

**KONEOHJAUS JA LASERKEILAUSSAINEISTON  
TUOTTAMINEN MALLINTAMISEEN**

Toivanen Tuomo

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Tuomo Toivanen	Vuosi	2018
<b>Ohjaaja</b>	Jaakko Lampinen		
<b>Toimeksiantaja</b>	Lapin ammattikorkeakoulu		
<b>Työn nimi</b>	Koneohjaus ja laserkeilausaineiston tuottaminen mallintamiseen		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	45		

---

Työn tavoitteena oli perehtyä koneohjauksen perusteisiin, paikannusmenetelmiin sekä ohjeistuksiin ja vaatimuksiin. Tavoitteena oli myös tarkastella, millä menetelmillä tuotettua laserkeilausaineistoa voidaan hyödyntää koneohjauksessa käytettävän toteutusmallin lähtötiedoissa.

Opinnäytetyö oli menetelmältään kvalitatiivinen tutkimus eli niin sanottu laadullinen tutkimus. Työssä käytettiin ylläpitäjien, alan kirjallisuutta, laitevalmistajien sekä erinäisten organisaatioiden julkaisuja. Työn tekemisessä hyödynnettiin muun muassa Liikenneviraston tie- ja ratahakkeiden maastotiedot-mittausohjetta ja tie- ja ratahakkeiden inframalliohjetta sekä BuildingSmart Finlandin tarjoamia YIV2015-, Inframodel-, InfraRYL-ohjeistusta sekä InfraBIM-nimikkeistöä ja sanastoa.

Lopputulokseksi saatiin kattava kokoelma koneohjaukseen liittyvistä osa-alueista, jotka johdattelevat ja antavat perustan lisätiedon hankinnalle.

Avainsanat

GPS, InfraBIM, Inframodel, InfraRYL, Koneohjaus, YIV2015

Technology, Communication and Transport  
Degree Programme of Land Surveying  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Tuomo Toivanen	Year	2018
<b>Supervisor</b>	Jaakko Lampinen		
<b>Commissioned by</b>	Lapland University of Applied Sciences		
<b>Subject of thesis</b>	Machine control and laser scanning data production for modelling		
<b>Number of pages</b>	45		

---

The objective of the thesis was to study the basis of machine control, the positioning methods, the instructions and the requirements. The aim was also to examine which methods are most suitable for producing laser scanning data to be utilized in the source information of the realisation model, which is used in the machine control.

A qualitative research method was chosen for the thesis. Literature about the subject, publications by the equipment manufacturers and various organizations were used as the source material. The measurement instructions and guidelines published by the Finnish Transport Agency were used in the thesis. In addition, the Common InfraBIM Requirements, YIV2015, the Inframodel and InfraRYL Guidelines and InfraBIM nomenclature and vocabulary provided by BuildingSmart Finland were used.

The final result was a comprehensive collection of machine control sectors that introduce and provide the basis for additional information.

Key words                      GPS, InfraBIM, Inframodel, InfraRYL, Machine control, YIV2015

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄ	7
2.1	Koneohjaus	7
2.2	Satelliittipaikannus	10
2.2.1	GLONASS	11
2.2.2	Galileo	12
2.2.3	Beidou	13
2.2.4	QZSS	14
2.2.5	IRNSS	15
2.3	Takymetriapaikannus	16
3	KONEOHJAUKSEN TARKKUUS JA LAADUNVARMISTUS	18
3.1	Tarkkuus	18
3.2	Laadunvarmistus	19
4	TUKIASEMAVERKOT JA MENETELMÄT	21
4.1	Tukiasemaverkko	21
4.2	Yleisimmät menetelmät	22
4.3	SmartNet	23
4.4	TrimNet	25
4.5	FinnRef	26
5	OHJEISTUKSET JA VAATIMUKSET	28
5.1	InfraBIM	28
5.2	Yleiset inframallivaatimukset	29
5.2.1	Mallinnettavat kohteet	30
5.2.2	Mallinnettavat taitteet	31
5.2.3	Tarkkuusvaatimukset	32
5.2.4	Taiteviiva-aineiston geometrinen tarkkuus	32
5.2.5	Säännöllinen kolmioverkko	33
5.2.6	Mallitiedostojen nimeämisen ja kansiorakenteen vaatimukset	33
5.2.7	Tiedonsiirtoformaatit	34
5.3	InfraModel	34
5.4	InfraRYL	35

---

6 LASERKEILAUSAINEISTOT .....	36
6.1 Maanmittauslaitos .....	36
6.2 Maanpintaluokiteltu pistepilvi .....	37
6.3 Laserkeilausaineiston tuottaminen koneohjausmallintamiseen.....	38
7 POHDINTA.....	42
LÄHTEET .....	43

## 1 JOHDANTO

Koneohjaus on kasvanut viimevuosina räjähdysmäisesti, sillä jo pienimmillään infratyömailla vaatimuksena on koneohjausjärjestelmän käyttö, joten koneohjausta ja siihen liittyviä säädäntöjä ei voi väheksyä. Koneohjaus alkaa olemaan arkipäivää jokaisella infratyömaalla. Järjestelmien käyttöä vaaditaan jatkuvasti yhä enemmän ja lähivuosina maanrakennusyriityksien on viimeistään pakko hankkia koneohjausjärjestelmä pysyäkseen kilpailukykyisenä. Lisäksi vaikuttaa, ettei koneohjauksen osaajia juurikaan ole kuin muutamia.

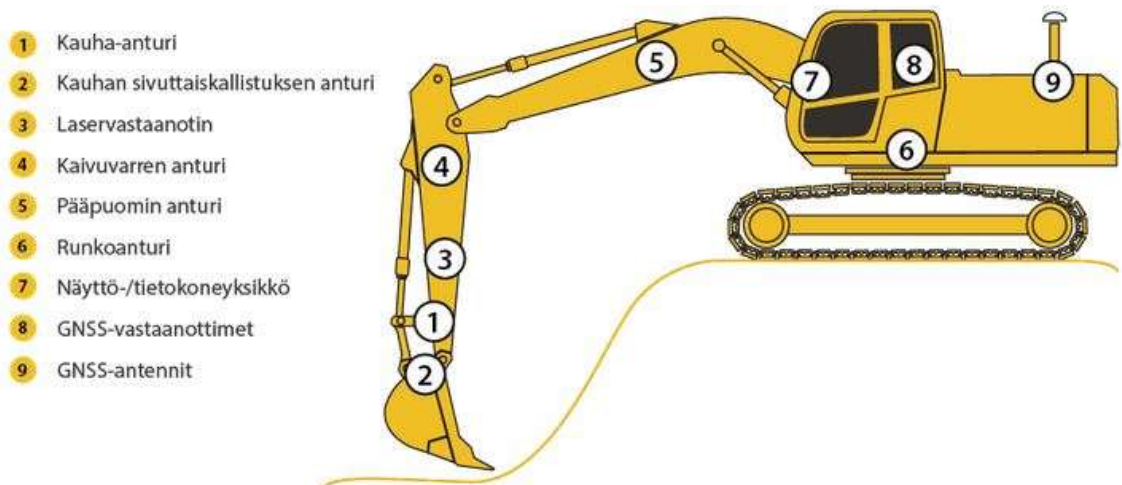
Valitsin kyseisen aiheen oman kiinnostuksen ja osaajien kasvavan tarpeellisuuden vuoksi. Aiheessa paneudutaan erityisesti infrarakentamisessa käytettäviin ohjeistuksiin ja vaatimuksiin, joita koneohjatut työmaat tuovat tullessaan.

Opinnäytetyössä selvitetään koneohjauksen perustoiminta. Lisäksi työssä perehdytään takymetri- ja satelliittipaikannukseen sekä tukiasemaverkkoihin. Ohjeistuksien ja vaatimuksien osalta pyrittiin selvittämään, mitä kaikkea tulee ottaa huomioon niin mallintamisen kuin koneohjausjärjestelmien osalta. Lisäksi selvitetään maanmittauslaitoksen tuottaman LAZ-aineistojen hyödynnettävyyttä ja menetelmiä, joilla voidaan tuottaa laserkeilausaineistoa koneohjausmallin tuottamiseen.

## 2 KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄ

### 2.1 Koneohjaus

Koneohjauksella tarkoitetaan infrarakentamisessa 3D-ohjattua työkoneautomaatiota, jossa työkoneiden ja terien sijainti paikallistetaan koordinaatistoon erinäisillä anturijärjestelmillä, paikannuslaitteilla ja tietokoneilla (Kuvio 1.). Suunnitelmatieto työkoneelle tuodaan digitaalisessa muodossa, jolloin työkoneenkuljettaja näkee kolmiulotteisen toteutusmallin sekä reaaliaikaisen sijainnin koneeseen asennetulta näytöltä, jolloin maastoon merkinnän tarpeellisuus vähenee huomattavasti. Työkoneautomaation avulla rakennussuunnitelmat voidaan toteuttaa nopeammin ja tarkemmin maastossa. (Snellman 2015, 3.)



Kuvio 1. Koneohjausjärjestelmän komponentit (Novatron 2018)

Koneohjausjärjestelmät voidaan jakaa viiteen eri automaatioasteen päätasoon toimintojen perusteella. Päätasot voidaan jaotella seuraavasti:

1. Kuljettajaa opastava. Helpottaa kuljettajan työtä opastamalla kuljettajaa esimerkiksi merkkivalojen tai graafisen näytön avulla. Työkoneen kuljettajan täytyy suorittaa toimilaitteiden ohjaus manuaalisesti.
2. Koordinoitu ohjaus. Koordinoitussa ohjauksessa työkoneen terää voidaan hallinnoida manuaalisesti karteesisessä koordinaatistossa eli XY-koordinaatistossa. Erotuksena normaaliin manuaaliseen ohjaukseen kuljettaja ei ohjaa yksittäisiä koneen toimilaitteita vaan suoraan koneen terän liikkeitä.

Tämänkaltainen menetelmä soveltuu esimerkiksi tiehöylän terän hallintaan.

3. Osittain automatisoitu. Järjestelmässä osa yksittäisistä työkoneen liikkeistä on automatisoitu, mutta kuljettajan täytyy huolehtia osasta työliikkeistä manuaalisesti. Esimerkkinä toimii hyvin tiehöylän kallistusautomaattikka, jossa järjestelmä pitää terän kuljettajan asettamassa arvossa.
4. Täysin automatisoitu. Järjestelmässä kuljettajan päätehtäviä ovat työkoneen ajaminen, automaatiojärjestelmän toiminnan valvominen ja manuaalinen ohjaus erikoistilanteissa. Tiehöylän 3D-ohjaus toimii hyvänä esimerkkinä, jossa teränhallinta suoritetaan automaattisesti reaaliaikaisen paikannuksen ja kolmiulotteisen suunnitelman perusteella.
5. Autonominen järjestelmä. Autonomisella järjestelmällä tarkoitetaan ilman kuljettajaa toimivaa järjestelmää, joka aistii ympäristöään ja osaa suorittaa sille annetut tehtävät itsenäisesti. Kyseisenlaisia järjestelmiä ei toistaiseksi ole markkinoilla, vaikka järjestelmiä on kokeiltu tutkimusprojekteissa. Toistaiseksi ihmisen korvaaminen automaatiojärjestelmällä ei ole teknisesti ja taloudellisesti järkevää. (Kilpeläinen ym. 2004.)

Koneohjausjärjestelmien tärkein soveltuvuuskohte on tierakenteen eri kerrosmaateriaalien levittäminen sekä muotoilu. Tämän kaltaisissa rakenteissa on tärkeää, että rakennekerrokset ovat korkeustason, kallistuksien ja rakennekerroksien paksuuden osalta suunnitelmien mukaiset. (Kilpeläinen ym. 2004.)

Koneohjausjärjestelmien paikannus voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla joko satelliittitekniikalla tai robottitakymetrillä. Työkoneen paikantamista koordinaatioon kutsutaan ulkoiseksi paikantamiseksi, joka toteutetaan nykypäivänä useimmiten satelliittitekniikan avulla. Satelliittipaikannus on hyvin yleisesti käytetty paikannusmenetelmä maanrakennuskoneissa, koska paikannuksen tarkkuus riittää usein täyttämään maanrakennustöiden vaatimukset. Satelliittipaikannuksessa paikannussignaalin kulkumatka on kuitenkin pitkä, joten se on melko altis erinäisille häiriöille. Paikannussignaalin vastaanottoa häiritsevät muun muassa puuston tuomat katveet, korkeat rakennukset sekä syvät kallioleikkaukset. Paikannussignaalin häiriöiden ehkäisemiseksi työmailla käytetään usein erillistä tukiasemaa

(Kuvio 2.), jonka korjaussignaalin avulla työkoneen sijainti voidaan määrittää tarkasti. Korjaussignaalia voidaan lähettää radion, internetin tai GSM-verkon (Global System for Mobile Communications) kautta. Tukiasema voidaan perustaa työmaalle esimerkiksi erilliseen konttiin tai työmaakopin katolle. Tukiasema tulisi sijoittaa työmaalla siten, että sillä on mahdollisimman hyvä ja esteetön näkymä etelän puoleiselle satelliittitaivaalle, koska yleensä paikannussatelliitit sijaitsevat eteläisellä taivaalla. (Kivinen 2016, 35–37.)



