

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MITTAAMISEN LAADUNVARMISTUS INFRARAKENTAMISESSA

TEKIJÄ Antti Ikonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Antti Juhani Ikonen	
Työn nimi Mittaamisen laadunvarmistus infrarakentamisessa	
Päiväys	11.5.2023
Sivumäärä/Liitteet	33
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Maansiirto Viiala Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö oli laadullinen tutkimus mittaamisen laadunvarmistuksesta infrarakentamisessa. Toimeksiantajana oli Maansiirto Viiala Oy, jonka toimiala on maanrakennus ja maansiirto. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, mitä mittaamisen laadunvarmistus on, ja mitä toimenpiteitä se edellyttää rakennushankeen toteutuksessa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda tarkastusdokumentti pohjia, mitä voitaisiin käyttää mittaamisen laadunvarmistuksessa. Laaditut dokumentti pohjat olivat salassa pidettäviä osuuksia tässä opinnäytetyössä.</p> <p>Teoriaosuudessa tutkittiin satelliittipaikannuksen perusteita ja koordinaattijärjestelmiä. Satelliitti paikannuksessa perehdyttiin pääasiassa RTK-paikannukseen, mitä paikannustekniikkaa muun muassa käytetään koneohjausjärjestelmissä. RTK-paikannustekniikan toimintatavan ymmärtäminen on tärkeässä osassa mittaustarkkuuden ja virhelähteiden arvioinnissa.</p> <p>Tutkittiin, että mittaamisen laadunvarmistuksen perustana on laadukas perehdytys, mittalaitteiden tarkastus ja tarkemittaus. Opinnäytetyön aikana selvisi, ettei mittaamisen laadunvarmistusta ole suoraan määritelty. Mittaamisen laadunvarmistus liittyy läheisesti mallipohjaiseen rakentamiseen ja laadunvalvontaan prosessiin mikä on yleisessä infra mallivaatimuksissa ohjeistettu. Arvioitiin, että tulevaisuudessa pienemmissäkin hankkeissa mittalaitteiden käyttöä aletaan vaatimaan yleisten inframallivaatimusten mukaisesti. Tämän takia mitaamisen laadunvarmistus tutkimuksen perustan käytettiin yleisiä inframallivaatimuksia.</p>	
Avainsanat mittaustekniikka, satelliittipaikannus, laadunvarmistus, yleiset inframallivaatimukset	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering	
Author(s) Antti Ikonen	
Title of Thesis Measurement quality assurance in infra construction	
Date 11 May 2023	Pages/Appendices 33
Client Organisation /Partners Maansiirto Viiala Oy	
<p>Abstract (NOTE: write/insert all your text in the grey box below, also if you use copy + paste)</p> <p>The thesis was examination of measurement quality assurance in infra construction. The client of the thesis was Maansiirto Viiala Oy, whose industry is infra construction and earth moving. The objective of the thesis was to examine what measurement quality assurance is, and what measures it requires for implementation of construction project. The purpose of the thesis was to make documents templates of measurement quality assurance. The prepared documents templates are kept secret part of this thesis.</p> <p>The theoretical part examines satellite positioning and coordinate systems. In satellite positioning the focus was mainly on RTK positioning. That positioning technology is used to machine control systems. Understanding how RTK positioning technology works is an important part of evaluating measurement accuracy and error sources.</p> <p>Quality assurance of measurement is based on boarding, inspection of measuring and as-built dimensions. During the thesis, it became clear that the quality assurance of measurement has not been defined. Measurement quality assurance was closely related to model-based construction and the quality control process. This process was instructed in the common infraBIM requirements. Estimated that in the future even in smaller projects, the use of measuring devices will begin to be required in accordance with the general common infraBIM requirements. Because of this, common infraBIM requirements were used as the source of the measurement quality assurance examination.</p>	
<p>Keywords measuring technique, satellite positioning, quality assurance, common InfraBIM requirements</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	MITTAAMINEN INFRARAKENTAMISESSA	6
2.1	InfraRYL.....	7
2.2	Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021	8
3	SATELLIITTIPAIKANNUS	9
3.1	Paikannustekniikka.....	9
3.2	Havaintosuureet	10
3.3	RTK-mittaus	11
3.4	Satelliittipaikannuksen virhelähteet ja tarkkuus	13
4	KOORDINAATISTOT JA KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄT.....	18
4.1	Maantieteellinen koordinaatisto.....	18
4.2	Ellipsoidikeskinen suorakulmainen koordinaatisto	19
4.3	Suorakulmainen koordinaatisto	20
4.4	Suomen koordinaattijärjestelmät.....	21
5	MITTAAMISEN LAADUNVARMISTUS INFRARAKENTAMISESSA.....	23
5.1	Mittaamisen laadunvarmistus toimet	23
5.2	Mittaamisen perehdytys.....	24
5.3	Mittalaitteiden tarkistus	25
5.3.1	Tukiaseman tarkistus	25
5.3.2	Koneohjausjärjestelmän tarkistus	26
5.3.3	RTK-GNSS-laitteen tarkistus	28
5.4	Tarkemittaus	29
5.5	Tarkkuusvaatimukset	29
6	POHDINTA.....	31
	LÄHTEET	32

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana toimii Maansiirto Viiala Oy, joka käyttää lähes kaikissa infrarakennushankkeissa koneohjausjärjestelmiä ja vastaa mittaamisesta itse. Maansiirto Viiala on Toivakkalainen yritys, mutta sen yritystoiminta painottuu pääasiassa Jyväskylään. Yritys toteuttaa pääasiassa vesihuoltosaneerauksia pääurakoitsijana. Hankkeet ovat usein haastavia rakennetussa ympäristössä ja vaativat erityisosaamista. Maansiirto Viiala on kehittänyt toimintaa viime vuosikymmenen aikana ja panostaneet nykyaikaisiin mittauskalustoon, kuten 3D-koneohjausjärjestelmiin. Maansiirto Viiala on mittaamisen osalta tullut omavaraiseksi, ja mittalaitteiden käytöstä on tullut tärkeä hyöty rakentamiseen ja työnsuunnitteluun. Opinnäytetyöaihe on tullut Maansiirto Viialalta, joka pitää laadukasta mittaamista tärkeänä osana laadukasta rakentamista. Aihe on valittu yrityksen tarpeen mukaan, ja oman kiinnostuksen perusteella. Tavoitteena on tutkia, mitä mittaamisen laadunvarmistus edellyttää ja miten sitä voitaisiin toteuttaa yrityksen toiminnassa.

Nykyaikaisten koneohjausjärjestelmät ja muut mittalaitteet ovat kehittyneet digitalisoitumisen ja automatisoitumisen takia paljon. Laitteiden käyttö on muuttunut helpoksi ja nopeasti opittavaksi. Halintanäyttöjen käyttöjärjestelmät ovat muuttuneet selkeäkäyttöiseksi, ja käyttäjien ei välttämättä tarvitse omata suurta mittaustekniikan tietämystä käyttääkseen laitteita. Menneinä aikoina, kun työmaalla on ollut korkokeppejä pystyttäviä mittaajia, ovat he valvoneet rakentamisen ja mittaamisen laadukkuutta. Viime vuosikymmenen aikana, kun koneohjausjärjestelmät ovat työkoneissa yleistyneet, mittaamisen vastuu on siirtynyt urakoitsijoille, ja tarve ulkopuoliselle ammattitaitoiselle mittaukselle on vähentynyt. Pienien rakennushankkeiden rakennuttajat ja tilaajat eivät vaadi koneohjausjärjestelmien käyttöä, eivätkä myöskään erillisten mittaajien käyttöä rakennushankkeessa. Tällöin ei velvoiteta ketään valvomaan mittaamisen laadukkuutta. Koneohjausjärjestelmien yleistyessä yhdeksi ongelmaksi on muodostunut, että joissakin hankkeissa kukaan ulkopuolinen ei valvo koneohjausjärjestelmien käyttöä.

Koneohjausjärjestelmien käyttö voi tuoda urakoitsijalle merkittävää rahallista-, ajallista- ja kilpailullista hyötyä, mutta se sisältää myös vastuuta ja riskejä. Vastuuseen liittyy mittaamisen laadunvarmistus ja riskiin mittausvirhe. Mittaamisen laadunvarmistukseen liittyy mittaamisen jatkuva laadunvalvonta ja mittausvirheiden minimointi. Mittausvirheestä aiheutunut vakava rakennusvirhe voi aiheuttaa yritykselle korvaus kustannuksia, ja pahimmassa tapauksessa menettää tilaajien luottamuksen rakentamisen laadukkuudesta.

Opinnäytetyö liittyy työn kuvaani, sillä toimin Maansiirto Viialassa mittamiehenä ja vastaan yrityksessä mittaamisesta. Työkuvaani kuuluu kartoitus, rakennusmittaus, koneohjausmallien luonti, tarke- ja toteumatiedon käsittely, mittalaitteiden tarkistus, mittalaitteiden toimivuuden varmistaminen ja jatkuva mittaamisen laadunvarmistus. Opinnäytetyö on ollut hyvä mahdollisuus lisätä itselleni tietämystä mittaustekniikasta, joka on kasvattanut omaa itsevarmuuttani mittaustehtäviin.

2 MITTAAMINEN INFRARAKENTAMISESSA

Infrarakentamisessa mittaamista tapahtuu jatkuvasti. Infrarakentamisessa, kun puhutaan mittaamisesta, yleisesti tarkoitetaan sijaintimittausta. Laurilan mukaan (2020, 53) sijaintimittauksessa sijainti esitetään kolmella koordinaattiluvulla, pohjoisella (N), itäisellä (E) ja korkeudella (H). Sijaintimittauksia tehdään infrarakentamisessa koneohjausjärjestelmillä, RTK-GNSS-laitteella, takymetrilla ja laserkeilaimilla (Kuva 1). Satelliittipaikannusta käytetään koneohjausjärjestelmissä, GNSS-vastaanottimissa ja tukiasemissa (Laurila 2020, 256). Satelliittipaikannus mittalaitteita käyttävät työkonen kuljettajat, työjohto ja mittahenkilöstö. Takymetri mittauksia ja laserkeilauksia suorittaa yleisesti riittävän ammattitaidon omaava mittahenkilö. Muita mittauskojeita ja apuvälineitä mitä infrarakentamisessa käytetään, on esimerkiksi tasolaser, putki-, mittanauha, vatupassi, riippuluoti, linjalanka, etäisyysmittari ja korkokeppi. Näillä ei pystytä tekemään sijaintimittauksia, mutta näillä pystytään mittaamaan suureita kuten, pituutta, kulmaa, suuntaa, tasosijaintia, korkeuseroa, vaakasuoruutta, pystysuoruutta, kohtisuoruutta, yhdensuuntaisuutta, pinta-alaa ja tilavuutta.



Kuva 1. Leica geosystems iCR80 robottitäkymetri, iCON CC80 maastotalennin ja iCG70 GNSS-vastaanotin.

Mielestäni mittaustekniikkaa käytetään infrarakentamisessa pääasiassa kolmesta pääsyystä. Rakentamisen mittaus, jossa rakennetaan tietomallien ja suunnitelmien mukaan. Tarke- ja toteumamittaus, mitä tehdään kelpoisuuden osoittamisen takia hyvän rakentamistavan mukaisesti. Kolmantena syynä on ennen rakentamista lähtötietoaineistoa varten tehdyt mittaukset, jossa pyritään suunnitelmat yhteen sovittaa mahdollisimman hyvin ympäristöön.

Infrarakentamisessa mittauksen vastuu riippuu paljon rakennushankkeen ja yrityksen koosta. Pienissä yrityksissä voi olla yksi henkilö, joka vastaa mittauksesta ja hoitaa useampaa eri työmaata samanaikaisesti, kun taas väylärakennuskohteissa mittaaminen organisoitua työtehtävän, vastuun ja työmaiden mukaan.

Väylä kohteissa missä on suuria määriä maaleikkauksia, pengerryksiä ja rakennekerroksien tekoa on siirrytty reaaliaikaiseen toteumamittaukseen. Työkoneen kuljettajat kaivavat tai täyttävät toteutusmallin mukaan ja ottavat valmiista rakenneosan pinnoista toteumapisteitä. Tarkemittaus tarpeenmäärä on vähentynyt ja työpanos on siirtynyt mittaamisesta edemmän laadunvarmistukseen ja laadunseurantaan. Tämä toimintatapa isoissa kohteissa on tuonut merkittävää ajallista säästöä, kuten esimerkiksi Kirri-Tikkakoski VT4 hankkeessa. Mallipohjaisen suunnittelun hyödyntäminen suoraan koneohjaukseen ja reaaliaikainen laaduntarkkailu oli toiminta tapoja, jotka mahdollistivat hankkeen 8 kuukauden etuajassa valmistumisen. (Destia 2021.)

