

Toni Ahonen

Tietomallipohjainen koneohjaus infratyömaalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

12.4.2015

Tekijä Otsikko	Toni Ahonen Tietomallipohjainen koneohjaus infratyömaalla
Sivumäärä Aika	48 sivua 12.4.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	lehtori Jussi Laari mittauspäällikkö Jari Ranta
<p>Insinööri työ luo katsauksen infra-alaa parasta aikaa muokkaavaan työkoneautomaatioon sekä niihin ohjeisiin ja pelisääntöihin, joiden pohjalta uusia toimintamalleja ja projektien laadunvarmistusta tällä hetkellä kehitetään. Työ esittelee tietomallipohjaisen suunnittelun periaatteita, koneohjausmallien rakentamista sekä niitä haasteita, joiden kanssa maanrakennusalalla kamppaillaan.</p> <p>Koneohjaus on tässä työssä rajattu käsittelemään ensisijaisesti kaivinkoneissa hyödynnettäviä koneohjausjärjestelmiä sekä niillä saavutettavia hyötyjä ja kustannussäästöjä. Työkoneohjauksella tarkoitetaan koneen paikantamista suunnittelu-ympäristöön, jolloin hankkeen kohdealueen suunnitelmat on mahdollista havainnollistaa kuljettajalle koneen ohjaamoon sijoitetulle näyttöyksikölle. Laitteiston toiminnan ymmärtämiseksi on avattu myös satelliittipaikannuksen periaatteita sekä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien käyttöä. Loppuosalla on esitetty hieman alan taloudellisia näkymiä sekä nostettu esiin erilaisia näkökulmia suhteessa koneohjauksen käyttäjäkuntaan. Lisäksi työssä on jonkin verran otettu kantaa asioihin, joita mielestäni pitäisi jatkossa kehittää ja jotka vaikuttavat oleellisesti koneautomaation hyödyntämiseen lähitulevaisuudessa.</p> <p>Lähtötietoaineisto perustuu kirjallisiin lähteisiin, haastatteluihin, koulutuspäiviin sekä työmaalla hankittuun kokemukseen. Osa työssä esitetyistä näkökulmista ja esimerkeistä on suoraan syksyllä 2014 käynnissä olleelta infratyömaalta poimittuja. Kokonaisuus auttaa hahmottamaan koneohjauksen periaatteita sekä antaa hyvän yhteenvedon infra-alan tämän hetkisestä tilanteesta. Selkeä havainto, joka työtä tehdessä nousi esiin oli, ettei alan toimijoilla useinkaan ole riittävää tietoa tai ammatillista koulutusta niistä perusasioista joita toimivan koneohjauksen kanssa työskennellessä tarvittaisiin. Riittävä koulutus ja yhteistyö eri sidosryhmien välillä ovat ratkaisevassa roolissa alan tulevaisuuden rakentamisessa.</p>	
Avainsanat	koneohjaus, tietomalli, infrarakentaminen

Author Title	Toni Ahonen Machine control on an infrastructure building site
Number of Pages Date	48 pages 12 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Jussi Laari, Senior Lecturer Jari Ranta, Measurement Manager
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to create an overview of both machine control technology, and the instructions and rules on the basis of which new operating models and project quality controls are developed. The thesis introduced the principles of information-based planning and the making of machine control models, and the current challenges of land-surveying.</p> <p>The material for the thesis was gathered from literature, interviews, training days and experience gained on work sites. The thesis focused on machine control systems, or the method by which on-site design plans are illustrated to the excavator operator through the machine control unit of the excavator, and the cost-effectiveness and other benefits obtained through them. In order to better illustrate how the machinery works, the principles of satellite location and the coordinate and height systems, were gathered. Moreover, possible economic development in the field was discussed.</p> <p>It was established that the various machine control user groups did not agree. The thesis created a clear perception of the principles of machine control. Furthermore, it summarized the current situation in the infrastructure industry. In addition, it was established that the actors on the field often lack sufficient to work with machine control technology. The future of the field depends on the sufficient education of the actors and collaboration between stakeholders.</p>	
Keywords	machine control, automation, infrastructure industry