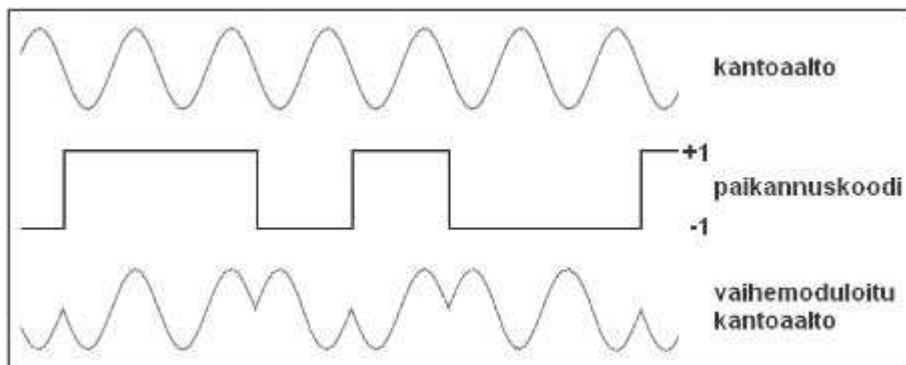
Kuvio 2. Tukiasemakontti työmaan läheisyydessä (Kivinen 2016, 36)

Työkoneen terän esimerkiksi kaivinkoneen kauhan huulilevyn sijainti voidaan paikantaa ulkoisenpaikannuksen ja sisäisen paikannuksen avulla. Sisäisellä paikannuksella tarkoitetaan terän sijaintia työkoneen sisäisessä koordinaatistossa. Sisäinen paikannusjärjestelmä sisältää erinäisiä koneeseen asennettuja kulma- ja kaltevuusantureita sekä laskentayksikön. Terän sijainti voidaan määrittää XYZ-avaruudessa, kun terän sijainti koneen sisäisessä sekä koneen sijainti ulkoisessa koordinaatistossa tiedetään. Terän tarkan sijainnin määrittämisen jälkeen voidaan terän paikka esittää reaaliaikaisena koneohjausjärjestelmän koneohjausmallissa. Kaivinkoneissa käytetään usein monia erilaisia kauhoja, jonka seurauksena jokainen kauha pitää kalibroida erikseen koneohjausjärjestelmään tarkan

sijaintitiedon määrittämiseksi. Kalibrointi on syytä tehdä uudelleen aika ajoin jokaiselle kauhalle mittaustarkkuuden ylläpitämiseksi, koska kauhan piikit ja huuli-levy kuluvat työskentelyssä. Kauhan vaihdon yhteydessä koneohjausjärjestelmästä tulee valikosta valita oikea kauhaprofiili käytettävälle kauhalle. Väärän kauhaprofiilin tai kalibroimattoman kauhan käyttö vaikuttaa mittaustuloksiin, jonka seurauksena valmis rakenne ei täytä sille asetettuja laatuvaatimuksia. (Kivinen 2016, 3537.)

## 2.2 Satelliittipaikannus

NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite And Ranging Global Positioning System) lyhyemmältä ja paremmin tunnetulta nimeltään GPS (Global Positioning System). GPS on maailman laajuisesti toimiva satelliitteihin perustuva paikannusjärjestelmä. Perinteisten GPS-satelliittien rinnalle on tullut Galileo-, GLONASS-, Bei-Dou-, QZSS- ja IRNSS-satelliitit. Lisäksi on ranskalainen DORIS-satelliitti, jota ei ole tarkoitettu paikanmääritykseen, vaan se on tarkoitettu satelliittien radan määrittämiseen. QZSS- ja IRNSS-satelliitit eivät ole globaaleja, vaan perustuvat sopiviin paikkoihin sijoitettuihin geostationaarisiin ja geosynkronisiin satelliitteihin, joilla mahdollistetaan paikannus vain kyseisellä alueella. (Poutanen 2016, 11.)



Kuvio 3. Kanta-aallon ja paikannuskoodin signaalin periaate (Laurila 2012, 287)

Satelliittipaikannus perustuu satelliittien lähettämiin signaaleihin, joiden avulla satelliittien sijainti määritellään. Kun satelliittien sijainnit ovat tiedossa, voidaan havaitsijan sijainti laskea. Havaitsijan ja satelliitin välisen etäisyyden mittaus perustuu kahteen erilaiseen menetelmään, koodiin ja kanta-aaltoon (Kuvio 3.). Koodi-

paikannukseen perustuvaa paikannusta käyttävät lähinnä kaikki halvimmat navigointilaitteet. Pelkällä koodipaikannuksella päästään muutaman metrin paikannustarkkuuteen, joka riittää vallan mainiosti paikan määrittämiseksi kartalle tai halutun kohteen löytämiseksi. Koodin avulla signaalista voidaan laskea signaalin kuluaika ja sen mukaan etäisyys satelliittiin. Koodipaikannusta käyttävät lähinnä yksitaajuuslaitteet, jotka vastaanottavat L1-taajuutta, joka sisältää C/A-koodin (Coarse/Acquisition). Kaksitaajuus vastaanottimet havaitsevat L1- ja L2-kantoaallon sekä niiden sisältämät C/A- ja P-koodin (Precise), tosin P-koodi on salattu ja tarkoitettu lähinnä sotilaskäyttöä varten. Kantaaltoon perustuvassa paikannuksessa lasketaan vastaanottimen ja satelliitin väliin mahtuvien kantaallon aallonpituuksien lukumäärä, jonka mukaan saadaan laskettua satelliitin etäisyys. Kantaaltoon perustuvalla paikannuksella päästään huomattavasti koodipaikannusta parempaan tarkkuuteen. Kahden vastaanottimen välinen vektori voidaan suhteellisessa mittauksessa laskea jopa millimetritarkkuudella. (Poutanen 2016, 12–17.)

### 2.2.1 GLONASS

GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) on Neuvostoliiton aikana vuonna 1982 aloitettu satelliittinavigointijärjestelmä. Venäjän talousvaikeudet vuoden 1990 loppupuolella vaikuttivat lähetettyjen satelliittien määrään. Vuosituhannen vaihteessa GLONASS-satelliitteja oli alle 10. Kuitenkin 2000-luvun alkupuolella satelliittijärjestelmän uudistus käynnistettiin ja päämääränä oli itsenäisesti toimiva paikannusjärjestelmä. Satelliittijärjestelmään kuuluu nykyisin 24 satelliittia kolmella ratatasolla, joiden inkliinaatio on  $64,8^\circ$ . Satelliitit kiertävät maata 19 100 kilometrin korkeudella merenpinnasta mitattuna ja niiden kiertoaika on  $11^h15.7^m$ . Kiertoajasta johtuen sama satelliitti ylittää saman kohdan joka 17 kierroksellaan. Samaa satelliittia ei kuitenkaan tarvitse odotella, koska satelliitteja on samalla tasolla 8 kappaletta ja ne ovat  $45^\circ$  päässä toisistaan. Tähtivuorokaudessa ( $23^h56^m$ ) satelliitti on ehtinyt kiertää  $45^\circ$  yli 2 kierrosta, koska satelliitit ovat  $45^\circ$  päässä toisistaan on seuraava satelliitti samalla kohdalla missä edellinen satelliitti oli vuorokautta aikaisemmin. (Kuvio 4.). (Poutanen 2016, 22.)

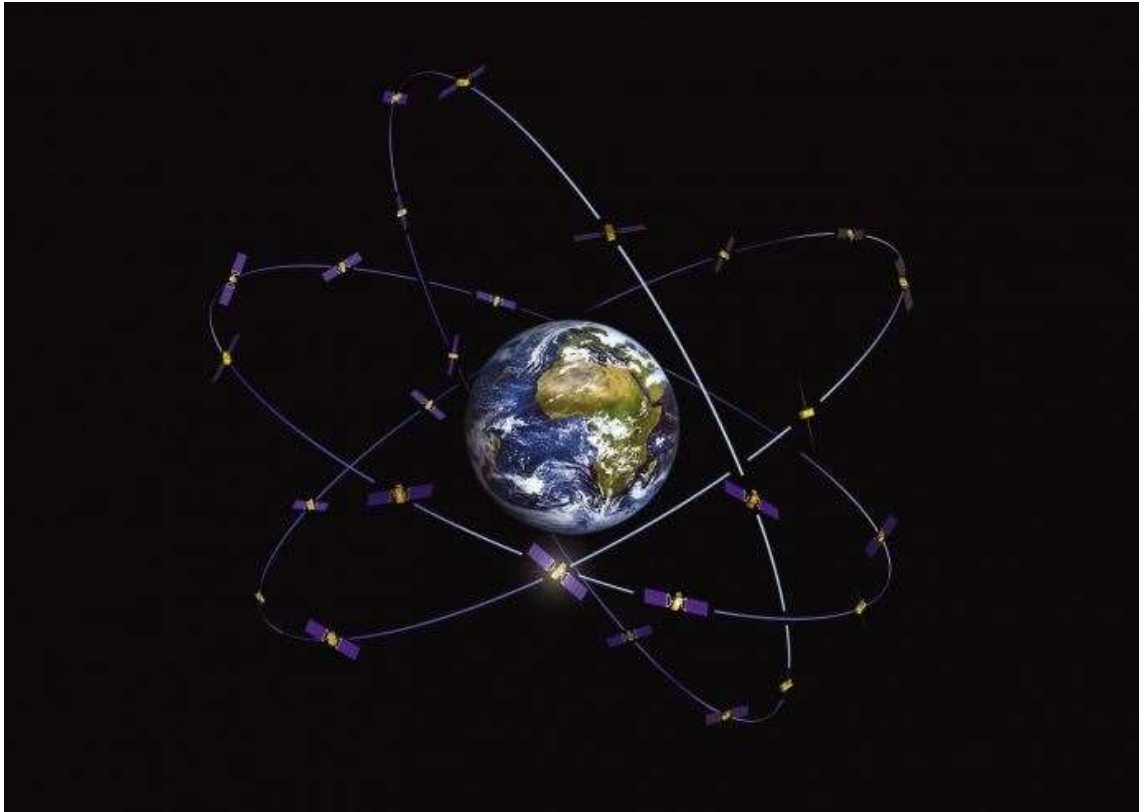


Kuvio 4. GLONASS-satelliittien kiertoradat (Navipedia 2011)

### 2.2.2 Galileo

Galileo on eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä, joka on suunniteltu jo alunperin siviilipaikannusjärjestelmäksi. Suunnittelussa on otettu muun muassa huomioon ilmailun vaatimukset luotettavuudesta ja katkottomuudesta. Suurin osa Galileon signaaleista on vapaasti käytettävissä, mutta se sisältää myös viranomaisille tarkoitettuja ominaisuuksia. Ensimmäinen Galileo-järjestelmän testi-satelliitti (Giove-A) laukaistiin vuonna 2005 ja toinen (Giove-B) vuonna 2007. Kaksi ensimmäistä tuotantosatelliittia laukaistiin vuonna 2011 ja vuoteen 2020 mennessä Galileo-järjestelmän arvioidaan olevan valmis ja kattavan 30 satelliittia. Satelliittijärjestelmässä olisi tuolloin 27 varsinaista ja 3 varasatelliittia kolmella ratatasolla, joille kullekin tulisi 9 varsinaista ja 1 varasatelliitti. Satelliitit kiertävät 23 600 kilometrin korkeudella ja radan inkliinaatio on  $56^\circ$ . Kiertoaika on  $14^h4^m$  kiertoradan korkeudesta johtuen. Tähtivuorokaudessa ( $23^h56^m$ ) Galileo-satelliitti kiertää  $1 \frac{2}{3}$  kierrosta maan ympäri, mutta satelliitit on sijoitettu  $40^\circ$  välein, jolloin

konstellaatio näyttää samalta kuin vuorokautta aiemmin, koska ratatasolla oleva joka kuudes satelliitti on samalla kohdalla rataa (Kuvio 5.). Mikäli Galileo- ja Beidou-järjestelmät täydentyvät suunnitelmien mukaisesti, pitäisi paikannussatelliitteja olla 2020 vuoteen mennessä yli 100 kappaletta. Tämän kaltainen satelliittien määrä on merkittävä etenkin RTK-mittauksissa. (Poutanen 2016, 25.)

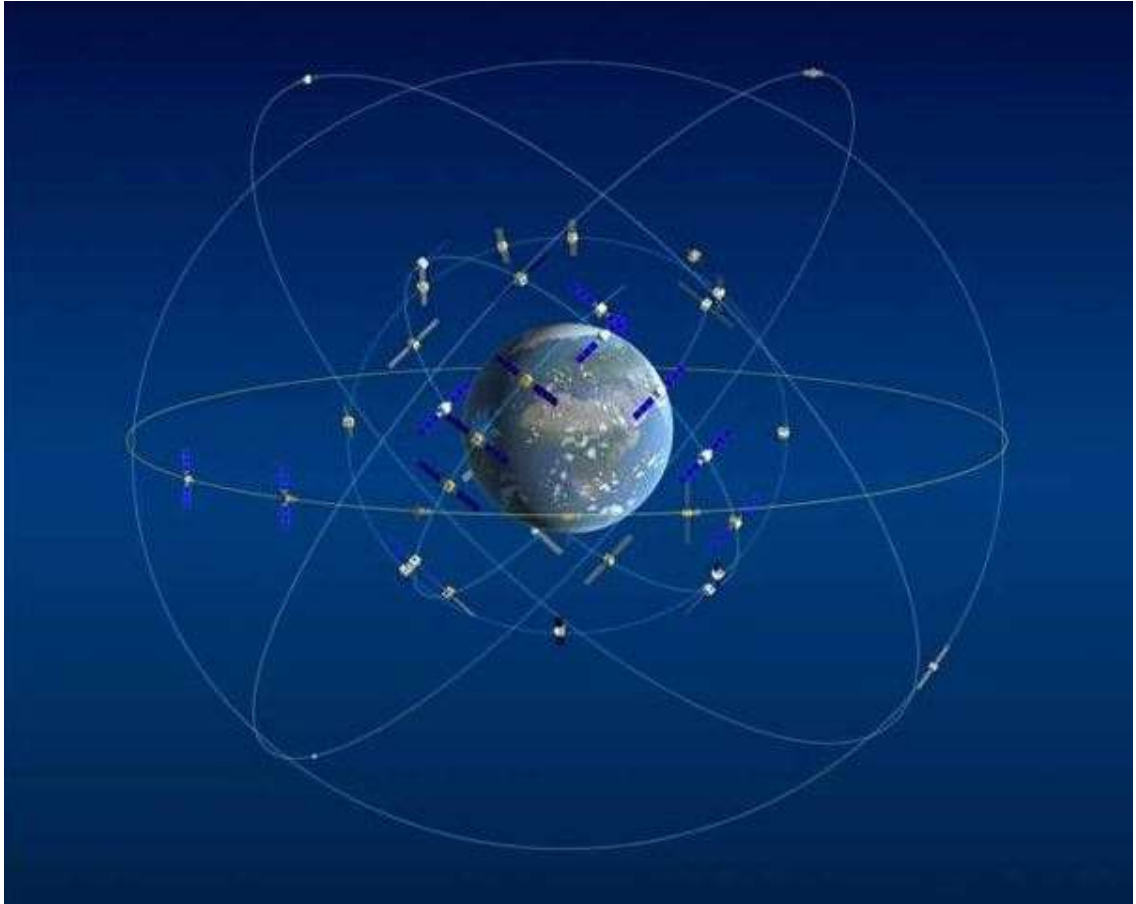


Kuvio 5. Galileo-satelliittien kiertoradat (Navipedia 2014a)