Digitalisaatio on tuonut infrarakentamiseen kehitystä viimeisen vuosikymmenen aikana. Infrarakentamisessa on alettu hyödyntämään 3D-pohjaisia mittalaitteita ja suunnitelmia tietomallina. Tämä on tehostanut työtehokkuutta, parantanut laadukkuutta ja tuonut säästöjä. Infra-ala on tietomallinnuksessa edellä muuhun rakentamiseen verrattuna, mutta tietomallinnuksen asiantuntija Tappolan mukaan infrarakentamisessa digitalisaation hyödyntämisessä on vielä pullon kaulana ihminen. Koneen kuljettajissa alkaa muodostumaan koneen käsittelyssä muutoksia. Silmämääräisesti kaivamisen taito vähenee ja kuljettajat alkavat olemaan riippuvaisia mittalaitteiden toimivuudesta. Tietomallit tuovat etuna sen pdf-suunnitelmiin verrattuna, että niitä voidaan hyödyntää mittalaitteissa. Ne havainnoivat paremmin kokonaisuutta ja niiden avulla saadaan laskettua tarkkoja massamääriä. (Heilä 2023.) Nykyään luovutusaineistona suunnitelmat eivät tule automaattisesti tietomallina. Urakoitsijat joutuvat pdf-suunnitelmista itse luomaan tietomallit mitä voidaan hyödyntää mittalaitteissa. Oman uskomuksen mukaan tämä tulee muuttumaan seuraavan kymmenen vuoden sisällä siten, että tietomallipohjaista suunnitelma-aineistoa voidaan suoraan hyödyntää mittalaitteissa.

2.1 InfraRYL

InfraRYL eli infra-alan rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset julkaisu, jossa kuvataan hyvän rakennustavan laatuvaatimuksia. Se on Rakennustietosäätiö tuottama, joka tuottaa RYL-julkaisuja kiinteistö- ja rakennusalalle yhteisinä laatukäsitteinä kirjallisessa muodossa. RYL julkaisuja voi lukea kirjana tai RT tietoväylä palvelun kautta.

Maankäyttö- ja rakennuslaissa (117§) ja Rakennusurakan yleiset sopimusehtojen (YSE 98 1§) mukaan rakentamisessa tulee menetellä hyvän rakennustavan mukaisesti. Hallitusesityksen HE 101/1998 mukaan hyvä rakennustapa kuvaillaan ulkopuolisen tekemässä teoksessa kirjallisessa muodossa, jossa kuvaillaan hyvää rakentamista täsmentävään tietopohjaan ja käytäntöön perustuen. Hyvä rakennustapa kuvaillaan rakennusmateriaalien, asentamisen, asennustarkkuuden ja laadunosoittamisella. RYL teoksien tekoon on koottu maanparhaita asiantuntijoita ja alalla toimivia keskeisiä organisaatioita. (InfraRYL velvoittavuus 2022.)

2.2 Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021

Yleiset inframallivaatimus ohjeistuksen julkaisusta vastaa buildingSMART Finland (bSF) ja sen infra-toimialaryhmä. YIV toimii ohjeistuksena ja vaatimuksena mallintamisessa, tiedostoformaattissa ja nimikkeistössä. Nämä muodostavat niin sanotusti tiedonhallinnan "kolmikannan", jonka avulla koko hankkeen ajan tiedonhallinta pysyisi yhteneväisinä ja kunnossa. Ohjeistus on myös tarkoitettu käytettäväksi yleisinä teknisinä viiteasiakirjoina. Yleiset inframallivaatimukset kattaa koko rakennushankkeen eri vaiheet kuten lähtötietoaineiston, suunnittelun eri vaiheet, rakentamisen, rakennetun todentamisen. Mittaamisen laatuvaatimuksien osalta rakentamisen ja rakennetun todentamisen vaatimukset ja ohjeistukset koskettavat eniten. (YIV 2021, 6.)

3 SATELLIITTIPAIKANNUS

Vuonna 1957 Neuvostoliitto laukaisi ensimmäisen satelliitin maata kiertävälle radalle, ja seuraavina vuosina aloitettiin tutkia mahdollisuutta käyttää satelliitteja paikannukseen. 1960-luvulla USA aloitti Transit Doppler satelliittipaikannusjärjestelmän kehityksen sotilaskäyttöön. 1960-luvun lopulla Transit Doppler järjestelmä vapautettiin siviilikäyttöön, josta kehitystyön jälkeen muodostui NAVSTAR GPS (Navigation Satellite Time and Ranging Global Positioning System) paremmin tunnettuna GPS-järjestelmänä (Global Positioning Systems). GPS-järjestelmä on USA:n ylläpitämä järjestelmä, ja kehityspäätöksiä on varmistettu 2030-luvulle asti. Nykyisin Euroopassa yleisemmin käytetty on GNSS-järjestelmä (Global Navigation Satellite System). Se on Kansainvälinen järjestelmä, johon kuuluu kaikki satelliittipaikannukseen kuuluvat toimijat ja järjestelmät. Eri maiden ylläpitämiä järjestelmiä ovat Venäjän Glonass, Euroopan unionin Galileo, Kiinan BeiDou, USA:n GPS-järjestelmä, sekä muiden maiden satelliittijärjestelmät. GNSS-järjestelmää voidaan kutsua koko maapallon satelliittipaikannuksen infrastruktuuriksi. (Laurila 2020, 250–251.)

3.1 Paikannustekniikka

Satelliittipaikannus tekniikassa käytettävä mittalaitteen paikannin havaitsee satelliittien lähettämiä signaaleja. Signaalien avulla mitataan etäisyyksiä paikantimesta satelliittiin, ja geometrian sääntöjen mukaan vähintään kolmesta sijainniltaan tunnetusta pisteestä etäisyyden perustella voidaan laskea sijainti. Eri mittausvirheiden aiheuttajien ja mittaustarkkuuden kannalta paikan määrittämiseen tarvitaan vähintään neljä satelliittia. (Laurila 2012, 291.)

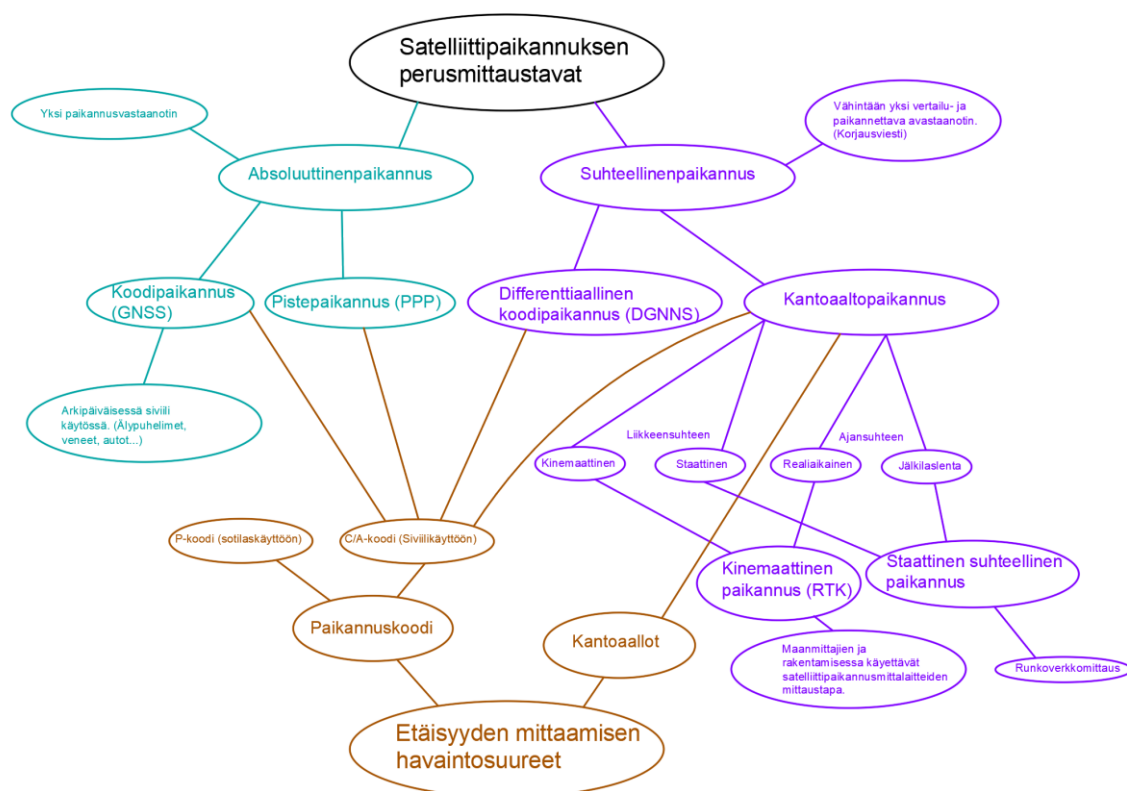
Satelliittipaikannusjärjestelmä on jatkuvassa liikkeessä ja satelliittien sijainti täytyy tuntea, jotta paikannus onnistuu. Satelliitit kiertävät omaa lentorataa yli 20 000 km korkeudessa ja 4 km/s nopeudella, joten niiden sijainti täytyy ennakoida. Satelliitin ennakoivan sijainnin laskentaan tarvitaan tarkkaa ajanmittausta ja satelliittien ratatietoja, joiden avulla satelliittien sijainti pystytään määrittämään muutaman metrin tarkkuuteen. Tämän mahdollistamiseksi satelliitit tarvitsevat maa-asemia, joiden tehtävänä on määritellä ja ennustaa satelliittien lentorata- ja kellovirheitä. Samalla asemista valvotaan paikannusjärjestelmän tarkkuutta ja luetettavuutta. (Laurila 2012, 305–306; Laurila 2020, 251–252.)

Laurilan (2012, 294) mukaan satelliittipaikannus voidaan jakaa kolmeen perustapaan, absoluuttiseen-, differentiaaliseen paikannukseen ja suhteelliseen mittaukseen. Uudemmassa teoksessa Laurila (2020 254, 262) on kirjoittanut, että satelliittipaikannus jaetaan kahteen perustyyppiin havaintolaitteiden määrän mukaan absoluuttiseen- ja suhteelliseen paikannukseen. Myös Poutanen (2016, 249) kirjoittaa että satelliittipaikannus voidaan jakaa havaintolaitteiden määrän mukaan. Absoluuttisessa paikannuksessa käytetään yhtä paikannettavaa vastaanotin mittalaitetta, ja suhteellisessa paikannuksessa käytetään vähintään yhtä vertailuvastaanotinta (Base station) ja paikantavaa vastaanotinta (Rover) (Laurila 2020, 254; Poutanen 2016, 249).

Absoluuttista paikannusta käytetään paljon siviilikäytössä, kuten puhelimissa, autoissa tai veneissä. Se voi olla koodipaikannusta (GNSS) tai tarkempaa pistepaikannusta (PPP), mistä ensimmäinen on laajemmin käytössä (Laurila 2020, 254). Koodipaikannuksen käyttö kuluttajalaitteissa on lisääntynyt räjähdysmäisesti, sillä paikannustapaa käyttää älypuhelimien paikantimet (Poutanen 2016, 13).

Koodipaikannuksessa vastaanotin käyttää etäisyyksien mittaamiseen C/A-koodihavaintoja. Sijainnin määrittämiseen tarvitaan vähintään neljä satelliittia, joiden avulla päästään alle 1–10 metrin paikannustarkkuuteen. PPP (Precise Point Positioning) tarkan pistepaikannus paikannustarkkuuteen perustuu pitkään havainto aikaan, joka voi kestää kymmenistä minuuteista tunteihin. Koodi- ja vaihehavaintojen, tarkkojen satelliitti ratatietojen, kellokorjauksien ja Maan asentoparametrejä käyttäessä laskennassa päästään senttimetrin paikannustarkkuuteen. (Laurila 2020, 254–255.)

Suhteellisessa paikannuksessa mittaustavat ovat differentiaalinen koodipaikannus (DGNSS) ja kantoaaltopaikannus. Differentiaalisessa paikannuksessa etäisyyden laskentaan käytetään C/A-koodeja kuten absoluuttisessa mittauksessa, mutta etäisyyden virheet korjataan tukiaseman avulla. Kantoaaltopaikannuksessa satelliitin etäisyyden laskentaan käytetään kaikkia havaintosuureita. Kantoaaltopaikannustavat voidaan jakaa liikkeen ja ajan suhteen. (kuva 2.) Liikkeen mukaan jaotellaan kinemaattiseen ja staattiseen, missä kinemaattisessa mittaus tapahtuu liikkeessä, ja staattisessa paikoillaan. Ajan mukaan jaetaan reaaliaikaiseen ja jälkilaskentaan. Esimerkiksi RTK-mittaus tulee sanoista Real Time Kinematic, jonka nimi tulee reaaliaikaisen liikkuvaa mittaustavan mukaan. (Laurila 2020, 254–255.)



Kuva 2. Satelliittipaikannuksen perusmittaustavat jaettuna absoluuttiseen ja suhteelliseen paikannukseen.

3.2 Havaintosuureet

Havaintosuureet ovat signaaleja, joita satelliitit lähettävät. Havaintosuureet ovat päätekiä satelliitien ja vastaanottimien etäisyyden määrittämisessä. GNSS-satelliittien ja uuden sukupolven GPS-satelliittien lähettämä signaali koostuu kolmesta osasta, josta paikannukseen etäisyyksien mittaamiseen hyödynnetään kantoaaltoja ja paikannuskoodeja. (Laurila 2012, 292–293.)

