone Register 360 Plus - 3D-laserskannauksen pistepilven rekisteröintiohjelmisto. Viitattu 20.9.2023. <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-register-360>.

-2023c. Leica RTC360 3D- laserskanneri. Viitattu 20.9.2023. <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>.

Leica Cyclone 3DR. 2021. Leica Cyclone 3DR 2021.2: Scan-to-Plan - new user interface. YouTube – video. Viitattu 20.9.2023 <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=jrJwMwOGVi0>.

Liikennevirasto. 2017a. Maastotietojen hankinta -Toimintaohjeet. Liikenneviraston ohjeita 19/2017. Helsinki. Viitattu 16.9.2023 https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134240/lo_2017-19_maastotietojen_hankinta_web.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Liikennevirasto. 2017b. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot. Liikenneviraston ohjeita 18/2017. Helsinki. Viitattu 16.9.2023 https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf.

Maankäyttö- ja rakennuslaki (Alueidenkäyttölaki) 5.2. 1999/132. Ajantasainen lainsäädäntö. Viitattu 13.7.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>.

Maankäyttö- ja rakennusasetus 10.9.1999/895. Ajantasainen lainsäädäntö. Viitattu 13.7.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895>.

Maanmittauslaitos 2003. Kaavoitusmittausohjeet. Viitattu 27.10.2023 https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/kaavoitusmittausohjeet_2003_0.pdf.

Maanmittauslaitos 2011. Määräys mittausten tarkkuudesta ja rajamerkeistä kiinteistötoimituksissa. Viitattu 27.7.2023 https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/Maaraus_mittaus_rajamerkit_21_4_2011.pdf.

Maanmittauslaitos 2012. Kiinteistörekisterikartan rajamerkkien sijaintitarkkuus. Maanmittauslaitoksen julkaisusarja nro 112. Viitattu 27.7.2023 https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/Nro_112_Kiinteistorekisterikartan_rajamerkkien_sijaintitarkkuus.pdf.

Meltex. Meltex kaivokortti. Viitattu 2.11.2023 <https://www.meltex.fi/files/Kaivokortti%20Meltex.pdf>.

Mulari, K. 2018. Xsite PAD-ohje v0.1.

Nipere Oy 2023. Rajamerkit. Viitattu 26.8.2023 <https://nipere.fi/rajamerkit/rajamerkit/>.

Nordic Drones 2023a. Tuotetiedot. Viitattu 20.8.2023 <https://nordicdrones.fi/tuotteet/tuotetiedot/>.

-2023b. Tuotteet. Viitattu 26.8.2023 <https://nordicdrones.fi/tuotteet/>.

Novatron. Mitä on koneohjaus. Viitattu 17.10.2023 <https://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>.

Oskari 2023a. Korkeuskiintopiste 301010. Karttapalvelu Tampere.fi. 2011. Viitattu 20.7.2023 <https://docs.google.com/viewer?url=https://kartat.tampere.fi/arquivo/pisteselityskortit/korkeuskiintopiste/kp301010.tif>.

-2023b. Tampereen seudun geoidimalli ja korkeuskorjausmalli Tampere N2000. Viitattu 16.9.2023 https://kartat.tampere.fi/oskari/?zoomLevel=6&coord=332126.3342656254_6822630.079534373&mapLayers=18+100+

raster,3850+100+,3849+100+&uuid=0ee42977-540a-42e6-9107-bc9767d00fac&noSavedState=true&showIntro=false.

Perlinen, T. 2021. Vesihuolto-opas, vesihuoltosaneerauskohtiin. Opinnäytetyö, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu XAMK. Viitattu 14.9.2023 <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/494219/Opinn%C3%A4ytety%C3%B6%20teemuperlinen%20vesihuoltoopas%20vesihuoltosaneerausurakointiin.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

Pix4D 2023a. Pix4D Cloud. Viitattu 26.9.2023 <https://www.pix4d.com/product/pix4dcloud/>.

-2023b. Pix4Dmapper. 2023. Viitattu 26.9.2023 <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software/>.

Rainio, A. 2013. Kunnan paikkatietoinfrastruktuuri ja INSPIRE. Kunnat ja Inspire-koulutus. Maanmittauslaitos. Viitattu 26.7.2023 <https://www.paikkatietoikkuna.fi/documents/108478/7bf565d1-3fa1-48e2-958c-516e4e175ab7>.

Rantala, S. 2018. Tapion taskukirja. 26. Uudistettu painos. Metsäkustannus Oy. Tapio. 289-290.

RIL 237-1-2010. 2010. Vesihuoltoverkkojen suunnittelu- Perusteet ja toiminnallisuus. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Saarijärven Offset Oy.

Ristilä, J. 2023. Organisaatio. Tampereen Infra Intranet. Viitattu 12.7.2023.

RT 103133 2019. Rakennuksen laserkeilaus. Ohjekortti. Viitattu 24.9.2023.

Ryynänen, T. 2022. Mittausohjeet Helsingin kaupunkimittaukseen. Opinnäytetyö, Lapin ammattikorkeakoulu. Viitattu 22.8.2023 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/750237/Ryynanen_Toni.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

SKTY 2003. Katu 2002- Katusuunnittelun ja rakentamisen ohjeet. SKTY:n julkaisu nro 11. Suomen Kuntatekniikan yhdistys. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä.