### 2.2.3 Beidou

BeiDou Navigation Satellite System on Kiinan kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä, jonka rakentaminen on aloitettu vuonna 2000. Tuolloin BeiDou-1-järjestelmään kuului 3 satelliittia ja olivat käytettävissä vain Kiinassa ja lähialueilla. Nykyisen BeiDou-2-järjestelmän ensimmäinen satelliitti lähetettiin vuonna 2007 ja järjestelmän ensimmäinen geostationaarinen satelliitti vuonna 2010. Vuoteen 2020 mennessä järjestelmän pitäisi kattaa yhteensä 35 satelliittia. BeiDou-järjestelmän 27 satelliittia kiertävät maata 21 528 kilometrin korkeudella ja joiden inklinaatio on  $55^\circ$  päiväntasaajaan nähden. Järjestelmän 5 geostationaarista satelliittia kiertävät päiväntasaajan yläpuolella 35 786 kilometrinkorkeudessa ja 3

geosynkronista satelliittia, joiden korkeus on sama, mutta inkliinaatio on  $55^\circ$  päiväntasaajaan nähden. Geostationaaristen ja geosynkronisten satelliittien tarkoitus on parantaa järjestelmän tarkkuutta varsinkin Kaukoidässä, jossa satelliitit näkyvät parhaiten (Kuvio 6.). (Poutanen 2016, 28.)



Kuvio 6. BeiDou-satelliittien kiertoradat (Navipedia 2014b)

#### 2.2.4 QZSS

QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) on Japanin kehittämä paikannussatelliittijärjestelmä, jonka ensimmäinen satelliitti on lähetetty vuonna 2010. Satelliittijärjestelmä ei ole itsenäinen, vaan on suunniteltu GPS:n alueelliseksi lisäykseksi Japanissa ja sen lähialueilla. Järjestelmä käsittää kolme elliptisellä radalla olevaa geosynkronista satelliittia, jotka on sijoitettu kiertämään samalle radalle  $120^\circ$  välein. Satelliittien rata ei ole ekvaattorin tasossa, vaan on  $43^\circ$  vinossa (Poutanen 2016, 29–30.) Satelliittien kiertokorkeus vaihtelee 32 000–40 000 kilometrin välillä (Navipedia 2016a). QZSS-satelliittien kiertorata ei ole normaali pyöreän muotoinen vaan muodostaa niin sanotun kahdeksikon (analemma) (Kuvio 7.). Radan

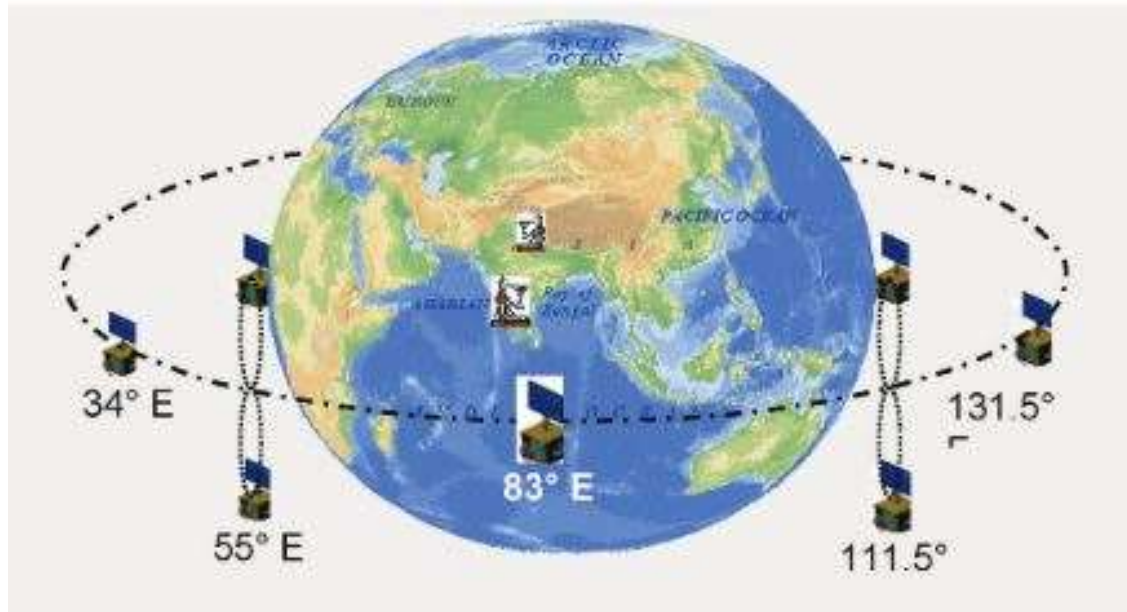
profiilista johtuen yksi satelliiteista on koko ajan korkealla Japanista nähtynä, tämä tuo huomattavaa parannusta navigoinnin saatavuuteen ja luotettavuuteen kaupungeissa. QZSS-järjestelmä laajenee tulevaisuudessa seitsemään satelliittiin, mutta niiden sijoittelusta kiertoradalle ei ole vielä tarkempaa tietoa. (Poutanen 2016, 29–30.)



Kuvio 7. QZSS-satelliittien kiertorata (Navipedia 2016)

### 2.2.5 IRNSS

IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System), joka on Intian suunnittelema paikannusjärjestelmä. Satelliittijärjestelmä käsittää 7 satelliittia, joista ensimmäinen satelliitti on lähetetty vuonna 2013. Satelliiteista kolme on geostationaarisella radalla ja 4 geosynkronisella radalla. Geostationaarisella radalla olevat satelliitit kulkevat longituedeilla  $32.5^\circ$ ,  $83^\circ$  ja  $131.5^\circ$  kun taas geosynkronisella radalla olevista kaksi satelliittia kulkee longitudella  $55^\circ$  ja kaksi muuta longitudilla  $111.75^\circ$ . Satelliittien kiertoradan inkliinaatio on  $27^\circ$ , jonka ansiosta satelliitit ovat koko ajan näkyvissä Intiassa ja läheisillä merialueilla (Kuvio 8.). (Poutanen 2016, 30.)



Kuvio 8. IRNSS-satelliittien kiertorata (Insidegnss 2017)

### 2.3 Takymetripaikannus

Takymetri on maanmittauksessa käytettävä optinen mittalaite, jolla voidaan mitata kohteelle viedyn prisman X-, Y-, ja Z-koordinaatit. Takymetri tulee kuitenkin orientoida työmaan koordinaatistoon ennen mittausten aloittamista. Orientointi suoritetaan työmaalla maastoon merkittyjen kiintopisteiden avulla. Takymetrimittaus perustuu laserilla tapahtuvaan etäisyyden mittaukseen sekä laitteen sisäisillä kulma-antureilla, joiden avulla saadaan takymetrin ja prisman väliset vaakaja pystysuuntaiset suuntakulmat. Kun takymetri orientoidaan työmaa koordinaatistoon maastoon merkittyjen kiintopisteiden avulla, saadaan näin takymetrin sijainti tunnetuksi, jonka jälkeen voidaan mitatun etäisyyden ja mitattujen kulmien perusteella laskea prisman X-, Y- ja Z-koordinaatit. Koneohjausjärjestelmissä käytetään robottitakymetrejä, jotka on varustettu niin sanotulla ATS (Advanced Tracking System) ominaisuudella. Tämänkaltaiset robottitakymetrit voivat seurata ja mitata liikkuvan prisman paikkaa automaattisesti useita kertoja sekunnissa. Mitattu sijaintitieto välitetään työkoneen koneohjausjärjestelmälle radiomodeemin avulla. (Kilpeläinen ym. 2004, 23–24.)

Ensimmäiset ATS-takymetrit tulivat markkinoille jo vuonna 1990. Nykyisin koneohjaukseen soveltuvia robottitakymetrejä valmistaa muun muassa Leica, Trim-

ble, Topcon ja Sokkia. Robottitakymetri ohjatun järjestelmän hyvä puoli koneohjauksessa on sen tarkkuus ja luotettavuus, sekä mittausvirheiden havaitseminen on huomattavasti helpompaa kuin GPS-paikannuksessa. Takymetripaikannus vaatii kuitenkin optisen mittausmenetelmänsä takia esteettömän näkymän prisman ja mittalaitteen välillä. Lisäksi mittalaitteen ja prisman etäisyys toisistaan ei saa kasvaa liian suureksi, koska mittausetäisyys on käytännössä n. 200m. Tämä asettaa rajoituksia mittalaitteen sijoittamiselle työmaalle. Mittalaitetta joudutaan siirtämään useasti työn edistyessä, jonka seurauksena työmaan kiintopisteverkkoa joudutaan laajentamaan. (Kilpeläinen ym. 2004, 23–24.)

### 3 KONEOHJAUKSEN TARKKUUS JA LAADUNVARMISTUS

#### 3.1 Tarkkuus

Koneohjausjärjestelmältä vaadittava vähimmäistarkkuus työmaoloissa määräytyy tehtävän työvaiheen laatuvaatimus toleranssien mukaan. Koneohjausjärjestelmän tulisi olla tarkkuudeltaan joko parempi tai vähintäänkin toleranssit täytävä, mikäli järjestelmä ei täytä vaadittuja toleransseja on rakenneosat mitattava erikseen esimerkiksi takymetrillä. Mikäli järjestelmän tarkkuus on laatuvaatimuksia parempi, voidaan koneohjausjärjestelmällä mitata esimerkiksi kaivannon tai putkien paikat laatuvaatimusten mukaisesti. Rakennekerroksien laatuvaatimusten toleranssit on määriteltä InfraRYL-julkaisuissa. (Kivinen 2016, 42.) Esimerkiksi InfraRYL päälly- ja pintarakenteet julkaisussa tierakenteen jakavalle kerrokselle on asetettu seuraavan kaltaiset sallitut mittapoikkeamat:

#### Rakenteen yläpinnan tasosijainti

- |                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| ➤ Poikkeama vaakasuunnassa            | -0/+150 mm |
| ➤ Em. poikkeaman muutos 20 m matkalla | 100 mm     |

#### Rakenteen yläpinnan korkeustaso

- |   |        |
|---|--------|
| ➤ Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaan      | ±30 mm |
| ➤ Yksittäinen poikkeaman muutos 20m matkalla      | 30 mm  |
| ➤ Keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vasten | ±15 mm |

Rakenteen yläpinnan kaltevuuden poikkeama ±1 %

Tasaisuus 3 m oikolaudalla mitattuna 20 mm

(InfraRYL 2017, 31.)

Tierakentamisessa suodatinkerros ja jakavakerros tehdään yleensä lähes kokonaan kaivinkoneella. Rakennekerrokset tiivistetään jyräämällä tai maantiivistimellä. Tiivistämisen jälkeen rakennekerroksen yläpinnasta otetaan toteumamittaukset ennalta sovitusta paikoista. Näin ollen koneohjausjärjestelmän tarkkuuden tulisi teoriassa olla vähintään ±15 mm, koska jakavan kerroksen suurin sallittu pystysuorapoikkeama saa olla enintään ±15 mm. (Kivinen 2016, 43.)

Pelkän satelliittipaikannuksen tarkkuus ei välttämättä riitä tällaisten rakennekerrosten tekemiseen. Tarkkuuden parantamiseksi työkohteen läheisyyteen sijoitetaan erillinen tukiasema. Tukiasema mittaa tunnettujen ja satelliittien avulla määriteltyjen koordinaattien eroa. Koordinaattieron tukiasema lähettää koneohjausjärjestelmälle, joka korjaa työkoneen sijaintitietoa. Tukiaseman avulla työmaan kaivinkoneilla saavutetaan jopa  $\pm 1$  cm tarkkuus. (Kivinen 2016, 36.)

### 3.2 Laadunvarmistus

Tärkein tekijä tietomallipohjaisilla rakennustyömailla on tietomallien riittävä tarkkuus laadunvalvonnassa. Mikäli tietomallien oikeellisuudesta ei voida olla varmoja ja niiden sisältämät virheet huomataan vasta rakentamisvaiheessa tai lopullisessa rakenteiden laadunvarmistuksessa, ovat seuraukset huomattavat. Tämän kaltaisten virheiden korjaus lisää kustannuksia, viivästyttää aikataulua sekä vaikuttaa huomattavasti seuraaviin työvaiheisiin. Sovittua huonommasta työn laadusta voidaan tehdä myös arvonalennus, jolla on valtava merkitys kustannuksiin. (Heikkilä 2013, 48.)