Laurilan (2020, 253) mukaan satelliittien lähettämät signaalit koostuu seuraavista:

1. Kantoaalloista, joita on kolme kappaletta L1, L2 ja L5
2. Paikannuskoodista, joita on kaksi kappaletta.
 - P-koodi (Precise), joka on tarkoitettu sotilaskäyttöön ja toimii L1- ja L2 taajuuksilla 29.3 m koodijakson pituuksilla
 - C/A-koodi (Coarse Acquisition) mikä on tarkoitettu siviilikäyttöön, jonka koodijakson pituus on 293 m
3. Navigointiviesteistä, mitkä koostuvat aikaan liittyvistä tiedoista, satelliittien lentorata tiedoista ja satelliittien teknisentilan tiedoista

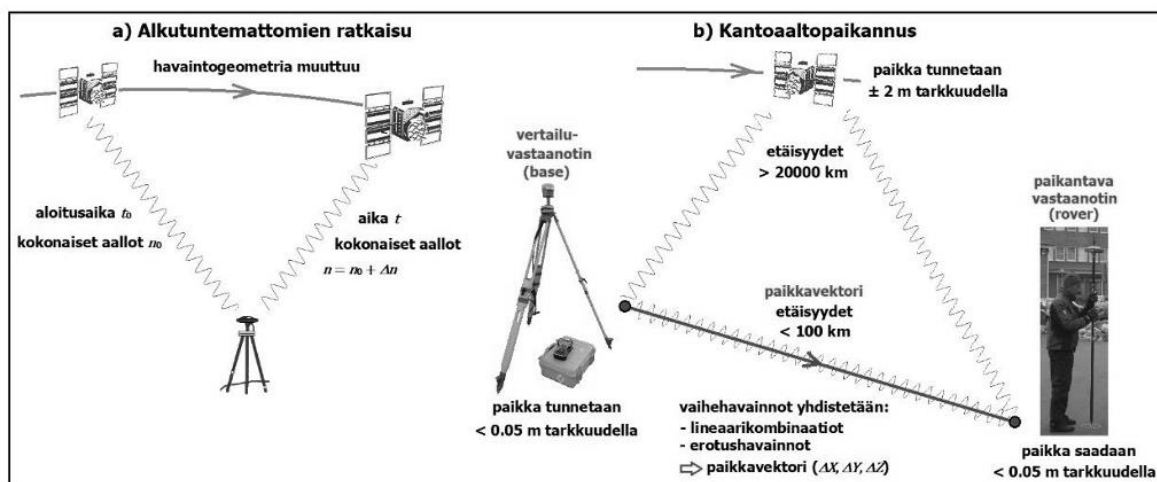
Paikannuskoodista etäisyyden laskentaan käytetään koodihavaintoja, joista johdetaan aikaviiveestä paikantimen ja satelliitin välinen etäisyys. Aikaviiveestä johdettu etäisyys perustuu satelliittien tarkkaan ajanmittaukseen (Laurila 2012, 297).

Satelliitin lähettämästä signaalin paikannuskoodin ja kantoaallon etäisyyttä kutsutaan raakahavainnoksi, ja tämä etäisyys sisältää virheitä. Signaaleista ei suoraan saa määriteltyä satelliittien ja paikantimen välistä etäisyyttä, vaan etäisyyden systemaattisia virheitä korjataan laskentojen kautta. Korjattua etäisyyttä kutsutaan pseudoetäisyydeksi. (Laurila 2020, 253.)

3.3 RTK-mittaus

Infra rakentamisessa ja maanmittauksissa käytetään yleisesti RTK-mittausta eli reaaliaikaista kinemaattista mittausta (Real Time Kinematic), mikä on kantoaaltopaikannuksista yleisin mittaustapa. Kantoaaltopaikannus on vaativa satelliittipaikannus mittaustapa. Kinemaattisella eli RTK-mittauksella päästään 1–10 cm paikannustarkkuuteen. GNSS paikannuslaitteista tarkimpiin paikannustarkkuuksiin päästään staattisella suhteellisella paikannuksella, jolla päästään 1–10 mm tarkkuuteen. (Laurila 2020, 256.) Staattisessa mittauksessa vastaanotin pysyy mittauksen ajan liikkumattomana, ja mittaus voi kestää muutamia minuutteja (Poutanen 2016, 206).

RTK-mittaus toiminta perustuu samanaikaisesti käynnissä oleviin kahden tyyppiseen mittalaitteeseen, missä toinen toimii vertailuvastaanottimena (base station) tunnetulla kiintopisteellä ja toinen on paikannettava vastaanottimena (rover). Vertailuvastaanotinta kutsutaan yleisesti tukiasemaksi. Kumpikin paikannin on yhteydessä satelliitteihin, ja molempia voi olla useita saman aikaisesti käytössä. Tukiasema lähettää havaintosuureiden perusteella tehdyt vaihehavainnot paikannus vastaanottimeen, jota kutsutaan korjausviestiksi. Paikannusvastaanotin laskee kokonaistenaaltojen ja vaiheiden perusteella tukiaseman ja satelliittien välisen etäisyyden, ja näiden perusteella tukiasemalle lasketun sijainnin. Tukiaseman määritetyn sijainnin ja lasketun sijainnin välisestä erosta muodostetaan erotushavainnot. Paikannusvastaanottimen ja satelliittien välisiin etäisyyksiin tehdään erotushavainnon määrittelemä korjaus. Alkutuntemattoman ratkaistuaan paikannin pääsee fixed-tilaan, mikä edellyttää vähintään 6–7 saman satelliitin seuranta tukiasemalta ja paikantimelta (kuva 3). (Laurila 2020, 256.) RTK-mittauslaitteissa vastaanottimissa satelliittien määrät ilmaistaan 16/28. Tämä kertoo, että paikannettavalla vastaanotin havaitsee 28 satelliittia, mutta on niin sanotusti laskennassa 16 yhteistä satelliittia tukiaseman kanssa.



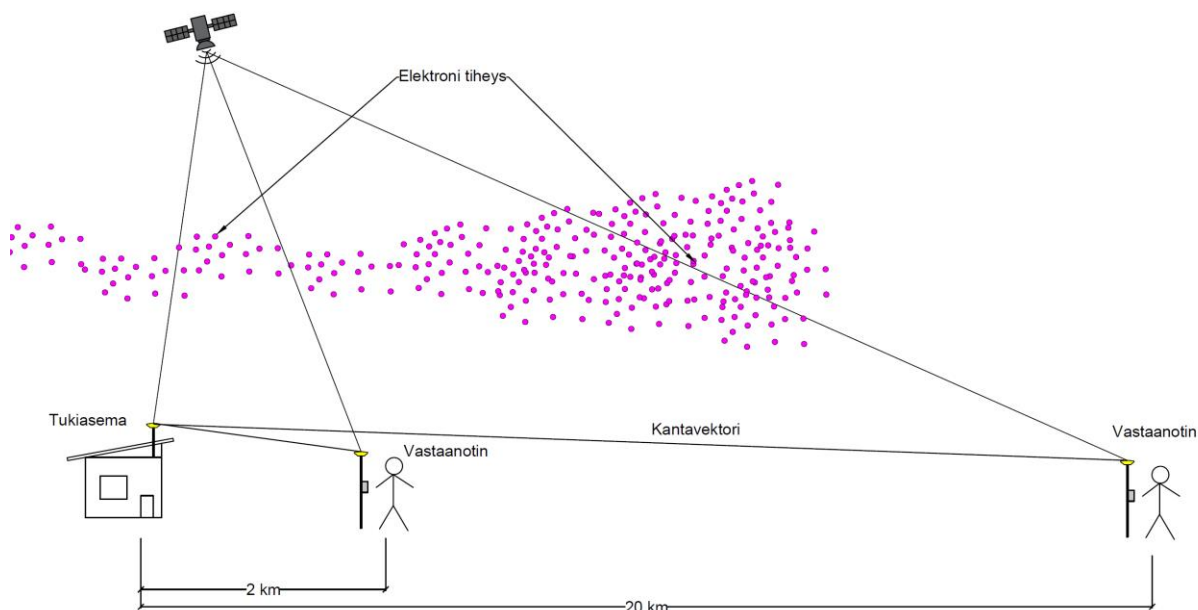
Kuva 3. Kuvaleike Pasi Laurilan E-kirjasta RTK-mittaus (Laurila 2020, 256)

Maanmittaajat ja muut RTK-mittauksia tekevät voivat hankkia korjausviestin paikalliselta tukiasemalta, tai ostaa sen RTK-verkosto palveluntarjoajalta. Nykyään käytetään pääosin RTK-verkkoa, sillä sen käytössä mittaustarkkuus on tarkempi ja toimivuusalue laajempi. RTK-verkko käyttäessä ei tarvitse huolehtia tukiaseman välimatkasta, sillä palveluntarjoajilla on maankattava tukiasema verkosto. Tukiasema verkostossa on laskentakeskus, joka simuloi mittaajalle paikallisen tukiaseman dataa. Käyttäjän ei tarvitse investoida tukiasemaan ja huolehtia sen toimivuudesta. RTK-verkkoa käyttäjä maksaa palvelun tarjoajille käyttömaksua. Suomessa palveluntarjoajia on muun muassa Geotrim Oy, jolla on VRS-palvelu ja Leica Geosystems Oy:n SmartNet-palvelu. (Laurila 2020 256–257.)

Vaikka paikallisen tukiaseman käytön suosio on vähentynyt, se voi tuoda merkittävää säästöä RTK-verkko käyttöön nähden. HxGN SmartNet RTK alueellinen 1 vuoden lisenssi on 1805 € (alv 0 %) (HxGN SmartNet 2023). Mittalaitteita käyttävillä yrityksillä voi olla useita RTK-mittalaitteita, joihin jokaiseen pitää hankkia lisenssi. Tällöin varteenotettava säästökohde on paikallinen tukiasema, jonka hankinta voi maksaa itsensä takaisin muutamassa vuodessa. Paikallisia tukiasemia pystytetään työmaalle tai työmaan läheisyyteen. Mittaamista tulisi välttää yli 20 km etäisyydestä tukiasemasta (Laurila 2020, 257). Tukiasema pystytetään kohtaan, jossa sen näkyvyys taivaalle on esteetön yli 15–20° asteenkulman (Poutanen 2016, 286). Tukiaseman voi pystyttää, vaikka yrityksen toimipisteelle, työmaatoimiston katolle tai kolmijalalle. Paikallisen tukiaseman käyttöä työstää mittaamista, mikäli mittaamista tapahtuu ympäri maakuntaa lyhyinä mittauksina, sillä mittaus paikalle pitäisi perustaa paikallinen tukiasema. Tällöin RTK-verkon käyttö voi olla kustannustehokkaampi vaihtoehto.

Paikallisen tukiaseman ja paikannettavan vastaanottimen välinen etäisyys on paikkavektori tai toiselta nimeltään kantavektori. Paikkavektori voi olla muutamista metreistä kymmeneen kilometriin riippuen tukiasemien määrästä ja tiedonsiirtoyhteydestä. Tiedonsiirtoyhteys voi olla erillisellä radiomodeemilla toteutettu, matkapuhelinverkolla tai internetyhteydellä. Radioaalloilla toteutettu tiedonsiirtoyhteyden kantama on muutamia kilometrejä, kun taas matkapuhelinverkko tai internetyhteydellä välimatkalla ei ole merkitystä, kunhan laite on yhteydessä mobiiliverkkoon. (Laurila 2020, 256–257.)

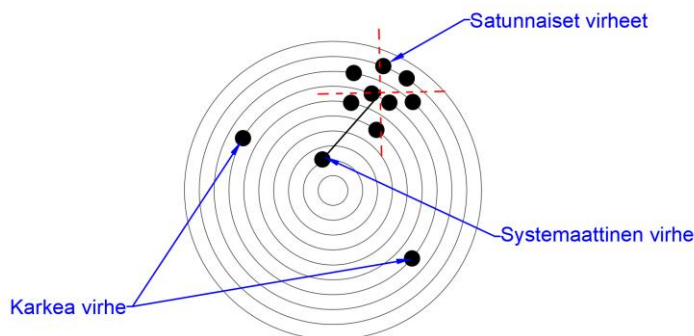
Välmatkan etäisyyttä rajoittaa ionosfäärin aiheuttama signaalin viive. Ionosfääri ei häiritse tukiaseman ja vastaanottimen välistä vektoria, vaan virhe muodostuu elektronitiheyden vaihtelusta. Mitä lyhyempi kantavektori on, sitä todennäköisesti pienempi elektronitiheyden aiheuttama viive on. Kun tukiasema ja paikannettava vastaanotin välinen kantavektori on lyhyt, paikantimien ja satelliittien signaali vektorit kulkevat melko lähellä toisiaan. Kun vastaanotin sijaitsee kymmenien kilometrien päässä, voi elektronitiheydessä olla vaihtelua, jonka takia tukiaseman ja vastaanottimen signaali viive voi olla jo merkittävästi erilainen. Tämän takia mittatarkkuus heikkenee, mitä kauemmaksi paikallista tukiasemaa vastaanotin on. (Kuva 4.) Paikallisen tukiaseman ja vastaanottimen välinen etäisyys olisi hyvä olla alle 10–15 km. (Poutanen 2016, 263.) Aktiivisena ionosfäärin aikana välimatka voi olla paljon lyhyempikin (Poutanen 2016, 293). RTK-verkkoa käytettäessä ionosfääristä ja osittaista troposfääriä on mallinnettu koko tukiasemaverkon alueelle, jolla on saatu signaali viive eroavaisuudet otettua huomioon (Poutanen 2016, 264). Toivosen ja Ylikosken (2013, 8) kokemusten mukaan 10 kilometriä on maksimi etäisyys paikallisesta tukiasemasta mittauksien suorittamiseen. Myös oman kokemukseni mukaan yli 10 kilometrin kantavektorin pituudessa alkaa mittatarkkuus heikkenemään huomattavasti yksittäisten rakennusten tai korkeiden puiden muodostamissa katve-alueissa.



Kuva 4. Ionosfäärin elektronitiheys voi olla erota alueellisesti ja ajallisesti.