SpaceFinland 2023. Mikä on GNSS-järjestelmien sijaintitiedon tarkkuus? Viitattu 21.8.2023 <https://spacefinland.fi/gnss-jarjestelmien-sijaintitiedon-tarkkuus>.

Stenberg, E. 2023. Miehittämättömän ilmailun sääntelyn ajankohtaiset asiat.

Suomen Vesiyhdistys ry 2005. Pohjavesitutkimusopas. Käytännön ohjeita. Viitattu 26.9.2023 <https://www.vesiyhdistys.fi/pdf/Pohjavesiopus.pdf>.

Tamimi, R. 2020a. Topographic Surveying for Beginners. Youtube-Video. Viitattu 4.10.2023 <https://www.youtube.com/watch?v=GuBdpeKfmho>.

-2020b. Surveying Stake Out for Beginners. Youtube-Video. Viitattu 4.10.2023 <https://www.youtube.com/watch?v=gxtLTiktem4>.

Tamimi, R. 2023. Total Station vs. GNSS Receiver: Which is the Better Surveying Tool? Youtube-Video. Viitattu 24.9.2023 <https://www.youtube.com/watch?v=0WugC2jXjsk>.

Tampereen Infra Instagram 2022a. Viitattu 20.9.2023 https://www.instagram.com/p/CenEGd5oryl/?img_index=1.

-2022b. Viitattu 20.9.2023 https://www.instagram.com/p/Ce2kNiattGA/?img_index=1.

Tampereen Infra Instagram 2023a. Viitattu 20.9.2023 https://www.instagram.com/p/CtOnnA2tVAj/?img_index=1.

-2023b. Paikkatieto suorittaa korkeuspulttien tarkistusta Tohlopinrannassa. Viitattu 20.9.2023 https://www.instagram.com/p/CtOnnA2tVAj/?img_index=3.

Tampereen Infra Oy 2020. Tampereen Infra Oy:n mallipohjaisen rakennustyömaan mittauksen ja tiedonhallinnan ohjeistus. Yhtiön sisäinen ohjeistus. Viitattu 21.7.2023.

Tampereen Infra Oy 2023a. Näin palvelemme. Viitattu 21.7.2023 <https://tampereeninfra.fi/mita-teemme/palvelut/>.

-2023b. Paikkatieto. Viitattu 21.7.2023 <https://tampereeninfra.fi/mita-teemme/palvelut/paikkatieto/>.

-2023c. Verkkolevyaineisto. Viitattu 21.7.2023.

Tampereen kaupunki 2022. Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. Viitattu 7.7.2023 <https://www.tampere.fi/kartta/koordinaatti-ja-korkeusjarjestelmat>.

Tampereen kaupunki 2023a. Rakennusvalvontamittaukset. Viitattu 7.7.2023 <https://www.tampere.fi/asuminen-ja-rakentaminen/tontit/tonttijaot-kiinteistotoimitukset-ja-kaupanvahvistukset/rakennusvalvonta-mittaukset>.

-2023b. Rakennustyönaikainen valvonta. Viitattu 7.7.2023 <https://www.tampere.fi/asuminen-ja-rakentaminen/rakenna-ja-korjaa/rakentamisen-luvat-valvonta-ja-tietopalvelu/rakennustyonaikainen-valvonta>

-2023c. Rakentamisen luvat. Viitattu 7.7.2023 <https://www.tampere.fi/asuminen-ja-rakentaminen/rakenna-ja-korjaa/rakentamisen-luvat-valvonta-ja-tietopalvelu/rakentamisen-luvat>.

-2023d. Tonttijaot, kiinteistötoimitukset ja kaupanvahvistukset. Viitattu 7.7.2023 <https://www.tampere.fi/asuminen-ja-rakentaminen/tontit/tonttijaot-kiinteistotoimitukset-ja-kaupanvahvistukset>.

Tampereen Vesi 2023. Vesi- ja viemäriverkostot. Viitattu 1.9.2023 <https://www.tampereenvesi.fi/tampereen-vesi/vesi-ja-viemariverkostot/>.

Tietoa Finland Oy 2023. Fotogrammetria mittausmenetelmänä perustuu tuhansiin valokuviin. Viitattu 21.9.2023 <https://tietoa.fi/palvelut/luotettavat-lahtotiedot/fotogrammetria/>.

Tuusula 2023. Huolehdi kotisi vesihuollosta. Viitattu 10.9.2023 https://www.tuusula.fi/sivu.tmpl?sivu_id=814.

Uskalinmäki, T. Palvelut. Tampereen Infra Intranet.

Ylitepsa, M. 2016. GNSS-Laitetestauksen testipisteiden mittaus. Opinnäytetyö, Lapin ammattikorkeakoulu. Viitattu 20.8.2023
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/112650/Ylitepsa_Mikko.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Vesilaitosyhdistys 2021. Vesihuoltoverkoston mittaus ja dokumentointi. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 66. Helsinki. Viitattu 8.9.2023
https://www.vvy.fi/site/assets/files/5659/vesihuoltoverkosto_004_19022021.pdf.

Vitikainen, A. 2006. Kiinteistötekniikan perusteet. Otamedia Oy. Espoo.