Kun koneohjauksessa käytettävien mallien riittävä tarkkuus on todettu, pitää itse työkoneiden ja niiden mittalaitteiden tarkkuus varmistaa päivittäin. Paikannustarkkuuden riittävyys voidaan varmistaa seuraamalla tukiaseman ja työkoneen GNSS-vastaanottimien antamia tarkkuustietoja sekä suorittamalla tarkistusmittauksia niin tukiasemalle kuin työkoneille. Tukiaseman ja työkoneiden paikannustarkkuus varmistetaan takymetrimittauksella työmaalle luotujen tukipisteiden avulla. Mikäli jonkin työkoneen paikannustarkkuudessa huomataan riittämättömyys, korjataan ongelma ennen töiden jatkamista. (Heikkilä 2013, 48.)

Laadunvarmistusta koneohjatuilla rakennustyömailla voidaan toteuttaa reaaliaikaisesti, keräämällä toteumapinnoista niin sanottuja tarkepisteitä koneohjausjärjestelmällä. Tarkepisteiden avulla koneenkuljettaja ja työnjohto voi seurata työn laatua ja työmaan etenemistä. Jos tarkepisteiden perusteella huomataan toleranssiarvot ylittäviä poikkeamia, voidaan virheet paikantaa ja korjata nopeasti. (Heikkilä 2013, 48.)

YIV2015-ohjeiden mukaisesti tulee rakenteen toteumapinnan tarkemittaus tehdä vähintään 20 metrin välein rakenteen poikkileikkauksen taitteiden kohdilta. Koneohjausjärjestelmillä tehdään tarkemittauksia taulukossa 1 esitetyistä rakennesista kun järjestelmän paikannustarkkuus on todettu riittäväksi verrattuna taulukossa esitettyihin tarkkuusvaatimuksiin. (Jaakkola 2015, 7.)

Taulukko 1. Maarakenteiden mittavaatimukset ja koneohjausjärjestelmältä vaadittava tarkkuus (Jaakkola 2015, 4)

Rakenneosa	Suurin sallittu yks. sijainnin poikkeama (InfraRYL)	Suurin sallittu yks. korkeuden poikkeama (InfraRYL)	Työkoneautomaatiojärjestelmältä vaadittava mittaustarkkuus toteumamittauksia varten XY;Z
	mm	mm	mm
Maaleikkaus (201100), maatai louhepengeri(18100), tie ja rata	- 0 / +200	+ 0 / -100	+ - 100; + -30
Suodatinkerros, tie/rata (211100)	- 0 / +150	+ - 40	+ - 100; + -30
Jakavakerros, tie (212100)	- 0 / +150	+ - 30	+ - 100; + -30
Kantavakerros, tie (213100)	- 0 / +150	+ - 20	+ - 50; + -20
Eristyskerros yläpinta, rata (212200)	- 0 / +100	+0 / -50	+ - 50; + -20
Välikerros yläpinta, rata (212300)	- 0 / +50	+0 / -20	+ - 50; + -20

Tarkemittauksia tekevät koneenkuljettajat koulutetaan tarkemittauksien tekemiseen ohjeistamalla ja neuvomalla työn aikana. Kuljettajille voidaan tehdä tarkemittauskohdat esittävä ohje tai kuva, joka on käytettävissä työkoneessa. Koneohjausjärjestelmän tarkemittauksista hyödynnetään myös tien leikkausrakenteiden, maapenkereiden ja kerrosrakenteiden, rakenteeseen tulevien paineputkistojen, kaapelisuoja-putkien, kaapeleiden ja valopylväsanturoiden osalta sekä tehdään kaivojen, viettoputkistojen, kaapelisuoja-putkipatteristojen ja vastaavien varusteiden maarakenteiden tarkemittaukset. (Jaakkola 2015, 7.)

## 4 TUKIASEMAVERKOT JA MENETELMÄT

### 4.1 Tukiasemaverkko

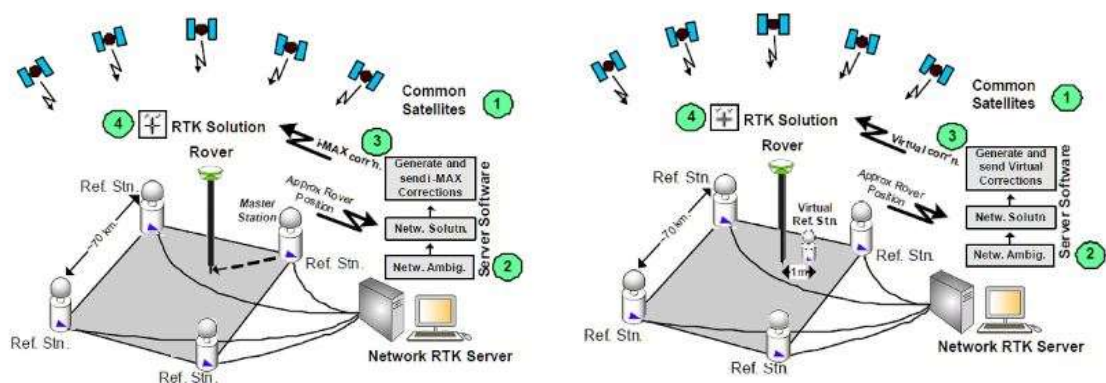
Kiinteästi sijoitettuja GNSS-laitteistoja (Global Navigation Satellite System) kutsutaan aktiivisiksi kiintopisteiksi, jotka keräävät GNSS-havaintoja jatkuvasti. Tämän kaltaiset pysyvät GNSS-asemat tai verkot pitää luokitella EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmän aktiivisiksi kiintopisteiksi ja niiden EUREF-FIN-koordinaatit tulee määrittää vaaditulla tavalla. (JHS-suositukset 2017.)

FinnRef-tukiasemaverkko muodostaa EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmän rungon ja määrittelee ylimmän E1-luokan. FinnRef-verkon pääasiallinen tarkoitus on ylläpitää yhteyksiä eurooppalaisiin ja maailmanlaajuisiin koordinaattijärjestelmiin sekä seurata maankuoren ja maankohoamisen liikkeitä ja taata näin ollen kansallisten koordinaattijärjestelmien laatu ja pysyvyys. Muiden pysyvien GNSS-asemien tai tukiasemaverkkojen pisteluokka määräytyy niiden käyttötarkoituksen mukaan. Mikäli GNSS-aseman tai tukiasemaverkon avulla tuotetaan paikannuspalveluita, pitää ne sijoittaa E2-luokkaan. Geodeettinen laitos määrittää aktiivisten kiintopisteiden koordinaatit, joten tukiasemien GNSS-havaintojen pitää olla Geodeettisen laitoksen käytettävissä. (JHS-suositukset 2017.)

GNSS-tukiasemaverkkojen tarkoituksena on taata laajempi peittävyys, parempi saatavuus ja luotettavuus, nopeampi alustus, jatkuva tarkkuus sekä korkeampi tuottavuus. Tukiasemaverkkojen avulla tehdyt mittaukset ovat hyvin jäljitettävissä ja toistettavissa. Liikkuvan GNSS-paikantimen ja verkon suhteessa on neljä perusasiaa: Samojen satelliittien havainnointi, verkon alkutuntemattomien ratkaiseminen, RTK-korjauksien (Real Time Kinematic) generointi ja RTK-ratkaisu, joiden muukaan määrittäyty liikkuvan GNSS-paikantimen tarkka sijainti. Tukiasemaverkot tarjoavat useita menetelmiä RTK-ratkaisun saamiseksi. Yleisimmin käytettyjä RTK-menetelmiä ovat FKP (Flächen-Korrektur Parameter), VRS (Virtual Reference Station), MAX (Master Auxiliary Corrections) sekä i-MAX (Individualized Master Auxiliary Corrections). Kyseisissä RTK-menetelmissä on kuitenkin merkittäviä eroja, jonka takia RTK-ratkaisun laadussa on eroavaisuuksia. (Leica Geosystems.)

## 4.2 Yleisimmät menetelmät

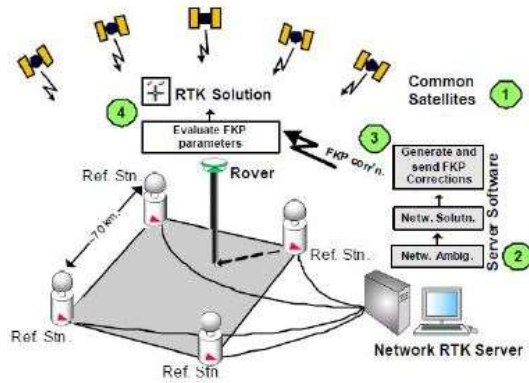
i-MAX- (Individualized Master Auxliary Corrections) ja VRS-menetelmät (Virtual Reference Station) ovat hyvin samankaltaisia, molemmat vaativat liikkuvan GNSS-paikantimen likimääräisen sijainnin laskentaa varten sekä eivät ole standardin mukaisia ja käyttävät julkaisemattomia algoritmeja. Verkko RTK on serverin kontrolloima, eikä siten aina paras mahdollinen ratkaisu. (Kuvio 9.) (Leica Geosystems.)



Kuvio 9. (vas.) i-MAX menetelmä ja (oik.) VRS-menetelmä (Leica Geosystems)

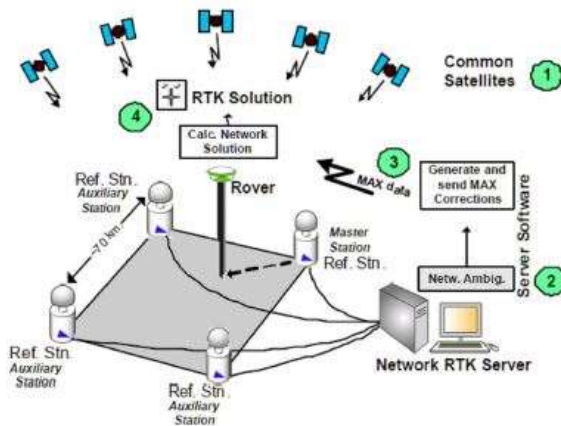
I-MAX-menetelmässä liikkuva GNSS-paikannin lähettää likimääräisen sijaintitiedon palvelimelle. Palvelin määrittelee kiinteästä tukiasemaverkosta yhden niin sanotun Master aseman, jolta korjausdata generoidaan liikkuvalla GNSS-paikantimelle. VRS-menetelmässä käyttäjälle lasketaan likimääräisten sijaintitietojen perusteella oma virtuaalitukiasema mittajaan lähelle. Korjausdata generoidaan liikkuvalla GNSS-paikantimelle virtuaalitukiasemalta.

FKP-menetelmässä (Flächen-Korrektur Parameter) käytetään lähetystä, jolloin liikkuvan likimääräistä sijaintia ei tarvita. Menetelmä laskee etäisyydestä riippuvat virheet ja generoi korjausparametrit, jotka lähetetään ja ovat voimassa vain yksittäisen tukiaseman ympäristössä. FKP ei ole standardin mukainen menetelmä ja käyttää julkaisemattomia algoritmeja laskennassa. Verkko RTK on serveri kontrolloitu eikä aina paras mahdollinen ratkaisu. (Kuvio 10.) (Leica Geosystems.)



Kuvio 10. FKP-menetelmä (Leica Geosystems)

MAX-menetelmässä (Master Auxiliary Corrections) raakahavainnot ja sijaintitiedot lähetetään yhdelle tukiasemaverkon asemalle, josta tulee niin sanottu Master-asema. Kaikille muille tukiasemille lähetetään alkutuntemattomilla korjatut havainnot ja koordinaattierot, näitä asemia kutsutaan Auxiliary-aseiksi. Menetelmä on ainoa standardin mukainen ja se käyttää julkaistuja algoritmeja. Verkko RTK on liikkuvan GNSS-paikantimen kontrolloima ja on siten aina paras ratkaisu. Menetelmässä on maksimoitu satelliittien hyödyntäminen. (Kuvio 11.) (Leica Geosystem.)

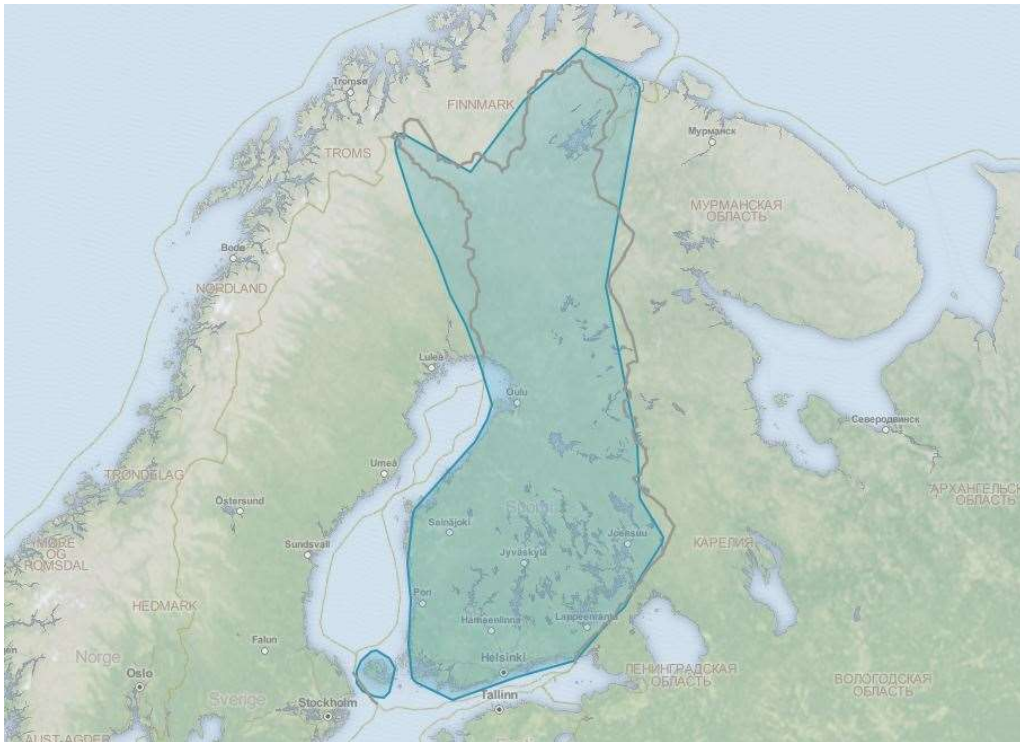


Kuvio 11. MAX menetelmä (Leica Geosystems)

### 4.3 SmartNet

SmartNet on Leica Geosystemin ylläpitämä integroitu GNSS-palvelu, joka tarjoaa verkko-RTK ja DGNSS –korjauspalvelun ympäri vuorokautiseen käyttöön. Palvelua voidaan käyttää kaikkien GNSS-laitteiden kanssa. Leica SmartNet tarjoaa

käyttäjilleen parhaan saatavuuden, luotettavuuden ja jäljitettävyyden käyttäen kansainvälisiä standardeja. Tukiasemaverkko kattaa yli 4000 tukiasemaa maailmanlaajuisesti, joka mahdollistaa tarkan RTK-paikannuksen jopa 2 senttimetrin tarkkuudella tasossa ja 4 senttimetrin tarkkuudella korkeudessa. RTK-korjausdata lähetetään standardoidussa RTCM-formaatissa 1 hz kellotaajuudella sekä korjausdataa lähetetään MAX- ja iMAX-menetelmillä. SmartNetin kattavuus Suomessa esitetty kuviossa 12. (Leica SmartNet 2018.)