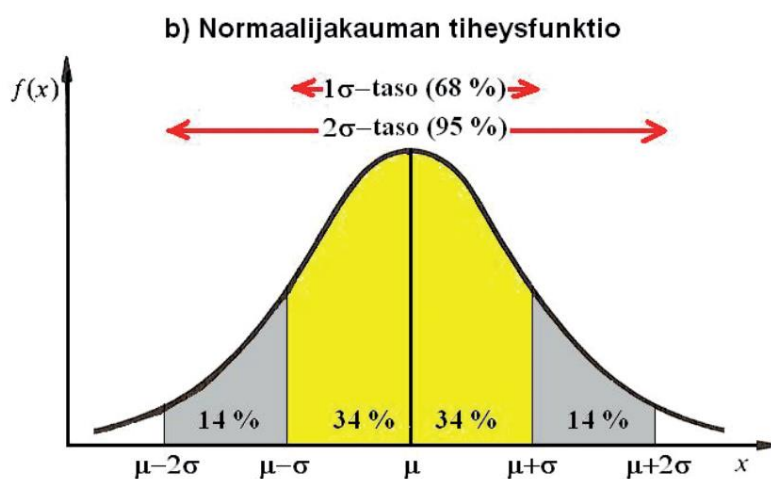
3.4 Satelliittipaikannuksen virhelähteet ja tarkkuus

Mittauksissa tapahtuu aina vaihtelua ja elävä esimerkki on, kun kaksi mittaajaa mittaa saman pisteen eri tuloksilla. Kummankaan tulosta ei voi sanoa yksiselitteisesti oikeaksi ja lähtökohtana on, että mittaustulos on virheellinen. (Laurila Pasi 2020, 128.)



Kuva 5. Virheluokitukset voidaan jakaa satunnaisiin, systemaattisiin ja karkeisiin.

Mittausvirheet luokitellaan kolmeen luokkaan satunnaisiin-, systemaattisiin- ja karkeisiin virheisiin (Kuva 5). Satunnaiset virheet ilmenevät havaintojen vaihteluina, ja syynä voi olla olosuhdevaihtelu, mittauskojeen rakenteelliset puutteet ja mittajaan toiminta. (Laurila 2020, 128.) Satunnaista virhettä ei voida kertoa suoraan absoluuttisena plus- ja miinusarvoina vaan virheen vaihteluvälinä ja keskimääräisenä suuruutena, jotka perustuvat normaalijakaumaan (Laurila 2020,129). Mittaustoistojen vaihtelusta on luotu matemaattinen normaalijakauman tiheysfunktio (kuva 6). Funktiossa (μ) on teoreettinen keskiarvo ja (σ) on teoreettinen keskihajonta. Funktiosta voidaan nähdä, että suurin osa havainnoista sijoittuu keskiarvon kummallekin puolelle. (Laurila 2020,130.) Mittaus tarkkuuden todennäköisyys ilmoitetaan sigmatasoina missä 1σ -tasolla virheiden hajonnan suuruus on 68 % todennäköisyydellä ja 2σ -tasolla 95 % todennäköisyydessä (Laurila 2020,131). Ymmärrän satunnaisen virheen todennäköisyyden seuraavan esimerkin tapaisesti. Jos korkeuden virhemäärä 1σ -tasolla on 20 mm. Todennäköisesti 100 mittauksesta 68 mittausta on $\pm 0-20$ mm päässä teoreettisesta keskiarvosta.



Kuva 6. Kuvaleike normaalijakaumasta Pasi Laurilan Mittaus ja kartoitustekniikan perusteet pdf. julkaisusta (Laurila 2012,36)

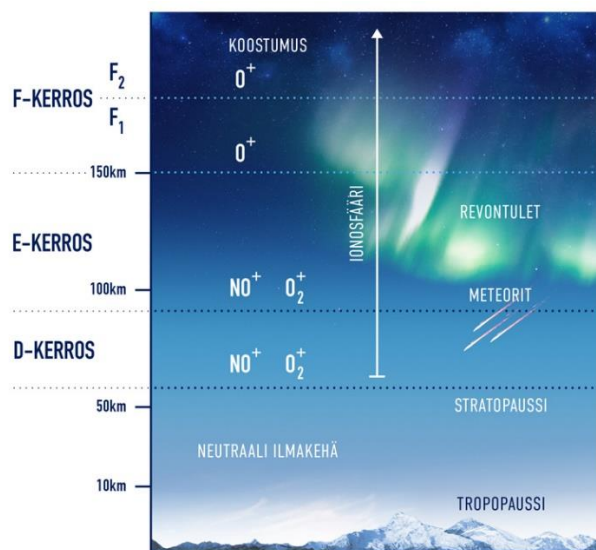
Systemaattisessa virheessä mittaustulos on funktionaalisessa yhteydessä havaintoihin tai vaikutuksessa suureisiin. Systemaattinen virhe esimerkiksi takymetri mittauksessa, jossa huomioidaan ilmanlämpötila ja -paine. Ilman näitä huomioon ottamista mittaustulokseen jää systemaattinen virhe.

(Laurila 2020, 129.) Satelliittipaikannuksessa systemaattisen kaltaisia virheitä ovat esimerkiksi moniheijastuminen (Poutanen 2016, 296).

Laurila (2020, 129) kuvailee karkean virheen mittaajan erehdykseksi. Karkeavirhe voi muodostua virheellisesti käytetystä mittauskojeesta, väärästä kirjauksesta, havainnon nimeämis- virheestä. Kokemukseni mukaan itselläni GNSS kartoitussauvalla yleisin virhelähde on väärä sauvakorkeuden käyttö mittaustaliteessa tai fyysisesti väärän sauvakorkeuden käyttö teleskooppisauvassa. Muu yleinen karkeavirhe on kartoitussauvan kallellaan pitäminen mittaushetkellä tai väärä nimeäminen.

Satelliittipaikanuksen tarkkuuteen vaikuttaa monet tekijät ja sen toimivuus riippuu satelliittijärjestelmän toimivuudesta ja olemassa olevista olosuhteista ilmatilassa ja maanpäällä. Satelliitti paikannuksen tarkkuuteen voi vaikuttaa seuraavat tekijät: (Laurila 2012, 305–306.)

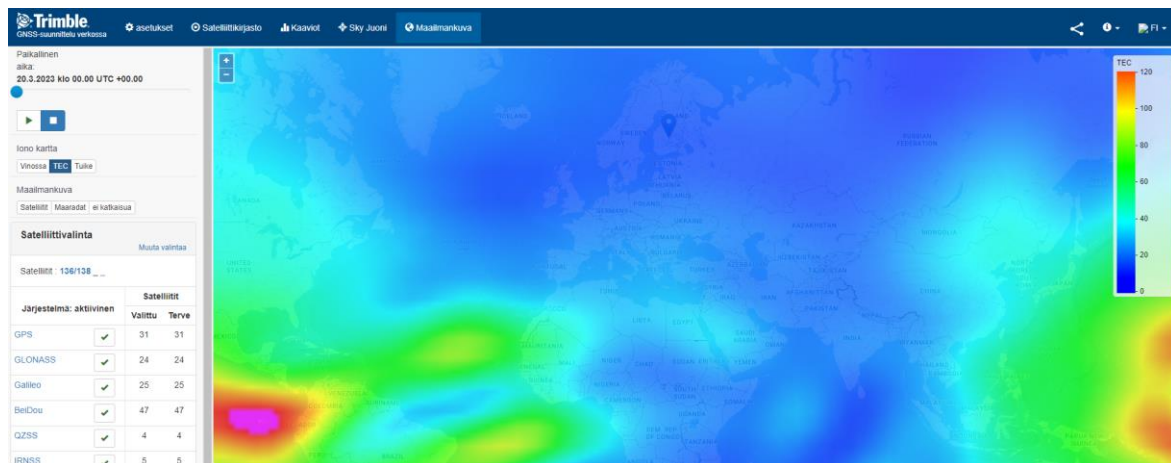
- Ionisfääri- ja troposfäärirefraktio
- Moniheijastuminen
- Satelliittien lukumäärä ja näiden muodosta satelliittigeometria
- Ohjelmisto virheet
- Kellonaika ja ratavirheet
- Muut virheet
- Satelliitti signaali häirintä



Kuva 7. Kuvaleike Ilmatieteenlaitoksen nettisivuilta Maan magneettikentän kerroksista (Ilmatieteenlaitos julkaisuaika tuntematon)

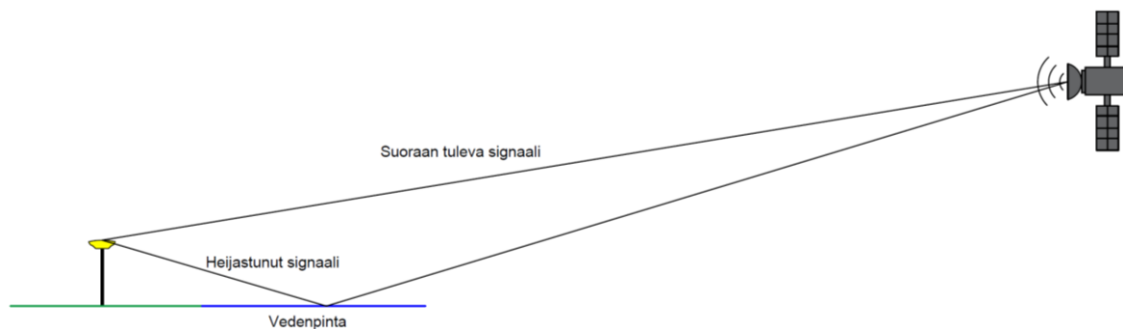
Ionos- ja troposfääri ovat ilmatilan kerroksia, jotka muuttavat satelliitti signaalin kulkumatkaa. Ilmiötä kutsutaan ionisfäärirefraktioksi ja troposfäärirefraktioksi. (Poutanen 2016,183). Satelliitit ovat 20 000 km korkeudessa maanpinnasta ja ilmakehän kerrokseen ionosfääri lasketaan 50–1000 km välille (Kuva 7). Tässä kerroksessa on varattuja elektronihiukkasia, joiden määrä riippuu vuorokauden-, vuodenaikasta ja Auringon aktiivisuudesta. Elektronitiheys on päivällä 5 kertaa suurempi kuin yöllä. Neljä kertaa suurempi marraskuussa, kun heinäkuussa. Auringon aktiivisuus jaksossa suurimmillaan neljä kertaa enemmän kuin minimi aikana. Näiden tekijöiden lisäksi elektronitiheydessä on ajallisia ja paikallisia vaihteluja. (Poutanen 2016, 181.) Auringon aktiivisyys jakso kestää keskimäärin 11 vuotta. Edellinen minimiaktiivisyys jakso oli 2019 ja seuraava maksimiaktiivisyysjakso arvioidaan

tulevan vuonna 2025 aikana. (Marko Riikonen 16.9.2020; Näin Auringon aktiivisuusminimi vaikuttaa elämäämme Maassa 2020.) Aktiivisena ionosfäärin aikana säteily voi olla vaihtelevaa ja epätasaista mikä tekee satelliittipaikannuksesta lähes mahdotonta (Laurila 2012, 306). Elektroni tiheyttä kerrotaan TEC (Total Electron Content) yksikkönä 10^{16} elektronia m^{-2} , jonka lukuarvon mukaan voidaan kantoaalto taajuuksille määrittää viive metrein. (Poutanen 2016, 186–187).



Kuva 8. Kuvaleike TEC arvo mallinnuksesta Trimblen sivuilta (Trimble GNSS-suunnittelu)

Troposfääri kerrosta kutsutaan ionosfääri alle jäävistä ilmakehän kerroksista. Kun ionosfäärirefraktio viivyyttää signaalin kulkumatkaa troposfäärirefraktio taittaa signaalia. Troposfäärin vaikutus mittatarkkuuteen on suurinta vuoristoisella seudulla, missä tukiaseman ja vastaanottimeen muodostuu suuria korkeuseroja. Suomessa korkeuseroissa vaikutus mittatarkkuuteen on vähäinen. (Poutanen 2016, 193–195.)



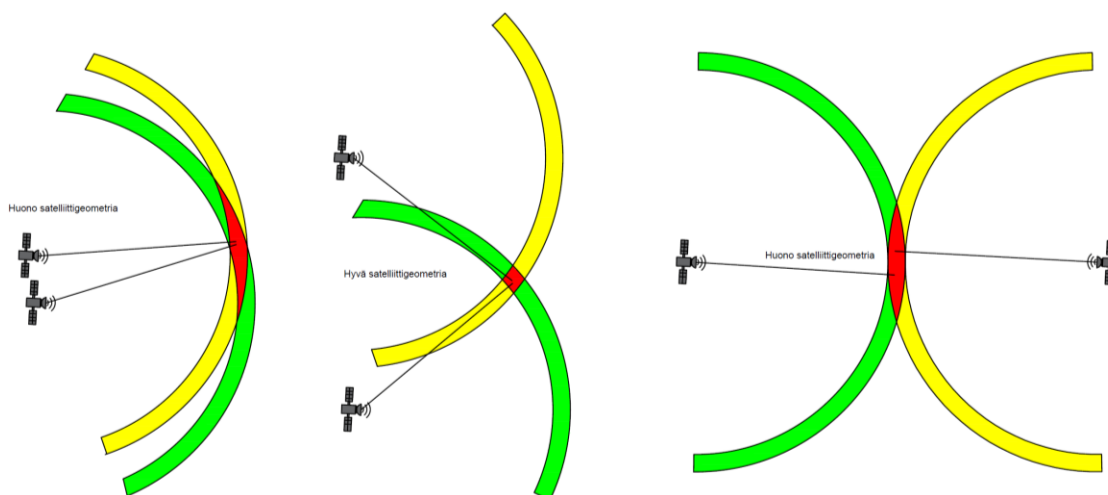
Kuva 9. Monitieheijastumisen riski kasvaa mitä matalammassa kulmassa satelliitti.

Monitieheijastumisessa satelliitin signaali saapuu vastaanottimeen useammasta, kuin yhdestä suunnasta (kuva 9). Heijastunut signaali vääristää signaalin kulkumatkaa, josta muodostuu virhettä. Monitieheijastumista voi aiheuttaa vastaanottimen antennin lähetyillä olevat autot, rakennukset ja vedenpinta. Mitä matalammasta kulmasta signaali tulee, sitä suurempi riski monitieheijastumiseen on. Monitieheijastumisen aiheuttama virhe koodihavaintoihin voi olla 10–20 metrin luokkaa, kun taas kantoaaltojen havainnoissa se on senttimetrien luokkaa. (Poutanen 2016, 199–201; Laurila 2012, 307).

Satelliittigeometria on merkittävässä roolissa hyvän sijaintitarkkuuden osalta. Satelliittigeometrian hyvyyttä kerrotaan DOP-luvuilla (Dilution Of Precision). DOP-luvut kerrotaan yleensä 0–20 lukuarvoissa. Mitä pienempi DOP-luku on sitä parempi satelliittigeometria ja mittauksen luotettavuus. Satelliittigeometria muuttuu jatkuvasti. Avonaisessa mittaus paikassa satelliitti geometrian kanssa ei tule ongelmia, mutta jos alueella on näkyvyys esteitä yli 15° leikkauskulmassa voi satelliitti geometria olla tiettyinä vuorokauden aikoina niin huono ettei mittauksia voi tehdä. DOP-lukuarvojen mukaan voidaan jakaa satelliittigeometria seuraavasti:

- <2: Erinomaisen hyvä
- 2–5: Hyvä (Riittää useimpiin mittaustarkkuuksiin)
- 5–10: Kohtalainen (Käyttökelpoinen, mutta mittaustarkkuutta seurattava)
- 10–20: Huono (Mittaamista vältettävä)
- >20: Erittäin huono (Parempi lähteä kahville odottamaan parempaa satelliittigeometriaa)

(Poutanen 2016, 230–231)



Kuva 10. Satelliittigeometrioita

Muita tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä voi olla esimerkiksi satelliittien kello- ja ratavirheet, antennin vaihekeskipistevirhe, ohjelmistovirheet paikantimissa, vastaanottimien kellovirheet, antennin päälle satanut lumi tai sen päällä tähystelevä lintu (Poutanen 2016, 204–208). 2020-luvulla tullut ihan uusi virhelähde, joka on GNSS-häirintä. GNSS-häirinnässä häirintälaitteet lähettävät voimakasta signaalia niin että vastaanotin ei tunnista satelliittien aiheuttamaa signaalia. Pienelläkin 1W-tehoisella häirintälaitteella eli jammerilla voidaan häiritä 20 km² kokoista aluetta. (Maanmittauslaitos 2022.)

4 KOORDINAATISTOT JA KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄT

Puhe kielessä useasti koordinaattijärjestelmää kutsutaan koordinaatistoksi, vaikka ne ovat kaksi eri asiaa. Koordinaatisto on tapa, miten sijaintitietoa ilmaistaan matemaattisesti täsmällisin lukuarvoin. Koordinaatistoja on kolmenlaisia mitä käytetään mittaamisessa.

- Maantieteellinen koordinaatisto
- Ellipsoidikeskinen kolmiulotteinen suorakulmainen koordinaatisto
- Kaksiulotteinen suorakulmainen koordinaatisto

Koordinaattijärjestelmä on realisoituja järjestelmiä, joita voidaan hyödyntää mittauksissa ja paikantamisessa. Koordinaattijärjestelmän nimi kertoo kuinka ja mihinkä sijaintitietoa verrataan. Koordinaattijärjestelmät on kiinnitetty maahan tähtitieteellisten - ja runkomittausten avulla. Maa on epästabili, jonka seurauksena mannerlaatat liikkuvat erisuuntiin muutamasta senttimetristä jopa kymmeneen senttimetriin vuodessa. Tämän takia ympäri maailmaa käytetään mannerlaattoihin sidottuja koordinaattijärjestelmiä. (Laurila Pasi 2012, 139; Paikka Oppi.)

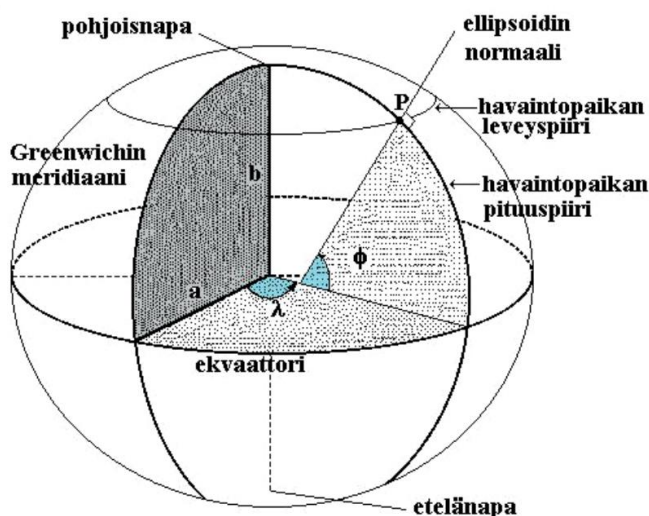
Rakentamisessa käytetään kolmiulotteista suorakulmaista koordinaattijärjestelmää. Hankkeille nimitetään sopimusasiakirjoissa vain yksi koordinaattijärjestelmä missä kaikki mittaus ja paikkatieto tapahtuu. Tällä yhden mukaistetaan paikkatietoa ja vältetään virheistä mitä koordinaattimuunnoksissa syntyy. Mittaamisesta vastaavan on tärkeä ymmärtää perusteet koordinaattijärjestelmistä, mihinkä niiden toiminta perustuu, mitä mittavirhettä ne voi aiheuttaa ja millä tavalla satelliitit liittyvät Suomen suorakulmaiseen koordinaatistoon.

Mittauksissa ja kartoituksissa määritellään koordinaatteja ja korkeuksia kohteelle. Tätä kutsutaan sijaintimittaukseksi. Infrarakentamisessakin lähestulkoon kaikki satelliittipaikannus mittalaitteilla ja takymetrillä tehdyt mittaukset ovat sijaintimittauksia. Mittaustekniikassa sijainnin ilmaisemiseen käytetään tasosijaintia, joka on suorakulmaisten koordinaattien muodossa (X_p , Y_p). Korkeuden sijainti (P) lasketaan Maan painovoiman määrittelevän luotiviivan mukaan verrattavan tason ja mitatun korkeuden välisestä etäisyydestä, joka on (H_p). Verrattava taso on geoiditaso, joka on merenpinnan keskivedenkorkeuden jatke mantereelle, joka tunnetaan paremmin nimellä merenpinnankorkeus. geoiditasoja on useita ja Maan geoiditasoja tutkitaan jatkuvasti. (Laurila 2012, 7.)

4.1 Maantieteellinen koordinaatisto

Maantieteellistä koordinaatistoa käytetään laaja-alaisissa maantieteellisissä kartoissa, merikartoissa ja satelliittijärjestelmissä. Myös hätäkeskus käyttää tätä järjestelmää ja esitysmuotona $ddd^{\circ}mm'mmm''$. Koordinaatisto on kiinnitetty Maan pyörähdysellipsoidiin ja päiväntasaajaan, missä sijainti ilmoitetaan leveyskulmina (Φ) ja pituuskulmina (λ). Kulmat määräytyvät pituus- ja leveyspiireistä, joita kutsutaan meridiaaniksi. Pituuspiiri on maanpinnan myötäinen kaari, joka alkaa ja päättyy pohjois- ja etelänapaan. Pituuspiirin nollameridiaani on Greenwich:ssä mikä on Lontoon itäinen esikaupunki. Leveyskulma meridiaani kulkee ekvaattorilinjalta eli päiväntasaajan mukaan, joka on myös sen nolla aste. Koordinaatit ovat asteina ($^{\circ}$), minuutteina ($'$) tai sekunteina ($''$) esimerkiksi $62^{\circ}14'09.1''N$ $25^{\circ}45'26.6''E$ google maps:n antama koordinaatti Jyväskylän satamasta on asteina, minuutteina ja

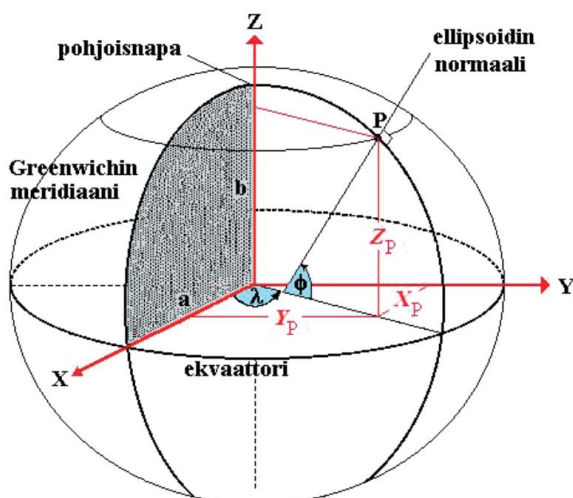
sekunteina (DMS). Samasta sijainnista google maps antaa toisen koordinaatin 62.235867, 25.757392 mikä on desimaalasteina (DD). (Laurila 2012, 140–141; Maps ohjeet).



Kuva 11. Kuvaleike maantieteellisestä koordinaatistosta Pasi Laurilan Mittaus ja kartoitustekniikan perusteet pdf. julkaisusta (Laurila 2012, 141)

4.2 Ellipsoidikeskinen suorakulmainen koordinaatisto

Ellipsoidikeskinen suorakulmainen koordinaatisto nimensä mukaan suorakulmaisesti toimiva X-, Y- ja Z-akselin koordinaatisto, joka kiinnittyy pyörähdys ellipsoidi akselin keskelle. Tätä kutsutaan geosentriseksi, jolloin origo kiinnittyy Maan keskipisteeseen. Origosta X-akseli kasvaa kohti nollameridiaania ja Y-akseli sitä vastaan kohtisuorassa itään ja Z-akseli on pyörähdysellipsoidi akselilla kasvava kohti pohjoisnapaa. (Kuva 12.) Koordinaatistoa käytetään satelliitti järjestelmissä ja koordinaatti muunnoksien laskentojen apuna. WGS84-järjestelmä on tärkeimpiä ellipsoidikeskisiä suorakulmaisia koordinaatistoja. WGS84 on lyhenne Word Geodetic Systems 1948:tä, jonka kehittänyt Yhdysvallat GPS-järjestelmälle. (Laurila 2012, 142–143.)

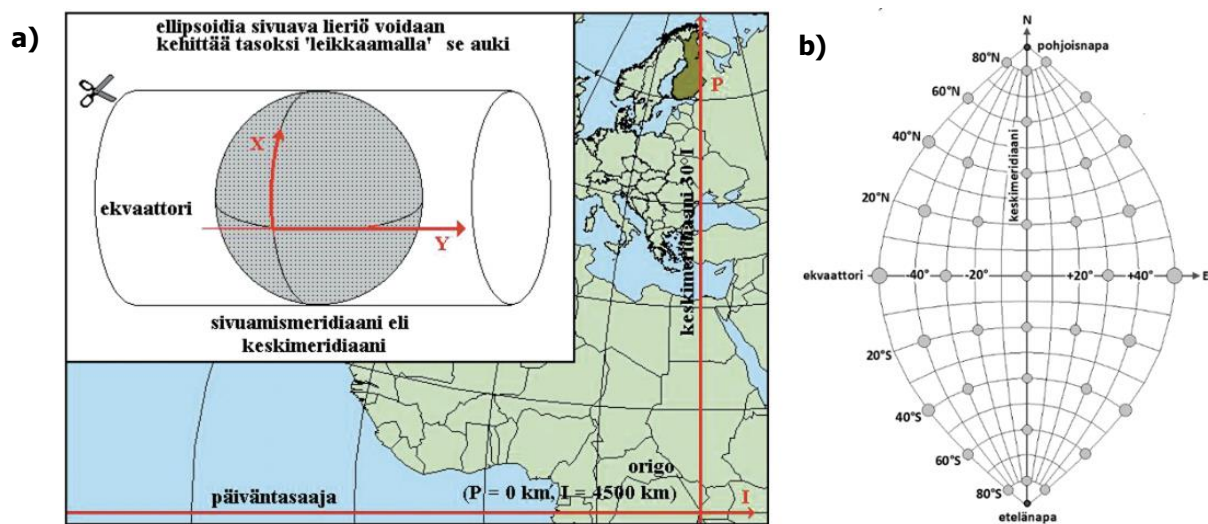


Kuva 12. Kuvaleike ellipsoidikeskisestä suorakulmaisesta koordinaatistosta Pasi Laurilan Mittaus ja kartoitustekniikan perusteet pdf. julkaisusta (Laurila 2012, 143)

4.3 Suorakulmainen koordinaatisto

Rakentamisessa ja muiden kartan käyttäjille on tärkeää, että kuva on mittakaavassa ja siitä voidaan mitata suureita. Näissä tapauksissa karttaprojektiona käytetään suuntaisprojektiota ja keskusprojektiota. Suuntaisprojektiossa kuvaustasolle kuvataan yhden suuntaisina säteinä. Yksi suuntaisprojektiota on ortogonaaliprojektio mitä käytetään esimerkiksi asemakuvissa. Ne on kuvattu yhdensuuntaisina säteinä kohtisuoraan vaakatasolle. (Laurila 2012, 145.)