Kuvio 12. Leica SmartNetin kattavuus Suomessa (Leica SmartNet 2018)

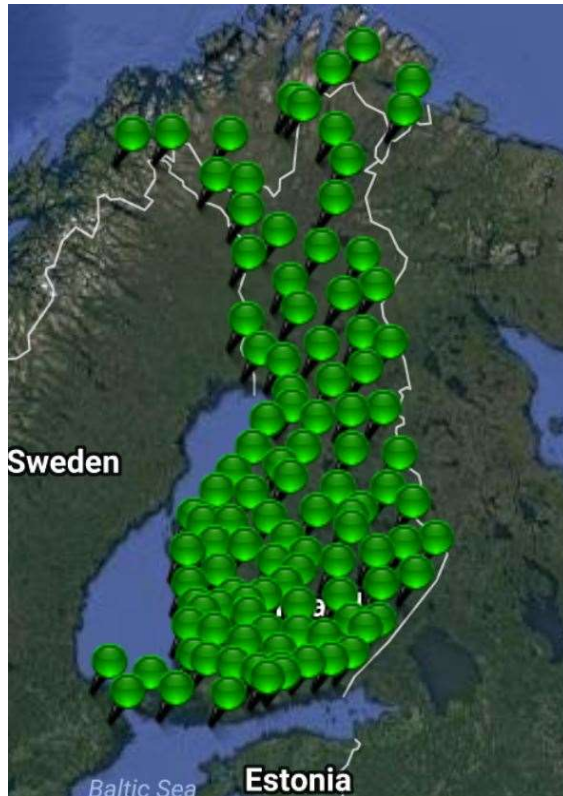
HxGN SmartNet on Leican pilvipohjainen GNSS-korjauspalvelu, joka pohjautuu avoimeen standardiin ja voidaan käyttää GNSS-laitteilla. Palvelu tarjoaa jopa 1-2 senttimetrin paikannustarkkuuden, RTCM-formaatissa olevien korjaustietojen avulla. (Leica SmartNet 2018.)

#### 4.4 TrimNet

Trimblen VRS:ää pidetään edelläkävijänä ja maailman johtavimpana tukiasemaverkkoratkaisuna. Trimble käyttää omia satelliitteja GNSS-korjausdatan välittämiseen, jonka avulla luodaan maailmanlaajuinen peittävyys. Tukiasemaverkosto on kansainvälisesti tunnustettua ja tutkittua teknologiaa. (Geotrim 2018.)

TrimNet on Trimble Geotrimin ylläpitämä tukiasema verkosto Suomessa. TrimNet on valtakunnallinen verkko, joka koostuu yli 100 GNSS-tukiasemasta ja Vantaalla sijaitsevasta laskentakeskuksesta. Kuviossa 13 on esitetty TrimNet-tukiasemien sijainnit Suomessa. Trimnetin VRS käyttää ainoana menetelmää, joka pystyy käyttämään virtuaalitukiasemaa reaaliaika- ja jälkilaskentamittauksissa. Virtuaalitukiaseman avulla korjausdata voidaan määrittellä tarkasti mittaajan sijaintiin nähden. (Geotrim 2018.)

TrimNet VRS soveltuu käytettäväksi kaikissa GNSS-mittaussovelluksissa. Tarjolla on käyttötarkoitukseen soveltuvia tarkkuusluokiteltuja palveluita aina 50 cm tarkkuudesta jopa 1 mm tarkkuuteen saakka. TrimNet on avoin kaikille tiedonsiirto-tekniikoille ja tukee kaikkia laitemerkkejä. Verkosto käyttää standardinmukaisia dataformaatteja ja pystyy tuottamaan korjausdataa myös esimerkiksi FKP-, MAC- tai MAX-menetelmillä. TrimNetin-tukiasemat vastaanottavat GNSS-satelliittien havaintodataa GPS-, Glonass-, Galileo-, Beidou- ja QZSS-satelliiteilta. (Geotrim 2018.)

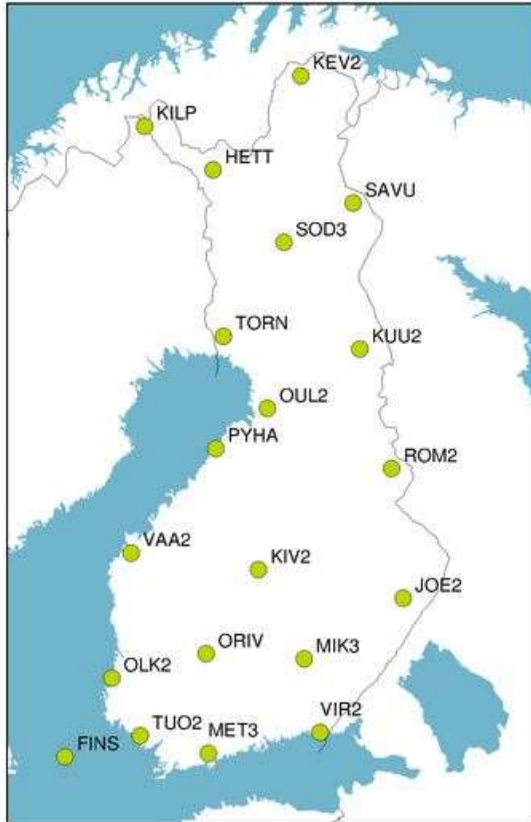


Kuvio 13. Trimnet-tukiasemien sijainnit Suomessa (Geotrim 2018)

#### 4.5 FinnRef

FinnRef on maanmittauslaitoksen ylläpitämä GNSS-tukiasemaverkosto, johon kuuluu yli 20 tukiasemaa Suomessa. Osa tukiasemista kuuluu Euroopan laajuisen pysyvien tukiasemien verkostoon (EUREF Permanent GNSS Network), lisäksi Kirkkonummen Metsänhovin ja Sodankylän asemat kuuluvat maailman laajuisen IGS-asemien verkkoon. Tukiasemat hyödyntävät useiden GNSS-satelliittijärjestelmien havaintodataa muun muassa GPS-, Glonass-, Galileo- ja Beidou-satelliiteista (Kuvio 14.). (Maanmittauslaitos 2018a.)

Maanmittauslaitoksen FinnRef-verkkoon perustuva paikannuspalvelu on maksuton. Paikannuspalvelu tarjoaa ainoastaan DGNSS-palvelua, jota voi käyttää reaaliajassa ja on tarkoitettu noin puolenmetrin tarkkuutta tarvitseville. RINEX-latauspalvelusta saatavalla FinnRef-asemien havaintodatan ja jälkilaskennan avulla voidaan saavuttaa senttimetrin tarkkuus. Tarkempaa reaaliaikaista RTK-palvelua käytetään tällä hetkellä ainoastaan tutkimustarkoituksiin. (Maanmittauslaitos 2018a.)



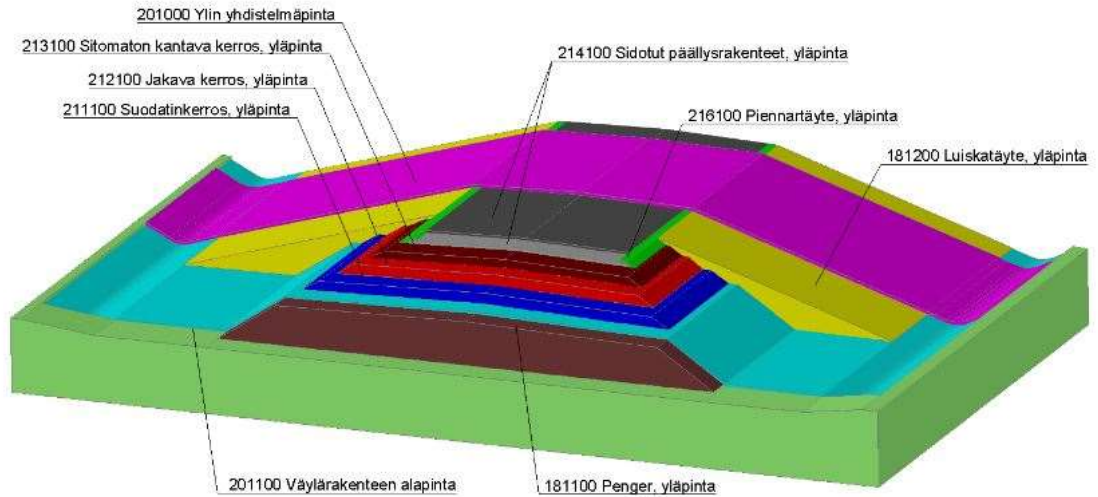
Kuvio 14. FinnRef-tukiasemat Suomessa (Maanmittauslaitos 2018a)

## 5 OHJEISTUKSET JA VAATIMUKSET

### 5.1 InfraBIM

InfraBIM julkaisussa määritellään nimikkeistö, jossa esitetään infrarakenteiden ja -mallien numerointi- ja nimeämiskäytännöt. Nimikkeistön tarkoituksena on yhtenäistää numerointi- ja nimeämiskäytäntö infrarakentamisessa ja mallintamisessa. InfraBIM-nimikkeistön on tarkoitus palvella infrarakentamista koko elinkaaren ajan ja sen eri vaiheissa: lähtötietojen hankinnassa, suunnittelussa, toteutuksessa, toteuman mittauksessa ja kunnossapidossa. Nimikkeistö kattaa laajasti numerointi ja nimeämiskäytännöt niin tie, katu, rata kuin vesiväylä rakenteille. InfraBIM-nimikkeistön versio 1.5 on laadittu vuosina 2010-2013 yhteistyössä Sito Oy:n ja Ramboll Finland Oy:n asiantuntijoiden kanssa. InfraBIM-nimikkeistö versio 1.6 on laadittu vuonna 2015 buildingSMART Finland infra-toimialaryhmän alaisuudessa. (BuildingSMART 2015.)

Infrarakentamisessa tietomalli luodaan infraBIM-nimikkeistön ja infraBIM-sanaston mukaisesti. Tietomallilla kuvataan rakennettavan kohteen rakennepinnat sekä rakenteiden taitekohdat kolmiulotteisena mallina ominaisuustietoineen. Mallintamisella mahdollistetaan, että tietoa voidaan ihmisen lisäksi tulkita myös tietoteknisillä järjestelmillä ja sovelluksilla esimerkiksi määrälaskentaohjelmitoilla, työmaan mittaus- ja koneohjauslaitteistoilla sekä infran hallinnan rekistereillä ja niihin liittyvillä sovelluksilla. Tietomallintamisella luodaan suunnittelu- ja rakennushankkeissa toimiva ja luotettava tiedonvaihto eri osapuolten kanssa. Mallintamisella varmistetaan, että kaikki ymmärtävät tiedon samalla tavalla, tieto on jäsennelty yhteisesti sovitulla tavalla, tietoa hallinnoidaan yhteisesti sekä se on hyödynnettävissä ja muokattavissa eri osapuolten tarpeisiin. Mallintamisen yhtenäinen koodaus ja nimeäminen tierakenteelle esitetty kuviossa 15. (Liikennevirasto 2017a.)



Kuvio 15. Infrarakentamisessa mallinnettavat rakenteet ja niiden koodaus (BuildingSMART 2015)

Mallipohjaisessa suunnittelussa suunnittelu tapahtuu alusta saakka suunnittelu-järjestelmässä. Jokainen suunniteltu osio rakentaa suunnitelmamallia eteenpäin kokonaisuudessaan. Mallipohjaisessa suunnittelussa, itse malli ja rakennepintojen ominaisuustiedot ovat katseltavissa eri tavoin. Mallia voidaan tarkastella kolmiulotteisena, karttanäkymänä tai leikkauksina. Mallipohjainen aineisto tuotetaan avoimessa standardoidussa tiedonsiirtoformaattissa esimerkiksi Inframodel tai IFC (Industry Foundation Classes), jotta tiedon siirtäminen toiseen ohjelmaan olisi mahdollista. Mallipohjaisella suunnittelulla mahdollistetaan suunnitelmatilanteen esittämisen ja arvioimisen kaikissa hankkeen vaiheissa. Suunnittelun aikana suunnitelmasta julkaistaan erillisiä yhdistelmämallia, joihin kootaan aineisto lähtötietomallista ja eri tekniikanlajien mukaisista osamalleista, jotta suunnitelmaa voidaan katsella, kommentoida ja tehdä mahdollisia yhteensovituksia. (Liikennevirasto 2017a.)