Karttaprojektio on Maan tasokuva, joka on taitettu kaksikulotteiseksi, kun esimerkiksi karttapallo on kolmiulotteinen kuva Maasta. Karttaprojektio on jaettu suorakulmisiin tasokoordinaatistoihin, jotka muodostavat karttakoordinaatiston. Maan pyöreän muodon takia karttaprojektio pitää pakottaa tasokuvaksi, jonka takia ne ei vastaa täysin geometrisesti metristä suorakulmaista järjestelmää. Tätä kutsutaan projektiovirheeksi mikä on ongelma laajemmissa karttakuvauksissa, sillä tasoa ei voida projisoida vääristämättä kuvaa, että kulmat, etäisyydet ja pinta-alat vastaisi kartalla todellisuutta. (Laurila 2012, 7,145 Laurila 2020, 97; Paikka Oppi.)



Kuva 13. a) Kuvaleike Mercatorin projektiosta Pasi Laurilan Mittaus ja kartoitustekniikan perusteet pdf. julkaisusta (Laurila 2012,151) Kuvaleike poikittaisasentoinen Mercatorin kuvausteknisistä ominaisuuksista Laurilan E-kirjasta Maan mittauksia (Laurila Pasi 2020, 106)

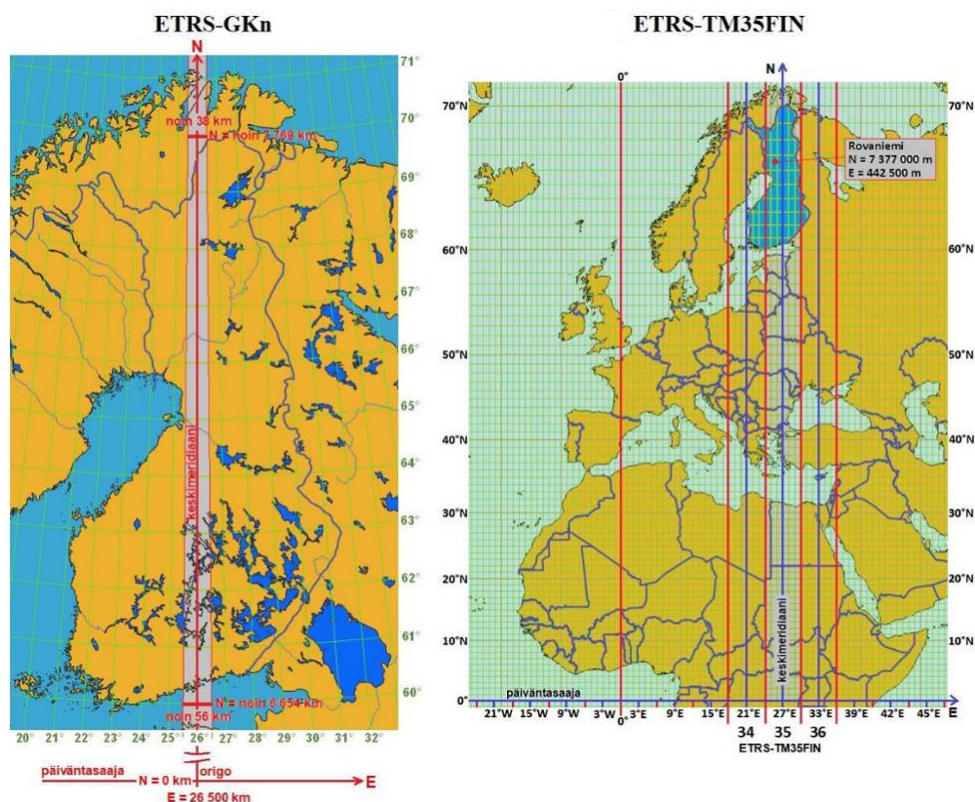
Suomessa käytettävät karttaprojektiot mittauksissa, maastokartoissa ja paikkatietoaineistossa ovat poikittaisasentoinena Mercatorin projektiaina. Tässä projektiossa Maa on kuvattu poikittaiselle lieriölle tasokuvaksi (Kuva 13, a). Projektio on jaettu karttakoordinaatistoon pituuspiirien ja leveyspiirien avulla missä ekvaattorilinjalta ne leikkaavat kohtisuoraan (Kuva 13, b). Pituuspiirit ovat meridiaaneja, jotka leikkaavat pohjois- ja etelänavan asteittain. Leveyspiirit ovat taas päivän tasaajalinjan myötäisiä, jotka ovat kuvautuvat tasavälein. Projektiovirhe kasvaa mitä kauemmaksi ekvaattorilinjalta siirtyään kohti napa-alueita ja samantapaisesti projektiovirhe kasvaa mitä kauemmaksi keskimeridiaani linjalta ollaan. Kuvassa 13 b on kuvattu maa poikittaisprojektion missä kaikki pituus- ja leveyspiirien leikkaamat ruudut ovat samankokoisia todelliselta pinta-alaltaan, mutta kuvautuvat tasokuvaan vääristyen. Lähellä keskimeridiaani- ja ekvaattorilinjaa virhe on lähes olematon, kun taas napa-alueita ei pystytä tässä projektiossa kuvaamaan ollenkaan. Projektio sopii alueille, jotka ovat pohjois-etelä

suunnassa pitkiä kuten Suomi. Keskimeridiaanilinja voidaan asettaa eri pituuspiiri asteille, jolloin saadaan vähennettyä projektiovirhettä leveys suunnassa. Gauss-krügerin projektiossa keskimeridiaanin asteluku on ilmoitettu pienellä n-kirjaimella. (Laurila Pasi 2020, 105-106; Laurila Pasi 2012, 151.)

4.4 Suomen koordinaattijärjestelmät

Suomen ja muiden Euroopan maiden koordinaattijärjestelmät pohjautuu Eurooppalaiseen ETRS89 järjestelmään (European Terrestrial Reference System 1989). ETRS89 järjestelmä on kolmiulotteinen suorakulmainen koordinaattijärjestelmä, joka on kiinnitetty Euraasian mannerlaattaan. Suomen realisaatio on ETRS89 järjestelmästä on EUREF-FIN, joka on Suomen tämänhetkinen koordinaattijärjestelmä (Laurila Pasi 2020, 106). ETRS89 järjestelmä pohjautuu globaaliin ITRS vertausjärjestelmään (International Terrestrial Coordinate Reference Systems). ITRS järjestelmältä ei voida suoraan mitata ja sen takia tästä on tehty realisaatioita eli toteutuksia. Tästä tehtyjä realisaatioita on esimerkiksi ITRF, WGS84, ETRS89. (Poutanen 2016, 40–41, 44–45.)

Maastokartoissa ja paikkatiedossa Suomessa yleisesti käytetään maailman laajuista UTM-projektiota (Universal Transverse Mercator). Se on poikittaisasentoinen Mercatorin projektio missä käytetään kuuden asteen kaistajakoa. Kaistoissa käytetään numerointia 1–60, missä ensimmäisen kaistan keskimeridiaani on Tyynellämerellä 177°W kohdalla. Suomi mahtuu lähes kokonaan kaistalle 35, josta juontuu ETRS-TM35FIN-koordinaatisto. Suomi kuitenkin ulottuu länteen kaistalle 34 ja itään kaistalle 36. Tämän takia kaistaa on levennyt, mikä on kerrottu FIN-lyhenteenä. (Laurila Pasi 2020, 107.)



Kuva 14. Kuvaleike Suomen karttakoordinaateista Pasi Laurilan E-kirjasta Maanmittauksia. (Laurila 2020, 108)

Suomessa tarkoissa mittauksissa kiinteistöjärjestelmissä ja rakentamisessa käytetään ETRS-GK koordinaatistoja. Se pohjautuu Gauss-Krügerin suorakulmaiseen projektioon, mutta Suomessa tässä käytetään 1° kaistajakoa 3° sijasta. Suomi on jaettu 13 kaistaan GK19-GK31. GK-lyhenteen jälkeen

oleva luku kertoo koordinaatiston keskimeridiaani asteen. (kuva 14.) Pohjoiskoordinaatti (N) on projektion pintaa myöten oleva etäisyys päiväntasaajaan eli ekvaattorilinjaa. Itäkoordinaatissa käytetään selkeyttämisen vuoksi niin sanottua siirrettyä origoa. Keskimeridiaanilla itäkoordinaatin lukuarvo on 500 000 m, jonka eteen lisätään keskimeridiaani luku. (Pasi Laurila 2020, 107.) Esimerkiksi Jyväskylän seudulta oleva itäkoordinaatti 26484176.18 kaksi ensimmäistä lukuarvoa kertoo, että keskimeridiaani on 26°E. Lopuista arvoista voidaan laskea, että koordinaatti sijoittuu länteen 15 823,82 metriä keskimeridiaanista ($500\,000 - 484\,176,18 = 15\,823,82\text{ m}$). GK-kaista koordinaattijärjestelmät voivat olla lyhennettyinä. Lyhennytyssä ETRS-GK järjestelmässä y-akselin lukuarvosta on poistettu kaistatunnus eli kaksi ensimmäistä numeroa. Tällöin itäkoordinaatti on 6 numeroinen, mutta pohjoiskoordinaatti on 8 numeroinen.

5 MITTAAMISEN LAADUNVARMISTU INFRARAKENTAMISESSA

Lähtökohtana on tutkia mitä mittaamisen laadunvarmistus on ja miten sitä voitaisiin käytännössä toteuttaa. Tutkimuksen perustana on käytetty infraRYL ja YIV (2021) ohjeistuksia, joita soveltamalla toteutettiin toimintamalleja mittaamisen laadunvarmistuksesta.

Laadunvarmistuksessa valvotaan laatua ja korjataan mahdollisia puutteita. Laadunvarmistus on osa laatujärjestelmää ja laatujärjestelmä koostuu eri aihealueista yrityksen toiminnan mukaan. Laatujärjestelmällä pyritään siihen, että voidaan osoittaa asiakkaalle tuotteen tai palvelun olevan laatuvaatimuksien täyttämä. (ASQ.)

Hyvän rakentamisen tavan mukaisesti eri rakenneosille on määritetty tarkkuusvaatimus mihinkä suunnitelmasta poiketen voidaan rakentaa. Laurilan (2012, 41) mukaan laadunvalvonta on myös perusta hyvään mittaustapaan. Hyvässä mittaustavassa sovelletaan hyviksi koettuja mittausten menetelmiä ja mittaustekniikan tietämystä. Infrarakentamisessa nykyään lähes kaikissa isommissa työmaissa käytetään työkoneissa tietomallipohjaisia mittalaitteita. Mielestäni varjopuolena ammattitaitoisuus mittaukseen on vähentynyt pienemmän kokoluokan työmaissa, sillä urakoitsijoilla ei välttämättä ole ammattitaitoisia mittaushenkilöstöä ja tilaajalla ammattitaitoa valvoa mittausta. Isommissa rakennuskohteissa kuten väylähankkeissa isojen urakoitsijoiden mittaushenkilöstö työtehtävät on korkokeppien pystytyksestä siirtynyt laadunvarmistukseen. Tämä on kasvattanut työtehokkuutta ja laadukkuutta väylähankkeissa. (Destia, 2021.)

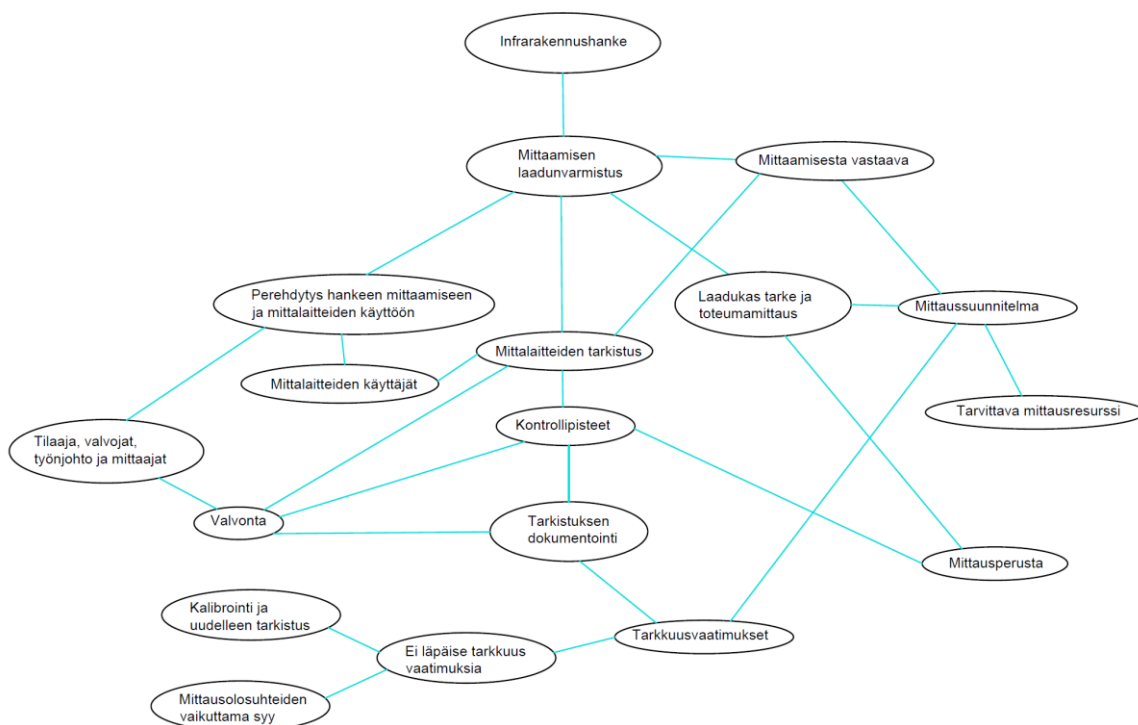
5.1 Mittaamisen laadunvarmistus toimet

YIV:sä (2021, 116) on kerrottu mallipohjaisesta rakentamisesta ja laadunvalvonnasta. Kappaleen 4.3 sisältö on tarkoitettu hyödynnettäväksi tie-, katu-, puisto-, alue-, ja ratarakennushankkeille mitkä toteutetaan mallipohjaisesti työkonerohjeistuksella. Mallipohjaisen rakentamisen ja laadunvalvonnan prosessi koostuu seuraavista osioista.

- Hankkeen valmistelu
- Työmaan perustamien
- Rakennussuunnitelmamallien tarkastus
- Työmaan perehdyttäminen
- Työkoneautomaation tarkastukset
- Toteumamittaukset työkoneilla
- Toteuman tarkastus ja dokumentointi

Mielestäni mittaamisen laadunvarmistus on yksi kokonaisuus mallipohjaisesta rakentamisesta ja laadunvalvonnasta. Mittaamisen laadunvarmistuksessa keskitytään mittalaitteiden toiminnassa tapahtuviin mittausvirheiden minimointiin ja tarkkailuun. Pääkohdat mittaamisen laadunvarmistukseen arvioin olevan seuraavat kohdat.

- Toimihenkilöiden perehdytys mittauksen toteutukseen ja koneen kuljettajien ja muiden mittalaitteiden käyttäjien perehdytys laitteiden toimintaan
- Mittalaitteiden säännöllinen tarkistus ja dokumentointi
- Tarkemmittaus ja jatkuva rakentamisen tarkkuuden seuranta



Kuva 15. Ajatuskaavio mittaamisen laadunvarmistuksesta

5.2 Mittaamisen perehdytys

Mittaamisen perehdytys koskee ensisijaisesti työmaalla toimivia työjohtajia ja mittalaitteiden käyttäjiä. Perehdytys materiaalina olisi hyvä käyttää mittaussuunnitelma mikä olisi toteutettu niin, että sen avulla pystytään helposti perehdyttämään hankkeen mittaamiseen ja osoittaa tarvittaessa tilaajalle rakentamisen laadukkuutta.

Työnjohtajien ja mittajien kanssa olisi hyvä käydä mittaussuunnitelma läpi kokonaisuudessa, josta kävisi ilmi hankkeelle tarvittava mittausresurssi, -perusta, tarkkuusvaatimukset rakenneosille, mittalaitteiden tarkistuksen toteutus ja tarke- ja toteumamittauksen toteutus. YIV 2021 liitteestä 4.1 löytyy mittaussuunnitelmassa käsiteltävät asiat. Pienemmissä hankkeissa missä tietomallipohjaista rakentamista ei vaadita ja mittauksen henkilöstö määrä on pieni, suunnitelma on mielestäni turhan laaja tähän tarkoitukseen.

Työkoneen kuljettajille pitäisi perehdyttää ainakin mittatarkkuusvaatimukset, mittalaitteiden tarkistuksen toteutus ja toteumamittaaminen. Osalle työkoneen kuljettajille mittalaitteiden käyttö voi olla hankalaa ja myös tarkistuksen tärkeyden ymmärtäminen. Kokemukseni mukaan osa koneen kuljettajista ei ymmärrä, että mittatarkkuus voi vaihdella ja järjestelmän näyttämä sijaintitieto ei ole absoluuttisen oikea. Tällöin on tärkeää opettaa koneen kuljettajia mittalaitteiden käyttöä ja opettaa satelliittipaikannukseen vaikuttavia olosuhde tekijöitä.

Kokemukseni mukaan koneohjausjärjestelmän käyttäjä on osattava vähintään:

- Projektin valitseminen
- Mittalaitteesta oikean kauhan valitseminen
- Oikean mallin valitseminen ja mallin rakenneosan ymmärtäminen
- Tarkistaa itsenäisesti mittatarkkuus
- Tiedostaa hankkeen tarkkuusvaatimukset
- Toteumamittaus ja koodinimet
- Tiedonsiirto pilvipalvelun tai usb synkronoinnin avulla

5.3 Mittalaitteiden tarkistus

Mittalaitteita on syytä tarkistaa tasaisin väliajoin ja osa tarkistuksista dokumentoidaan. Tarkistuksissa on aina verrattava järjestelmä ja tarkistettavan laitteen mittaustulos. Verrattavajärjestelmä täytyy olla tarkkuusluokkana tarkempi, kuin tarkistettavan laitteen vaadittu mittatarkkuus. Tarkistettavia laitteita on koneohjausjärjestelmät, RTK-GNSS-laitteet ja tukiasemat. Täkyometri toiminnan takia tulee laitevalmistajan tai muun valtuutetun huollon tarkistaa ja kalibroida kerran vuodessa.

5.3.1 Tukiaseman tarkistus

Tukiasemasta tarkistetaan tämän sijainti ja tukiaseman GNSS-vastaanottimen tarkkuus. YIV (2021,121) ohjeen mukaan tukiaseman sijainti tarkistetaan kerran kuukaudessa takymetrillä tai jos on epäily, että tukiasema on päässyt liikkumaan. YIV (2021, 121) määrittää tarkkuus vaatimukseksi ± 20 mm (xyz). Tukiaseman lähetyvillä tehdään myös GNSS-mittalaitteella kiintopisteelle mittaus kerran viikossa ja tällöin mittalaitteella täytyy olla korjausviesti tukiasemalta. Saman tarkistus tehdään kerran viikossa, vaikka korjausviesti tulisi virtuaalitukiasemalta. (YIV 2021, 121.)



Kuva 16. Tukiaseman tarkistuksessa antennin paikalle kiinnitetään prisma mittauksen ajaksi.

Tukiaseman voi perustaa takymetrin avulla mittausperustan kiintopisteisiin. Kiintopisteet olisi hyvä sijoittaa, että niistä voidaan mahdollisimman kauan suorittaa takymetrin orientointia. Kiintopisteet kannattaa kiinnittää liikkumattomaan elementtiin kuten kallioon, isoihin maakiviin tai rakennukseen. Orientointi missä tarkistetaan tukiasema, kannattaa suorittaa aina samoista kiintopisteistä. Orientoinnissa olisi hyvä tarkistaa RTK-GNSS-laitteen tarkistuskiintopiste. Tukiaseman tarkistuksen voi tehdä seuraavalaisesti:

1. Pystytetään takymetrin kolmijalkaan vakaaseen alustaa
2. Tehdään sääkorjaus ilmanpaineen ja lämpötilan mukaan
3. Orientoidaan vähintään kolmeen kiintopisteeseen ja tarkastellaan orientointi tuloksia
4. Mitataan GNSS-laitteen tarkistuspiste
5. Irrotetaan tukiaseman antennin ja kiinnitetään prisma tilalle (kuva 16.)
6. Mitataan
7. Vaihdetään antenni takaisin paikoilleen.
8. Tarkastellaan mittaustulosta ja laaditaan dokumentti

Tukiasema voidaan tarkistaa ilman, että antennia irrotetaan. Tukiaseman mastoon tai muuhun pintaan voi asentaa tarratähyksen, jonka avulla tukiaseman sijaintia liikkeitä voi seurata. (Mallipohjaisen rakennustyömaan mittausohje 2019.)

Liitteessä 1. on tukiaseman tarkistuksen dokumentti pohja. YIV (2021, 121) mukaan dokumentissa tulee olla seuraavat tiedot, tukiaseman nimi/tunnus, ajankohta, koordinaattien x-, y-, ja z-poikkeamat, tarkastusmittaus menetelmä, tarkkuustiedot, vapaa muotoinen kuvaus tapahtuneesta ja tarkistuksen tekijä. Dokumenttiin olen lisännyt tukiaseman koordinaatit, sääkorjauksen, orientoinnin tiedot ja GNSS-laitteen tarkistuspisteen mittaustulos.

5.3.2 Koneohjausjärjestelmän tarkistus

YIV (2021, 121) mukaan työkoneiden tarkastusmittaukset tulisi tehdä, kun työkone saapuu työmaalla, työaikana vähintään kerran viikossa lukuun ottamatta kantavan kerroksen tekoa, jolloin tarkastus tehdään päivittäin. Tarkastusmittauksen voi tehdä mittaamalla teränsijainnin GNSS-laitteella, takymetrilla tai mittaamalla tunnetulle pisteelle. Tunnetulle pisteelle tarkistus mahdollistaa, että koneenkuljettaja voi tehdä tarkistuksen itse. YIV (2021, 122) mukaan tarkastus tulisi tehdä mittaajan toimesta yhteistyössä koneenkuljettajan kanssa. Omasta mielestäni, jos koneen kuljettaja on tarpeeksi kyvykäs voi hän tarkastuksen tehdä itse ja tallentaa mittaustuloksen toteumapisteensä. Näin mittaaja voi dokumentoida tarkistuksen jälkikäteen eikä sido häntä olemaan läsnä tarkastus hetkellä. Koneen kuljettaja tekemällä tarkastuksen itsenäisesti voi olla riski mittaustuloksen vääristämiseen. Koneen kuljettaja voi siirtää teränsijaintia ja tallentaa pisteen silloin kun se on tarkkuusvaatimus rajojen sisäpuolella. Tämän arvioin yhdeksi syyksi minkä takia mittaaja tai työnjohdon täytyy olla läsnä tarkastuksessa. (YIV 2021, 121–122.)

Tarkistuksen voi tehdä GNSS-laitteella tai takymetrilla, mikä on työllistävämpi kuin kontrollipisteelle tarkistus. GNSS-laitteella tai takymetrilla tarkistus on varteen otettava vaihtoehto esimerkiksi työmaalla, jossa putkitetaan. Työmaa voi edetä viikossa jopa 50–100 metriä, jolloin uusia kontrollipisteitä pitäisi perustaa työmaan edetessä. Kontrollipiste tulisi olla työmaan lähetyillä, mihin koneen kuljettajat voivat helposti tehdä tarkistuksen. Putkilinja tai katusaneeraus työmaalla tallaisia paikkoja voi olla vähän mikä vaikeuttaa niiden käyttöä. Työmaan ollessa tietyllä alueella kuten talonrakennustyömaalla, kontrollipisteen perustaminen olisi ensisijaisen tärkeää niin, että pisteeseen voisi tehdä tarkistuksia mahdollisimman pitkään.

GNSS-laitteella tarkistuksen voi tehdä seuraavasti:

1. Tarkistetaan GNSS-laite kontrollipisteelle tai tarkistuspisteelle keskiarvomittauksella ja arvioidaan mittatarkkuuden riittävyys
2. Tarkistetaan tarkistuspaikalla GNSS-laitteen yhteydessä olevien satelliittien lukumäärä ja sijaintitarkkuus
3. Mitataan keskiarvomittauksella terän sijainti tai tehdään väliaikainen vertailupiste esimerkiksi työmaa-aidan jalustan päälle tai asfaltin pintaan, johon terä siirretään (kuva 17.)



Kuva 17. Työmaa-aidan jalustan päälle on mitattu ja merkattu tarkistuksen aikainen piste, johon kaivinkoneen kauha on siirretty.

4. Mitataan pistekoodi nimellä tarkistus piste
5. Mitataan kaivinkoneella huulilevy pystyssä ja vaakatasossa ja arvioidaan huulilevyn kuluneisuus
6. Tarkistetaan työmaalla verrattavan ja tarkistettavan järjestelmien sijaintien erotus
7. Arvioidaan tarkkuuden riittävyys sijainnin ja korkeuden osalta
8. Tarkkuuden ylityessä vaatimuksista arvioidaan olosuhteet, jotka voi vaikuttaa satelliitti paikannus tarkkuuteen
9. Mikäli alueella on katvealueita, siirrytään avonaisemmalle alueelle ja tehdään tarkistus uudelleen
10. Mikäli tarkkuus ei läpäise vaatimuksia tehdään kauhan kalibrointi ja tarvittaessa muutetaan koneohjausjärjestelmän sauvakorkeutta, mikäli ero on korkeudessa
11. Tarvittaessa otetaan laitevalmistajan tukeen yhteyttä mahdollisten syiden arvioinnissa

Tarkistuksen voi tehdä myös tarkistuspisteelle käyttäen Leica geosystems in iCON CC80 maastotalenninta apuna käyttäen:

1. Etsitään työmaan lähetyviltä sopiva tarkistuspisteen paikka
2. Mitataan piste GNSS laitteella keskiarvomittauksena tai takymetrillä

3. Merkitään piste maastoon ja tarvittaessa merkitään korko lukema
4. Luodaan pisteestä kontrollipiste
5. Viedään kontrollitiedosto, joko Leica ConX pilvipalveluun tai siirretään USB-muistitikulle LandXML tai geo. tiedostoformaattissa
6. Tehdään tiedonsiirto haluttuihin koneohjausjärjestelmiin ConX avulla tai siirretään kontrollitiedosto USB-tikulla
7. Valitaan koneohjausjärjestelmästä tarkistuspiste pistetiedosto aktiiviseksi
8. Valitaan haluttu piste vertailupisteeksi
9. Viedään kauha mittauspisteelle
10. Tallennetaan tarkistus toteumapisteenä
11. Tarkistetaan ylittykö poikkeamat laatuvaatimukset

Tarkistuspisteen luonti ja koneohjausjärjestelmiin siirto vaatii työtä, mutta työvaiheen jälkeen laitteen tarkistus helppoa ja laadukasta. Tarkastustuloksessa täytyy dokumentoida työkone, käytetty varuste (kauha, kallistin, rototiltti), tarkastusajankohta, koordinaattien x-, y- ja z-poikkeamat, tarkastusmittausmenetelmät, tarkkuustiedot, tarkastuksen tekijä ja vapaamuotoinen kuvaus toimenpiteestä. Liitteessä 2. on dokumenttipohja työkoneen mittatarkkuuden tarkastukseen.