## 5.2 Yleiset inframallivaatimukset

Yleiset inframallivaatimukset tarjoavat kattavat lähtötiedot sekä ohjaa suunnittelun eri vaiheita, rakentamista, rakentamisen todentamista, käyttöä ja ylläpitoa. Ohjeiden tarkoituksena on ohjata, yhdenmukaistaa ja kehittää koko infra-alan mallinnuskäytäntöä. Yleiset inframallivaatimukset antavat ajantasaisimman ja

parhaat käytännöt sekä ohjeita tullaan päivittämään jatkuvasti osaamisen ja työvälineiden kehittymisen myötä. (Liukas & Kemppainen 2015, 4.)

### 5.2.1 Mallinnettavat kohteet

Koneohjauksessa käytettävä rakennettavan kohteen malli saadaan suunnitelmajärjestelmän sisältämästä suunnitelmamallista. Rakennepintojen toteutusmallien tulee muodostua yhtenäisistä 3D-taiteviivoista ja niiden kolmioverkkomalleista, jolloin työmaalla aineistoa voidaan hyödyntää joko viivamaisena 3D-aineistona, kolmioverkkomallina tai molempina käyttötarkoituksesta riippuen. (Snellman 2015, 3.)

Väylärakenteiden toteutumamallit koostuvat useista eri rakennepintojen kokonaisuuksista. Jokainen yksittäinen rakennepinta on oma erillinen toteutusmalli ja yhdessä ne muodostavat rakennettavan kohteen toteutusmallin. Kaikki rakennettavat rakenneosat on mallinnettava, joiden toteutuksessa hyödynnetään koneohjausta. Väylärakentamisessa toteutumamalli koostuu INFRA 2006 rakennusosa- ja hanke nimikkeistön mukaisista rakennusosista; pohjarakenteet, maaleikkaukset ja –kaivannot, penkereet, maapadot ja täytöt, päällysrakenteen osat ja ratojen päällysrakenteet. InfraBIM-nimikkeistön mukaisia yleisimmin mallinnettavia pintoja ovat ylin yhdistelmäpinta, kulutuskerroksen asfalttibetoni AB (yläpinta), sitomaton kantava kerros (yläpinta), jakava kerros (yläpinta), suodatinkerros (yläpinta), väylärakenteen alapinta (alin yhdistelmäpinta), massanvaihtoon kuuluva kaivanto, putki- ja johtokaivanto, maapenger (yläpinta), roudaneristys (alapinta), eristyskerros (yläpinta), välikerros (yläpinta), tukikerros (yläpinta), tukikerroksen alaosa (yläpinta), avo-ojat ja uomat. (Snellman 2015, 3–5.)

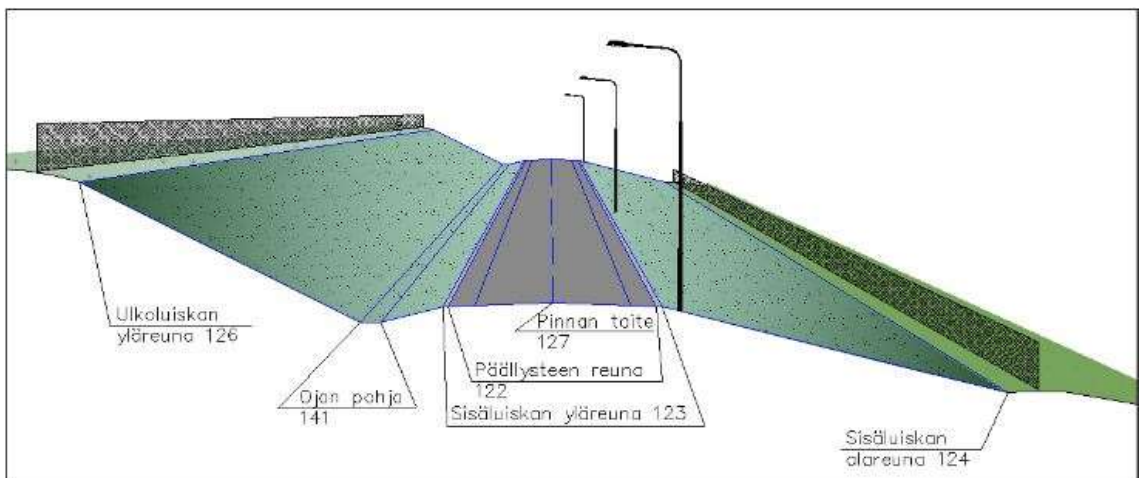
Rakennekerroksien paksuuden muutokset sisällytetään toteutumamalliin. Tämän kaltaisia paikkoja ovat esimerkiksi moottoritien ja rampin liitoskohdat, joissa rakennekerroksien paksuudet ovat huomattavasti ohuempia. Rakennekerroksien paksuuden muutos kohteissa, suunnittelussa noudatetaan voimassa olevia ohjeita. Paikoissa jossa rakennekerrosten paksuudet muuttuvat ja joihin ei rakenneta siirtymäkiilaa, paksuudenmuutos suoritetaan 5 m:n matkalla kantavamman alusrakenteen puolella. (Snellman 2015, 5.)

Siirtymäkiilojen suunnittelussa käytetään voimassa olevaa ohjeistusta. Suunnitelma-asiakirjoihin tulee merkitä siirtymäkiilojen sijainnit, jotka tarkistetaan InfraRYL-ohjeistuksen mukaisesti maasto-olosuhteissa siten, että siirtymäkiilan syvin kohta tehdään alusrakenteen vaihtumiskohtaan. (Snellman 2015, 5.)

Kalliroleikkauksien kohdalla tarkkaa vaihtumiskohtaa ei tiedetä rakennussuunnitteluvaiheessa, vaan suunnittelussa käytetään tulkittua kalliopintaa. Mikäli kallio on lähellä maanpintaa ja rakenteen alapinnassa vaihtelee kallio ja maaleikkaus, voidaan koneohjausmalli luoda teoreettisen maaleikkauksen mukaisesti. Maakavannoissa noudatetaan voimassa olevia suunnitteluohjeita ja kaivannot suunnitellaan niiden mukaisesti sekä niistä laaditaan toteutusmallit omina pintoinaan. Mikäli malli perustuu tulkittuun pintaan, on siitä mainittava malliselostuksessa. (Snellman 2015, 5.)

## 5.2.2 Mallinnettavat taitteet

Lähtökohtaisesti jokaisesta pinnasta mallinnetaan vain ne viivat, joiden kohdalla rakenne muuttuu tai on muulla tapaa merkityksellinen. Muulla tapaa merkityksellisiä kohteita ovat paikat joissa pinnan kaltevuus esimerkiksi muuttuu. Ajouradan mittalinjan ja raiteen keskilinja tulee aina mallintaa, vaikka väylän kaltevuus olisikin yksipuoleinen. Mallintamisen yhteydessä rakennepinnalla ei saa jäädä päällekkäisiä viiva kohteita. Mallinnettavissa taitteissa tulee noudattaa viivan nimeämisessä ja koodauksessa infraBIM-nimikkeistöä (Kuvio 16.) (Snellman 2015, 6.)



Kuvio 16. Ylimmän yhdistelmäpinnan nimet ja koodit InfraBIM-nimikkeistön mukaisesti (Snellman 2015, 7)

### 5.2.3 Tarkkuusvaatimukset

Toteutusmallintamisessa tarkkuusvaatimukset kohdistuvat taiteviivojen ja pintojen jatkuvuusvaatimuksiin sekä taiteviivojen ja pintojen geometrisiin vaatimuksiin. Toteutumamallissa kaikkien pintojen ja taiteviivojen on oltava kauttaaltaan mahdollisimman jatkuvia. Jatkuvuuden osalta taiteviivoissa saa olla enintään 1 m rako eri väylien liittymäkohdissa. Mikäli taiteviivojen väliin jää alle 1 m rako, tulee aineiston kolmioitua oikein yhtenäisenä pintana. Taiteviivojen raon kohdalle ei saa kolmioinnissa muodostua pykälää. Lisäksi mallinnetuissa pinnoissa ei saa olla päällekkäisiä viivoja eikä pystysuoria muutoksia. Sama asia pätee rakennekerrosten muutoskohdissa, joissa rakenteet pyritään yhdistämään toisiinsa saumattomasti. Lopulliset väylien ja alueiden tarkkuusvaatimukset määräytyvät InfraRYL-infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset osa 1 mukaisesti, jossa vaatimukset on esitetty valmiin rakennusosan poikkeamina suunniteltuun. (Snellman 2015, 10.)

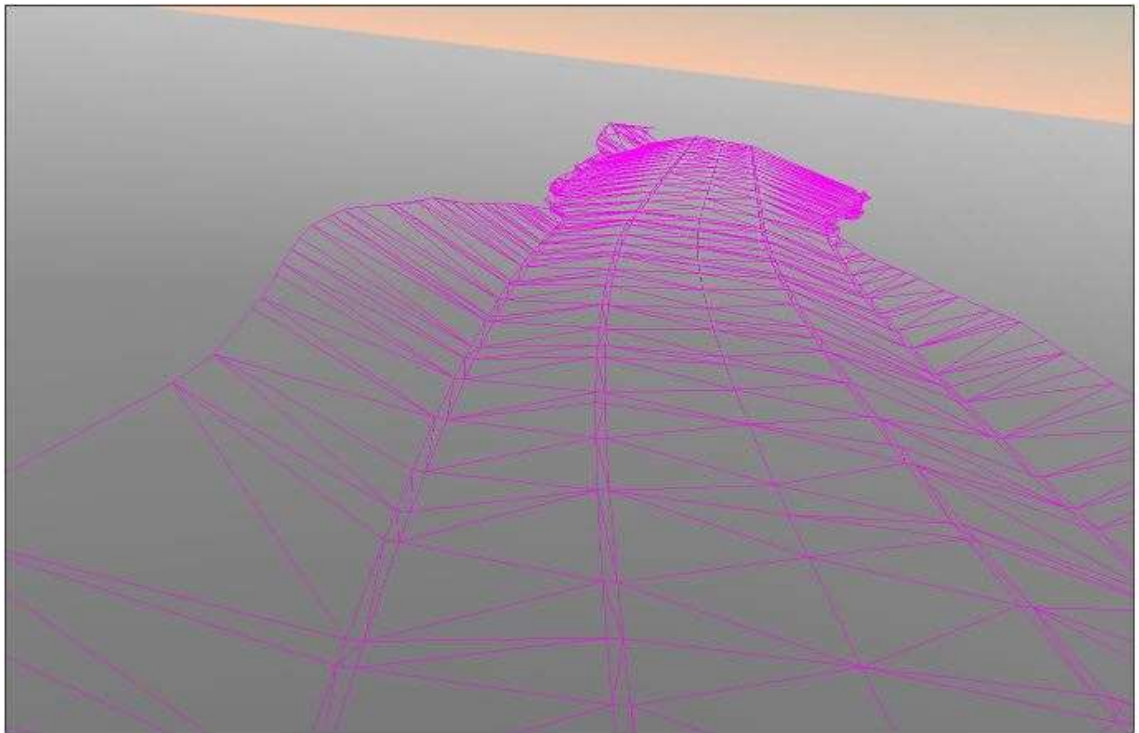
### 5.2.4 Taiteviiva-aineiston geometrinen tarkkuus

Toteutusmallin taiteviivat eivät saa poiketa laskennallisista geometrialinjoista yli kolmea millimetriä sekä yksittäisen taiteviivan pituus ei saa olla yli 10 m. Tällöin toteutusmallit ovat tarpeeksi tarkkoja suhteessa suunnitelmamalliin mutta eivät liian raskaita työkoneiden ohjauslaitejärjestelmille. Toteutusmallia tehdessä on otettava huomioon vaaka- sekä pystygeometriset arvot. (Snellman 2015, 14.)

Nykyisillä suunnittelujärjestelmillä vaadittuun tarkkuuteen päästään useimmilla ohjelmistoilla. Ohjelmissa on mahdollista lisätä piste, kun etäisyys ylittää vaakatai pystygeometriaan nähden vaaditun 3 mm etäisyyden. Kaarre- ja pyöristyssäteissä tarkkuusvaatimuksiin päästään, kun noudatetaan tiettyjä taiteviivan enimmäispituuksia. Taiteviivojen minimipituutena voidaan käyttää 0,5 m, jollei jokin erityinen kohde vaadi tiheämpää taiteviivaketjua mallintamisen onnistumiseksi. (Snellman 2015, 15.)

### 5.2.5 Säännöllinen kolmioverkko

Koneohjauslaitteissa voidaan käyttää taiteviivamallin lisäksi myös rakennepintojen kolmioverkkomalleja. Kolmioverkkomalli muodostetaan kolmioimalla taiteviiva-aineisto. Säännöllisellä kolmiverkolla tarkoitetaan, että kolmioiden tulee kiinnittyä tasaisin välimatkoin samaan taiteviivaan. Säännöllisen kolmioverkon saa luotua parhaiten, kun pituussuuntaiset taitteet on määritelty tasapaaluille, esimerkiksi viiden tai kymmenen metrin välein. Kolmiomallin säännönmukaisuuteen vaikuttaa suuresti taiteviiva-aineistojen ylimääräiset taitepisteet, jotka useimmiten sekoittavat kolmiointia. Säännöllinen kolmiointi esitetty kuviossa 17. (Snellman 2015, 15.)



Kuvio 17. Riittävä säännönmukainen kolmiointi (Snellman 2015, 16)

### 5.2.6 Mallitiedostojen nimeämisen ja kansiorakenteen vaatimukset

Toteutusmallitiedostojen ja kansioden nimeäminen tulee tehdä kuvaavasti siten, että käy selvästi ilmi mistä aineistosta on kyse. Tiedostojen ja kansioden nimeämisessä ei saa käyttää "ääkkösiä", välilyöntejä, erikoismerkkejä eikä nimet saa olla liian pitkiä. Rakennepintojen nimeäminen suoritetaan esimerkin mukaisesti:

Tie: Vt4\_Yyp\_0-1000, jossa Vt4 merkitsee väylän tunnusta, rakennepinnan tunnus Yyp sekä lopuksi mallissa esitettävän väylän paaluväli 0-1000. (Snellman 2015, 18.)