YIV (2021, 121) mukaan tuotantoa voidaan jatkaa vasta kun vaadittu tarkkuus on saavutettu. Satelliitti paikannuksessa on virhelähteitä mille ei teknisesti voida mitään kuten katvealueet ja ionosfäärin aiheuttama signaalihiive. Mielestäni tuotanto ei saa olla mittalaitteiden tarkkuuden varassa. Mittalaitteiden toimimattomuuden varalle on kehiteltävä muita mittausapoja tuotannon jatkamiseksi.

5.3.3 RTK-GNSS-laitteen tarkistus

YIV (2021, 121) ohjeistaa GNSS laitteella vähintään kerran viikossa tehtävä tarkistusmittaus tukiaseman yhteydessä ja dokumentoida tarkistus. Tarkistuspiste olisi hyvä olla liikkumattomassa alustassa lähellä tukiasemaa. Piste tulisi sijaita mahdollisimman avonaisella kohdalla, jolloin virhelähteiden määrä pystytään minimoimaan. Näin pystytään tukiaseman toimivuutta tarkastelemaan laadukkaasti. Liitteessä 3. on RTK-GNSS-laitteen tarkistusdokumentti pohja, johon merkitään tukiaseman lähettyvillä tehtävä tarkistusmittauksen tulos.



Kuva 18. RTK-GNSS-laitteen tarkistus Jyväskylän kaupungin kiintopisteelle

Työmaalla GNSS-laitteella tai takymetrillä ennen mittauksia on hyvä tapa tehdä tarkistus mittaus kontrollipisteelle, tarkistuspisteelle tai kiintopisteelle (kuva 18). Tarkistuksia voi tulla useita yhden päivän aikana. Tarkistus vie ajallisesti vain muutaman minuutin, mikä on pieni vaiva mittausvirheen ehkäisemiseksi. Jokaisesta tarkistuksesta ei tarvitse laatia dokumenttia, mutta tarkistustulokset jäävät laitteen muistiin, joista voidaan tarvittaessa osoittaa mittaustarkkuutta.

5.4 Tarkemittaus

Tarke- ja toteumamittauksella mitataan rakenteita, järjestelmiä ja taitorakenteita. Infrarakentamisessa suurin osa rakennetusta rakenteista ja järjestelmistä jää maan alle piiloon. Näiden sijainti- ja korkotietoa on mahdoton todeta ilman tarke- ja toteumatietoa. Mittaus tuloksien pohjalta osoitetaan laatukelpoisuus toteutuneen erolla suunnitelmiin. Toteumamittaus eroaa tarkemittauksesta, että se tehdään työkoneella ja tarkemittaus muulla erillisellä mittalaitteella kuten takymetri tai GNSS-laitteella. (YIV 2021, 11). YIV (2021, 122–124) mukaan toteumamittaus tulisi tehdä tie- ja katurakentamisessa 20 metrin välein poikkileikkauksen taitekohdista, ja muussa aluerakentamisessa 10 metrin ruutuun tai muuten sovitulla tavalla. Toteumamittauksen lisäksi tehdään tarkemittauksia isommalla mittaussvälillä ja tällä tarkistetaan toteumamittauksien oikeellisuus.

Tarkemittauksen yhteydessä on hyvä verrata mitattua rakennetta suunnitelmiin. Tällöin pystyy, jokaisella tarkemittauksella seuraamaan rakennettua tarkkuutta. Paineellisissa vesihuolto järjestelmissä kartoitetaan kaikki laitteet ja suora osuus vähintään 20 metrin välein. Viettävisä järjestelmissä kaivot ja kaivoihin tulevat putken päät. (Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 66, Helsinki 2021, 43–44). Olosuhteista riippuen vesihuolto linjaa rakennetaan 0–60 metriä päivässä, joten tarkemittauksia tehdään lähes päivittäin, mikä on työnlaadun seuraamisen kannalta hyvä.

5.5 Tarkkuusvaatimukset

Tarkkuusvaatimukset pohjautuvat infraRYL asiakirjaan, johon on eri rakennneosille ja järjestelmille määritelty mittavaatimus. YIV (2021, 116–117) on laatinut infraRYL mittavaatimuksista taulukon, jossa on rata-, katu- ja tierakenteille listattu mittavaatimukset ja työkonejärjestelmien vaadittavat

tarkkuudet (kuva 19). Listassa ei ole järjestelmille määritetty mittavaatimuksia. Liitteessä 5. löytyy listaus tekemästani listauksesta, jossa on vesihuoltojärjestelmille järjestelmille koottu mittavaatimukset ja omat arvioidut mittalaitteilta vaadittavat tarkkuudet.

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

Kuva 19. Kuvaleike Yleiset inframallivaatimukset mittavaatimukset ja mittatarkkuus (YIV, 2021)

6 POHDINTA

Vaikka laadunvalvonta on tärkeää, se kannattaa toteuttaa kustannustehokkaasti. Liiallinen valvonta voi työllistää tarpeettomasti. Toteuttaen mittalaitteiden tarkistusta YIV 2021 mukaan dokumentteja täytyy viikoittain laatia useita. Tilanteessa, kun tietomallipohjaisten mittalaitteiden käyttöä ei vaadita ei tarkastus dokumentteja tarkasta kukaan. Tilanne ei poista sitä, etteikö tarkistuksia pitäisi tehdä suositusten mukaan, mutta voidaan miettiä jokaisesta tarkistuksesta laaditun dokumentin tarpeellisuutta. Oikealla tavalla tehty tarkistus tallentuu mittalaitteeseen, josta voidaan jälkikäteen todeta tarkistuksen mittaustulos.

Arvioin, että tulevaisuudessa tietomallipohjaista rakentamista tullaan vaatimaan myös pienemmissä hankkeissa, jolloin todennäköisesti rakennetaan Yleiset inframallivaatimusten (YIV) mukaan. Tämän takia pidän tärkeänä tässä opinnäytetyössä soveltaa mittaamisen laadunvarmistusta YIV mukaan vaikkei sen vaatimuksia Maansiirto Viialan rakennushankkeissa vaadita.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia mitä infrarakentamisessa mittaamisen laadunvarmistus on ja tarkoituksena oli laatia sen edellyttämiä tarkastusdokumentti pohjia. Aihetta tutkiessa todettiin, että mittaamisen laadunvarmistus ei ole virallinen nimitys. Sen voisi ajatella lukeutuvan osaksi YIV:ssä (2021, 118) mainittua mallipohjaisen rakentamisen ja laadunvalvonnan prosessia. Kokonaisuudessa tämän prosessin tutkiminen olisi ollut liian laaja aihe. Opinnäytetyössä olisi voinut tutkia pelkästään yhtä prosessin osaa. Arvioitiin että, mittaamisen laadunvarmistus voisi koostua mittaamiseen perehdyttämisestä, mittalaitteiden tarkistuksesta ja tarkemittaamisesta. Mittalaitteiden tarkistusta tutkittiin eniten, sillä se oli potentiaalisin kehittämisen kohde Maansiirto Viiala Oy:ssä. Opinnäytetyössä onnistuttiin luomaan dokumentti pohjia tukiaseman-, GNSS-laitteen -, työkoneiden tarkistukseen ja tarkistuspistekortti.

Tutkimuksessa käytiin läpi hyvin yleisellä tasolla tukiaseman ja työkoneiden tarkistuksien työvaiheet. Työkoneiden tarkistus tapaa voisi tutkia yksityiskohtaisemmin, miten sen voisi toteuttaa tehokkaasti. Mittaamisen laadunvarmistuksessa työkoneiden tarkistukset ja dokumentoinnit ovat eniten työllistäviä toimenpiteitä, mutta tärkeimpiä valvottavia mittaamisen osalta.

LÄHTEET

Destia. Tiedote. Verkkojulkaisu. Tiedote Nelostien Kirri-Tikkakoski-moottoritie käyttöön 8 kuukautta etuajassa. Päivitetty 16.12.2021. <https://www.destia.fi/tiedote/nelostien-kirri-tikkakoski-moottoritie-kayttoon-8-kuukautta-etuajassa/>. Viitattu 14.1.2023.

Laurila, Pasi 2020. Maan mittauksia: mittausten laskenta. E-kirja. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

Laurila, Pasi 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

Maanmittauslaitos julkaisuaika tuntematon. Eurooppalainen paikannusjärjestelmä Galileo. Verkkojulkaisu. Maanmittauslaitos tietoa maasta. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/paikannusjarjestelma-galileo>. Viitattu 14.1.2023

InfraRYL 2022 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Tietoa infraRYListä 2022. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS.

Building SMART Finland, YIV 2021, Yleiset inframallivaatimukset 2021. Pdf-tiedosto. Julkaistu 4.10.2021. <https://drive.buildingsmart.fi/s/AAELrj83NbrHae2>. Viitattu 16.1.2023.

Paikkaoppi julkaisuaika tuntematon. Opi koordinaatit. Verkkojulkaisu. paikkaoppi.fi paikkatiedon avoin oppimisympäristö. <https://www.paikkaoppi.fi/fi/opi-koordinaatit/>. Viitattu 3.2.2023.

Maps ohjeet 2023. Koordinaattien katsominen tai paikan hakeminen leveys- ja pituusasteella. Verkkojulkaisu. <https://support.google.com/maps/answer/18539?hl=fi&co=GENIE.Platform%3DDesktop>. Viitattu 3.2.2023.

Heilä, Sampsa 2023. Infrarakentamisessa digitalisaatio tehosta työtä ja parantaa laatua. RIA 1/2023.

Leica geosystems. Leica iCON gps 70-rakennusalan vastaanotin. Verkkojulkaisu. <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/construction-tps-and-gnss/smart-antennas/leica-icon-gps-70-series>. Viitattu 11.3.2023.

Maansiirto Viiala julkaisuaika tuntematon. Referenssi. Verkkojulkaisu. <https://www.maansiirtovii-ala.fi/referenssit/>. Viitattu 13.3.2023.

ASQ julkaisu aikatuntematon. Laadunvarmistus ja laadunvalvonta. verkkojulkaisu. <https://asq.org/quality-resources/quality-assurance-vs-control>. Viitattu 16.3.2023.

Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 66, Helsinki 2021. Vesihuoltoverkoston mittaus ja dokumentointi. Pdf-tiedosto. Julkaistu https://www.vvy.fi/site/assets/files/5659/vesihuoltoverkosto_004_19022021.pdf. Viitattu 18.3.2023.

Toivonen Tuomas, Ylikoski Juho 2013. Verkko-RTK-mittaus. Opinnäytetyö. Maanmittaustekniikan koulutusohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Viitattu 24.3.2023.

Ilmatieteenlaitos julkaisuaika tuntematon, ionosfääri. Verkkojulkaisu. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ionosfaari>. Viitattu 24.3.2023.

Hexagon 2023. HxGN SmartNet. Verkkojulkaisu. <https://hxgnsmartnet.com/fi-fi/services/network-rtk>. Viitattu 25.3.2023.

Trimble 2017-2018. GNSS-suunnitteluverkossa. Verkkojulkaisu. <https://www.gnssplanning.com/#/about>. Viitattu 25.3.2023.

Ilmatieteenlaitos 2022. Häiriötä satelliittipaikannuksessa? Yleisimmät syyt GNSS-häiriöihin. Verkkojulkaisu. Päivitetty 9.3.2023. <https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/hairioita-satelliittipaikannuksessa-yleisimmat-syyt-gnss-hairioihin>. Viitattu 25.3.2023.

Näin Auringon aktiivisuusminimi vaikuttaa elämäämme Maassa 2020. Tekniikanmaailma 19.5.2020. <https://tekniikanmaailma.fi/aurinko-on-niin-hiljainen-etta-tallaista-on-tapahtunut-vain-kerran-avaruusaikana-nain-auringon-aktiivisuusminimi-vaikuttaa-elamaamme-maassa/>. Viitattu 1.4.2023.

Riikonen, Marko 2020. Uusi Auringon aktiivisuusjakso julistettiin alkaneeksi. Tähdet ja Avaruus -lehti, pohjoismaiden suurin tähtitiedelehti. <https://www.avaruus.fi/uutiset/aurinko-planeetat-ja-kuut/suojattu-aurinkojakso-25-on-julistettu-virallisesti-alkaneeksi.html>. Viitattu 1.4.2023.

Novatron earthmoving automation. Mallipohjaisen rakennustyömaan mittausohje 2019. Pdf. tiedosto. Julkaistu 2019/06. <https://novatron.fi/wp-content/uploads/2019/06/Mallipohjaisen-rakennusty%C3%B6maan-mittausohje-v1.1.pdf>. Viitattu 8.4.2023.