Kansiorakenteelle asetettuja vaatimuksia mukaisesti tulee jokaiselle väylälle tehdä oma kansio, jonne luodaan kolme alakansiota geometrialle, taiteviivoille sekä kolmioverkoille. Alakansioihin tallennetaan kyseisen väylään liittyvät aineistot nimeämisperiaatteen mukaisesti. (Snellman 2015, 18.)

### 5.2.7 Tiedonsiirtoformaattit

Laskennalliset geometrialinjat, toteutusmallin taiteviiva-aineistot ja kolmioverkko-aineistot toimitetaan tilaajalle InfraModel-määrittelyn mukaisessa LandXML-formaatissa. Poikkeustapauksessa tiedostoja voidaan toimittaa muun muassa AutoCad-ohjelman tukemassa dwg-formaatissa. (Snellman 2015, 19.)

### 5.3 InfraModel

Inframodel on kansainväliseen LandXML-standardiin perustuva avoin formaatti infratietojen tietomallipohjaiseen siirtoon. Inframodel on LandXML:n osajoukko joka sisältää rakennelaajennuksia LandXML-standardin sallimalla tavalla. Tällä mahdollistetaan tiedon siirto, joka ei normaalissa LandXML-standardissa olisi mahdollista. Kyseisellä ominaisuudella mahdollistetaan esimerkiksi kohteiden nimikkeisiin (lajiluokitus) liittyvä tieto sekä erinäiset ominaisuustiedot kohteille. Inframodel-tiedosto on tekstimuotoinen ja se voidaan avata selaimella tai tekstieditorilla. Tiedostoa voidaan muokata tekstieditorilla, mutta sitä ei suositella tehtäväksi tiedoston toimivuuden vuoksi. Tiedostoformaattia voidaan hyödyntää muun muassa maastomittaustietojen siirrossa, suunnitteluohjelmien välisessä tiedonsiirrossa, suunnitelmamallien arkistoinnissa, toteutusmallien tuottamisessa koneohjausta varten sekä toteuma- tai tarketiedon siirtoon työmaalta suunnittelijalle. Inframodel-tiedonsiirron hyötynä onkin tiedonsiirron ja sen käytäntöjen yhdenmuukaistuminen, virheiden ja hukan väheneminen sekä mahdollisuus välittää metatietoa eli varsinaiseen tietoon liittyvää ominaisuustietoa. (PRE InfraFINBIM 2013, 3–4.)

#### 5.4 InfraRYL

InfraRYL on koottu erinäisten olemassa olevien, rakentamisen eri tahojen laatiin yleisiin laatuvaatimuksiin, työselostuksiin, standardeihin ja niiden perusteella koottuihin yhteisiin käsityksiin hyvästä rakennustavasta. Niinpä InfraRYL:in tavoitteena onkin määrittää työn lopputuloksen rakennustekninen laatu. Lähes kaikelle rakentamisen lopputuotteille esitetään valmiin rakenteen toleranssit ja yleiset laatuvaatimukset työlle sekä rakennustarvikkeille. Suunnitelma-asiakirjoissa määritellään rakennusmateriaalit, tuotteet ja tarvikkeet, joilla infrarakenteet ja järjestelmät rakennetaan. InfraRYL sisältääkin useimpien materiaalien laatuvaatimukset perustuen CE-merkintään tai EN-standardeihin. InfraRYL ei kuitenkaan määrittele tarkkoja rakennusmateriaaleja vaan määrittelee suunnitelmassa olevan materiaalin vaadittavat ominaisuudet, rakentamisen tai asentamisen ja laadun vaatimuksista. Näin ollen InfraRYL on suunnattu lähinnä suunnittelijoille hankekohtaisten suunnitelma-asiakirjojen laadintaan ja rakentajalle hyvän rakennustavan mukaisiin toteutustapoihin. (InfraRYL 2017, 11–12.)

YSE98 15§ todentaa hyvän rakentamistavan:

*”Jos sopimusasiakirjoissa ei ole mainintaa rakennustyölle tai sen osalle asetettavista vaatimuksista, kuten laadun, määrän tai suoritustavan osalta, urakoitsijan on neuvoteltuaan asiasta tilaajan kanssa noudatettava sopimusasiakirjojen samanlaisista tai rinnastuskelpoisista suorituksista antamia määräyksiä tai näiden puuttuessa vastaavanlaisissa rakennustöissä yleensä noudatettavaa menettelyä hyvän ja kunnollisen työntuloksen aikaansaamiseksi.”* (YSE98, 15§.)

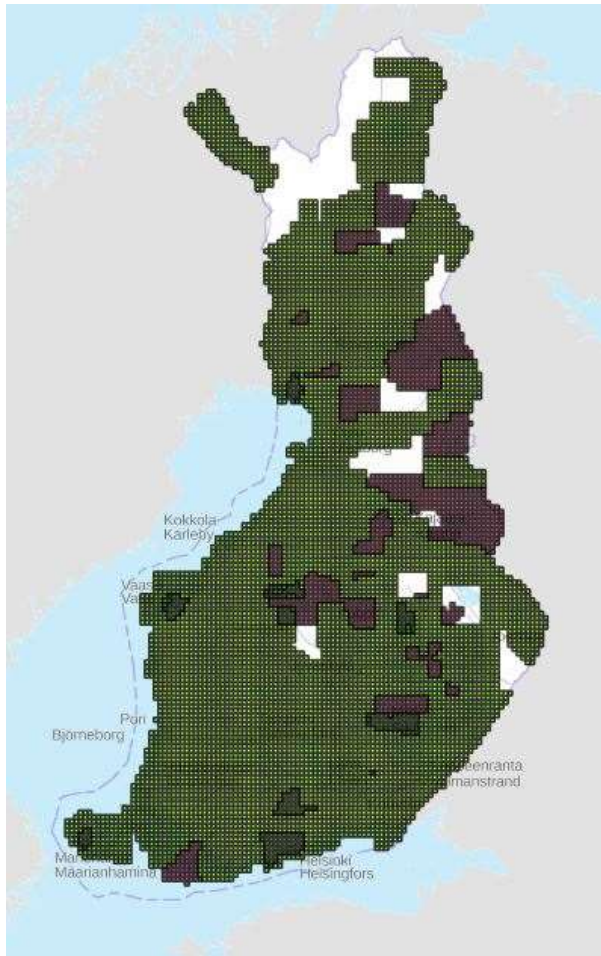
InfraRYL:in teknisten vaatimusten otsikoitin ja järjestys noudattavat infra 2015 Rakennusosa- ja hankenimistöä. Rakennusosa- ja hankenimistöä tarvitaan kuvaamaan suunnittelun lopputulosta ja laadullisia vaatimuksia, nimikkeistön avulla hanke voidaan mallintaa määrinä ja kustannuksina sekä kuvata laatua koskevat vaatimukset. Lisäksi se luo sopimusperustan tilaajan, suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden välille. Nimikkeistöllä luodaan myös yhteinen perusta eri toimijoiden tiedonvaihdon ja se kattaa kaikki infra-alan lopputuotteet. (InfraRYL 2017, 13.)

## 6 LASERKEILAUSAINEISTOT

### 6.1 Maanmittauslaitos

Maanmittauslaitos laserkeilaa noin 50 000-70 000 neliökilometrin verran alueita vuosittain. Tavoitteena on laserkeilata koko Suomi vuoteen 2020 mennessä. Maanmittauslaitos kerää laserkeilausaineistoa korkeusmallien ja metsävaratietojen keruuta varten. Laserkeilausaineistot jatkokehitellään ja niistä muodostetaan maanpintaluokiteltua kolmiulotteista pistemäistä aineistoa, joilla on X-, Y- ja Z-koordinaatit. Maanpintaluokiteltua aineistoa voidaan hyödyntää muun muassa maastomallien muodostamisessa. Maastomallia voidaan taas hyödyntää erinäisissä optimointi- ja tiedonkeruusovelluksissa sekä vesien valuntaa ja maanpinnan muotoja tutkivissa sovelluksissa. Maanpintaluokiteltu ja siitä tuotetut kolmiulotteiset mallit soveltuvat erittäin hyvin käytettäväksi erilaisissa rakennettujen ympäristöjen kuvauksissa, esimerkiksi melumallinnuksessa. Aineistoja käytetään myös kaavoituksessa ja metsävaratiedon keräämisessä sekä muissa luonnonympäristön muutosta seuraavissa analyyseissä ja seurannoissa. (Maanmittauslaitos 2018b.)

Maanmittauslaitoksen tuottamaa laserkeilausaineistoa on tällä hetkellä saatavilla vain osasta Suomea. Laserkeilausaineistot ovat avointa aineistoa ja kaikki aineisto on saatavilla automaattisesti maanpintaluokiteltuna maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen tiedostopalvelusta. Laserkeilausaineiston saatavuus ja laatuokat on esitetty kuviossa 18. (Maanmittauslaitos 2018b.)



Kuvio 18. Laserkeilausaineiston kattavuus ja laatuluokat (Maanmittauslaitos 2018b)

## 6.2 Maanpintaluokiteltu pistepilvi

Maanmittauslaitos tuottaa laserkeilausaineistoista automaattisesti maanpintaluokiteltua pistepilviaineistoa. Luokiteltua pistepilveä käytetään valtakunnallisen korkeusmallin perustana ja interaktiivisen korkeusmallityön lähtöaineistoksi soveltuvana. Laserkeilausaineistojen pistetiheys on vähintään 0,5 pistettä neliömetrillä, näin ollen laserpisteiden etäisyys toisistaan on enintään 1,4 metriä. (Maanmittauslaitos 2018b.)

Maanpintaluokittelussa pisteet luokitellaan kasvillisuuksien, maanpinnan, vesipintojen sekä erinäisten heijastuneisuuksien perusteella. Pistepilven pisteet luokitellaan seuraavasti LAS 2.0 formaatissa:

1 Luokittelematon. Lähtötilanteessa kaikki keilauspisteet ovat luokittelemattomia sekä lopputilanteessa ne pisteet, joiden luokka ei ole muuttunut.

2 Maanpintapisteet. Kyseiset pisteet edustavat alinta pintaa, joka on pistepilvestä havaittavissa. Tulos riippuu luokittelualgoritmin parametreille valituista arvoista, ja se on kompromissi maanpintaan kuulumattomien ja siitä puuttumaan jäävien pisteiden määrän välillä.

3 Matala kasvillisuus. Yleisluokka kaikille pisteille, jotka eivät vastaa laserpuls-sien ainoita tai viimeisiä paluukaikuja. Kyseiset pisteet vastaavat paluukaikuja, jotka ovat tulleet laserpulssien osittain läpi tai ohi päästäneestä kohteesta.

7 Matalat virhepisteet. Kyseiset pisteet johtuvat yleisimmin esimerkiksi voimakkaasta häikäisystä kirkkaasta kohteesta tai laserpulssin moniheijastuksesta. Myös korkealla ilmassa voi olla keilainhäiriöpisteitä tai pisteitä todellisen kohteen paluukaiuista. Tämän kaltaiset pisteet pyritään poistamaan mutta ne joita ei poisteta sijoitetaan luokkiin 1, 3 tai 13.

9 Vakavedet. Nämä ovat rantaviivojen sisäpuolella olevia, tietyllä kohinatoleranssilla (tyypillisesti 20cm) vedenpintaa edustavia pisteitä.

10 Siltapisteet. Kyseiset pisteet ovat varsinaisen siltapinnan pisteitä, joiden alla on merkittävä vapaa tila veden vapaata virtausta ajatellen.

13 Peittoalue. Lentojonojen päällekkäisiltä alueilta vain yhden jonon pisteitä käytetään jatkoluokittelussa. Peittoalueen arvo ei sisälly LAS 2.0-formaattiin vuoden 2010 keilauksista alkaen.

14 Virtavedet. Ovat pisteitä, jotka ovat olleet maanpintaluokittelun jälkeen maanpintaluokassa. Pisteteitä on rantaviivan sijainnin ja veden korkeuden vaihtelun johdosta myös varsinaisen vesipinnan alueen ulkopuolella, joten varsinainen informaatio on ”uoma-alue”. (Maanmittauslaitos 2018b.)

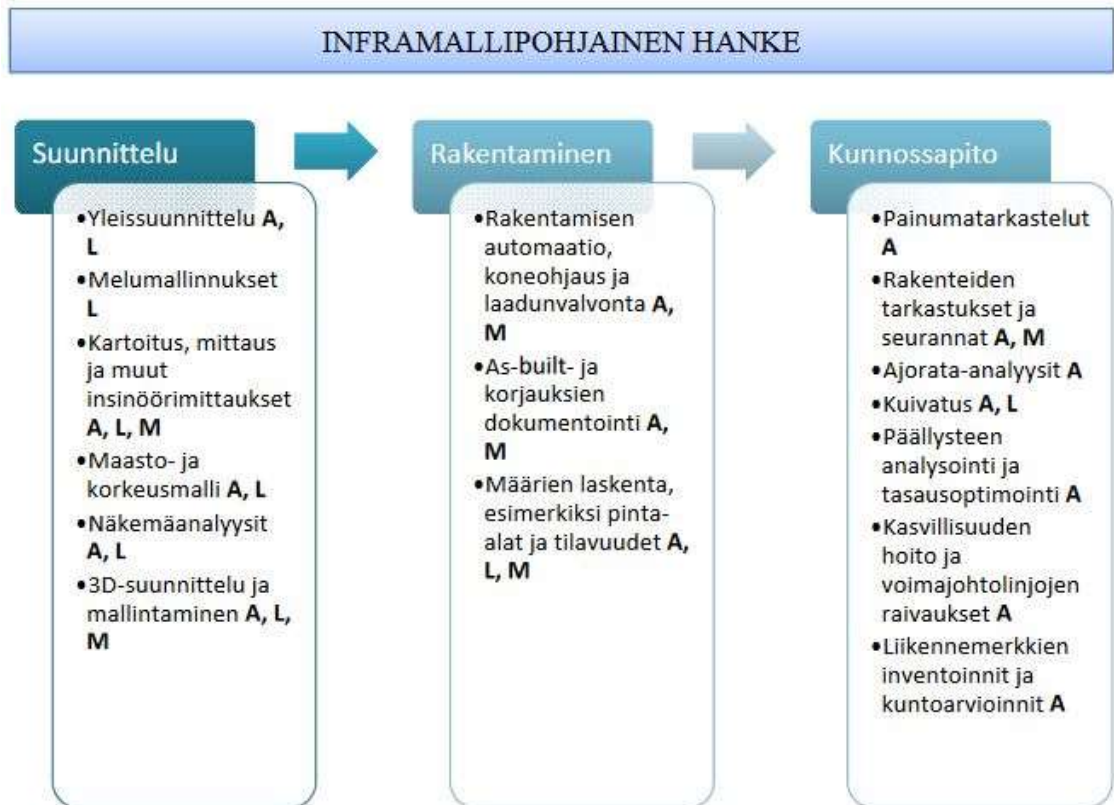
### 6.3 Laserkeilausaineiston tuottaminen koneohjausmallintamiseen

Tie- ja rakennesuunnitteluvaiheessa hanke alueelta tarvitaan tarkka maastomalli, jonka avulla voidaan suunnitella rakenteet ja sen avulla voidaan rakentamisvaiheessa laskea työaikaisia määrälaskentoja. Yleissuunnitelmalle tarvitaan aina jonkinlainen maastomalli. Tilaaja määrittelee hankekohtaisesti tarkkuusvaatimukset, jotka vaikuttavat maastomallin tekemiseen käytettävästä lähtöaineistosta ja

menetelmästä. Esisuunnittelussa voidaan käyttää saatavilla olevaa maastotietoa esimerkiksi maanmittauslaitoksen tuottamaa korkeusmallia. Yleissuunnitelmassa tuotetaan yleispiirteinen maastomalli, jossa esitetään suunnittelun osalta kaikki oleelliset maastotiedot. Mikäli yleissuunnitelmaa varten tehdään uusi ilmakekuvaus tai laserkeilaus, tulee se suorittaa Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -Mittausohjeiden kohdan 4 mukaisesti. Maastomalli voidaan tehdä myös niin sanottuna hybridimallina, jossa erilaiset suunnittelutarpeet otetaan huomioon. Esimerkiksi melulaskentaa varten tarvitaan tietosisällöltään ja tarkkuudeltaan pelkistetty mutta laajempi malli, joka voidaan yhdistää yleispiirteiseen maastomalliin. (Liikennevirasto 2011.)

Nykyisin infrarakentamisen kohteet ovat melko suuria ja niiden lähtötietojen keräys pyritään suorittamaan nopeasti. Mittausmenetelmän osalta maastomallin tuottaminen on kaksivaiheinen prosessi, jossa ensimmäisessä vaiheessa valitaan tiedonkeruu tekniikka ja toisessa vaiheessa kerätyn datan jatkokäsittely maastomalliksi sekä tuotetun mallin sisäinen laatukontrolli. Lähtötietojen keräykseen käytettävät tekniikat ovat laserkeilaus ilma-aluksesta, ajoneuvolaserkeilaus, maalaserkeilaus, fotogrammetrinen mittaus sekä maastokartoitus. Liikenneviraston ohjeita 18/2017, Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot mittausohjeen liite 1:ssä on esitetty sallitut mittausmenetelmät maastomallikohteittain. Maastomittausta lukuun ottamatta tiedonkeruu tulisi suorittaa alkukeväällä lehdettömän puun aikaan ja ajankohtaan, jolloin maassa ei ole routaa. Eri menetelmillä tuotettujen aineistojen hyödynnettävyys infrahankkeissa on esitetty kuviossa 19. (Liikennevirasto 2017b, 21.)

**A** = Ajoneuvolaserkeilaus    **L** = Lentolaserkeilaus    **M** = Maalaserkeilaus



Kuvio 19. Laserkeilausaineistojen käytettävyydet eri menetelmillä tuotettuna (Pekkala 2015)

Ilmasta suoritettavan laserkeilauksen tulee täyttää sille asetetut vaatimukset, jossa pistetiheys nadiirissa pitää olla vähintään 20 pistettä neliometrillä ja maastojalanjälki (Footprint) halkaisijaltaan enintään 15 senttimetriä. Lisäksi aineistossa ei saa olla vyöhykkeitä tai kaistoja, jossa vaadittu pistetiheys 20 pistettä neliometrillä nadiirissa ei täyty. Lentolinjat tulee sijoittaa koordinaatistoon vähintään kolmella GNSS-tukiasemalla tai aktiivisilla E2-luokan tukiasemilla, jotka sulkevat mallinnettavan alueen sisäänsä. (Liikennevirasto 2017b, 21–22.)

Ajoneuvokeilauksessa kohteen kaikki ajokaistat, risteävät tiet, rampit ja jalankulku- ja pyörätiet keilataan. Ajonopeus keilatessa saa olla enintään 80 kilometriä tunnissa. Tuotettu data käännetään oikeaan koordinaatistoon käyttäen vähintään kolmea GNSS-tukiasemaa, jotka sulkevat mallinnettavan alueen sisäänsä. Tukiasemina voidaan käyttää joko hankkeen mittausperustan pisteitä, valtakunnallisia E1-E3-luokan EUREF-FIN-pisteitä tai pysyviä E2-luokan tukiasemia. Keilattavalle kohteelle mitataan takymetrillä noin 200 metrin välein maalimerkit sekä

tasosijainniltaan yksiselitteisiä kohteita, joilla voidaan varmistaa datan tarkka sijoitus koordinaatistoon. Takymetrimittauksen lähtökorkeus tulee ottaa korkeuskiintopisteeltä tai vaaitulta mittausperustan pisteeltä. (Liikennevirasto 2017b, 22.)

Maalaserkeilaimella voidaan kartoittaa pieniä maastomallikohteita, esimerkiksi eritasoliittymät. Keilauksen orientointi tehdään vapaan asemapisteen menetelmällä tai suuntahavainnolla tunnettuihin naapuripisteisiin, kun keilain on pystytetty kiintopisteelle. (Liikennevirasto 2017b, 22.)

Erilaisilla mittaustavoilla tuotetut aineistot yhdistetään ja niistä muodostetaan loogisesti eheä ja laatutavoitteet täyttävä aineisto. Työvaiheen aikana suoritetaan maanpinnan hajapisteiden määrittäminen, jolla tarkoitetaan varsinkin laserkeilausta käytettäessä lähtödatan harventamista. Sopivalla lähtödatan harventamisella tarkoitetaan järkevän pistetiheyden saavuttamista maanpinnan topografian mukaan. Tyypillisesti pistetiheyttä harvennetaan niin että pisteiden etäisyys on 3-5 metriä ja enintään pisteväli saa olla 10 metriä. (Liikennevirasto 2017b.)

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyön aiheen valinta oli itselleni melko helppoa, koska aihe kiinnostaa kovasti ja ennen kaikkea koneohjauksen ja laserkeilauksen käyttäminen infratyömailla kasvaa vuosi vuodelta. Työtä tehdessä yllätyin tarvittavien ohjeistuksien ja vaadittavien toleranssien määrästä aivan suunnittelun alkamisesta työn valmistamiseen saakka. Opinnäytetyön edetessä ohjeistuksien ja vaatimuksien tarpeellisuus selkeytyi varsin hyvin ja ne oppi yhdistämään suunnittelun ja rakentamisen eri vaiheisiin.

Koneohjaukseen liittyvän aineiston löytäminen sinänsä on haastavaa, sillä tarvittavaa tietoa löytyy vähän ja se on pienissä osissa. Tiedon löytämiseksi piti hyödyntää kaikkia mahdollisia tiedonlähteitä ja yhdistellä ne kirjoitusvaiheessa. Työn toteuttaminen olikin näin ollen helpointa toteuttaa otsikko kerrallaan aina, kun lähtöaineistoa oli riittävästi. Tiedon löytäminen luotettavasta lähteestä ei sinänsä ollut ongelmana, koska tarvittava tieto löytyi yleensä ylläpitäjän, valmistajan tai virallisen organisaation sivuilta.

Kokonaisuutenaan opinnäytetyö tarjoaa lukijalle monipuolisesti tietoa koneohjauksen paikannus menetelmistä ja ohjeistuksista aina lopputuloksen laadun varmistukseen.

## LÄHTEET

BuildingSMART Finland 2015. InfraBIM-nimikkeistö (suunnittelu-, mittaus- ja tietomallinimikkeistö). Viitattu 6.3.2018 [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/InfraBIM\\_nimikkeisto\\_v1\\_6.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/InfraBIM_nimikkeisto_v1_6.pdf).

Geotrim 2018. Trimnet. Ratkaisut satelliittiteknologian hyödyntämiseen. Viitattu 13.3.2018 <http://www.geotrim.fi/palvelut/trimnet-vrs>.

Heikkilä, E. 2013. Dynaamisen ohjausmenetelmän kehittäminen rautatien tietomallipohjaiseen maanrakennustyöhön. Oulun yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.

InfraRYL 2017. Päälyys- ja pintarakenteet. Viro: Meedia Zone OÜ.

Insidegnss 2017. Future Space Service of NavIC (IRNSS) Constellation. Viitattu 11.4.2018 <http://www.insidegnss.com/auto/julyaug17-IRNSS.pdf>.

Jaakkola, M. 2015. Osa 12 Inframallin hyödyntäminen suunnittelun eri vaiheissa ja rakentamisessa. BuildingSmart Finland. Viitattu 13.4.2018 [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2017/07/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_Osa12.1\\_Maarakentamisen\\_mallipohjainen\\_laadunvarmistusmenetelm%C3%A4.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2017/07/YIV2015_Mallinnusohjeet_Osa12.1_Maarakentamisen_mallipohjainen_laadunvarmistusmenetelm%C3%A4.pdf).

JHS-suositukset 2017. JHS 184 Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä. Viitattu 13.3.2018 <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS184/JHS184.html>.

Kilpeläinen, P., Nevala, K., Tukeva, P., Rannanjärvi, L., Näyhä, T. & Parkkila, T. 2004. Älykäs tietyömaa. Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus. Viitattu 9.4.2018 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2255.pdf>.

Kivinen, T. 2016. Tietomallit ja koneohjaus kuntatekniikan rakentamisessa. Aalto-yliopisto. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka. Diplomityö.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Viitattu 5.4.2018 <http://www.ramk.fi/loader.aspx?id=7fe99c68-3849-4fa8-a563-9327cf51ea79>.

Leica Geosystems. Yleiskatsaus eri menetelmiin. Viitattu 14.3.2018  
<https://www.tampere.fi/ytoteto/kaupunkimittaus/maastotietopalvelu/ikaalinen09/wikman>.

Leica SmartNet 2018. Leica HxGN SmartNet. Viitattu 8.3.2018  
<https://hxgnsmartnet.com/fi-fi>.

Liikennevirasto 2017a. Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. Viitattu 22.3.2018  
[https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo\\_2017-12\\_tie\\_ratahankkeiden\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-12_tie_ratahankkeiden_web.pdf).

– 2017b. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot. Mittausohje. Viitattu 16.4.2018  
[https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo\\_2017-18\\_maastotiedot\\_mittausohje\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf).

Liukas, J. & Kemppainen, L. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 2 BuildingSmart Finland. Viitattu 19.2.2018 [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA2\\_Yleiset\\_Vaatimukset\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA2_Yleiset_Vaatimukset_V_1_0.pdf).

Maanmittauslaitos 2018a. Yleistä paikannuspalveluista. Viitattu 12.3.2018  
<http://maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/paikannuspalvelu/yleista-paikannuspalveluista>.

– 2018b. Laserkeilausaineisto. Viitattu 20.3.2018 <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto>.

Navipedia 2014a. Galileo Architecture. Viitattu 28.3.2018 [http://www.navipedia.net/index.php/Galileo\\_Architecture](http://www.navipedia.net/index.php/Galileo_Architecture).

– 2014b. BeiDou Space Segment. Viitattu 28.3.2018 [http://www.navipedia.net/index.php/BeiDou\\_Space\\_Segment](http://www.navipedia.net/index.php/BeiDou_Space_Segment).

Navipedia 2016. QZSS System description. Viitattu 29.3.2018 <http://www.navipedia.net/index.php/QZSS>.

Novatron 2018. Mitä on koneohjaus. Viitattu 9.4.2018 <http://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>.

Pekkala, J. 2015. 3D-laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadun varmentaminen. Tampereen teknillinen yliopisto. Liikenne- ja kuljetusjärjestelmien koulutusohjelma. Diplomityö.

Poutanen, M. 2016. Satelliittipaikannus. Tallinna: AS Pajon.

PRE InfraFINBIM Inframodel-ryhmä 2013. Inframodel-käyttöönotto-ohje versio 1.0. Viitattu 6.3.2018 [http://www.rts.fi/infrabim/infrabim\\_uusi/Inframodel3-kayttoohje.pdf](http://www.rts.fi/infrabim/infrabim_uusi/Inframodel3-kayttoohje.pdf).

Snellman, S. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 5. BuildingSmart Finland. Viitattu 19.2.2018 [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA5\\_2\\_Vaylarakenteen\\_toteutusmallin\\_laatimisohe\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA5_2_Vaylarakenteen_toteutusmallin_laatimisohe_V_1_0.pdf).

YSE98. Rakennusurakan yleiset sopimusehdot. Viitattu 5.4.2018 <https://www.urakkamaailma.fi/rakennusurakan-yleiset-sopimusehdot>.