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Työn taustat	2
3	Mitä koneohjauksella tarkoitetaan?	3
3.1	Miten koneohjausjärjestelmä toimii?	4
3.2	Takymetrin toiminta	5
3.3	Koneyksikkö satelliittipohjaisessa 3D-järjestelmässä	6
3.4	Koneohjauksen hyödyt ja kustannukset	7
4	Toimivan tietomallin edellytykset	8
4.1	Havainnollistaminen	11
4.2	Yleiset inframallivaatimukset 2014	14
4.3	Laadunvarmistus	15
4.4	Tietomallintamalla saavutettavat edut	16
5	Infra-alalla sovellettavat ohjeistukset ja toimintatavat	17
5.1	InfraRYL	17
5.2	InfraBIM	18
5.3	InfraModel 3	19
6	Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät	21
7	Satelliittipaikannus koneohjausjärjestelmässä	23
7.1	Satelliittipaikannuksen periaatteet	24
7.2	SA – signaalin tahallinen häirintä	25
7.3	RTK-mittaus	26
7.4	Työkoneohjauksen oma tukiasema	27
8	Koneohjausmalli työmaalla	28
8.1	Suunnittelijan rooli	29
8.2	Mallin tarkastaminen ja käyttöönotto	30
8.3	Tarkkuuden seuranta ja dokumentointi	32
8.4	Koneautomaatiojärjestelmistä	33
9	InfraKit	36
9.1	Rakennuttajan ja urakoitsijan työkalut	37

9.2	Suunnittelijan ja tilaajan työkalut	38
10	Vertailua koneohjauksen ja perinteisen menetelmän välillä	38
10.1	Työkoneen kuljettajan näkökulma	39
10.2	Mittamiehen näkökulma	40
10.3	Urakoitsijan ja tilaajan näkökulma	41
11	Infrarakentamisen talousnäkökulmat	42
12	Yhteenveto	45
13	Pohdintaa	46
	Lähteet	47

Lyhenteet ja käsitteet

formaatti	Tiedon esitys- ja tallennusmuoto määriteltyjen tiedostorakenteiden mukaan.
InfraBIM	(engl. Infra Building Information Model) Infratietomalli, kuvaa infrakohteen tuotemallia
infrarakentaminen	Yhteiskunnan yhteisten toimintojen perusrakenteiden rakentamista. Voidaan käyttää myös termiä ympäristörakentaminen tai maa- ja vesirakentaminen. Infrakohteita ovat esimerkiksi liikenne-, tietoliikenne-, energia- ja vesihuoltoverkot.
InfraRYL	Kokoelma infrarakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista joka koostuu kahdesta osasta: toimivuusvaatimuksista ja teknisistä vaatimuksista.
InfraModel	Suomessa avoimeen tiedonsiirtoon kehitetty infra-alan tietomallivaatimukset täyttävä formaatti.
kolmiointi	Suunnitteluaineiston käsittelyä, jossa pistepilvestä muodostetaan määriteltyjä kolmiomaisia tasopintoja.
koordinaattijärjestelmä	Parametrein määritelty koordinaatisto, johon voidaan sitoa esimerkiksi maastomittaukset.
LandXML	XML-formaattiin sidottu infran suunnittelutiedon siirtoon kehitetty standardijärjestelmä.
maastomalli	Maanpinnan kuvantamista, jossa voidaan mallintaa korkeuserojen lisäksi maanpäällisiä rakenteita kuten rakennuksia ja kasvillisuutta.
pintamalli	Kolmioitu yhtenäinen pinta esimerkiksi tietystä rakennekerroksesta.

tietomalli	Esimerkiksi infrahankkeen tai rakennusprosessin elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuus digitaalisessa muodossa.
tuotemalli	Tietomallin osa, joka kuvaa tietyn mallin osakokonaisuuden, kuten tierakenteen tietoja.
XML-formaatti	(engl. Extensible Markup Language) Tekstimuotoinen elementeistä koostuva merkintäkieli, jolla voidaan lisätä ns. attribuuttitietoa kuvattavan tiedon joukkoon.

1 Johdanto

Suomessa toteutettiin vuosina 2010–2014 niin sanottu PRE-ohjelma (Built Environment Process Re-engineering), johon osallistui useita yrityksiä ja tutkimuslaitoksia. Tutkimustyön tarkoituksena oli keskittyä uusien kiinteistö-, infra- ja rakennusalan toimijoiden yhteisten tietomallipohjaisten toimintatapojen ja liiketoimintamallien kehittämiseen. Kehitystyöstä seurasi pyrkimys yhtenäiseen tietomallintamisen käyttöönottoon kaikkien Suomen infratoimijoiden keskuudessa. Tätä varten kehitettiin kaikille avoin InfraModel-tiedonsiirtoformaatti, jonka oli tarkoitus täyttää yhteisesti sovittavat infra-alan tietomallivaatimukset. [1.]

Suomalainen suunnittelukulttuuri on kymmenen viime vuoden aikana edennyt suurin harppauksin. Tekniikan kehittyessä detaljisuunnittelun tarkkuusvaatimukset kasvavat ja mallien yksityiskohtainen toteuttaminen lisääntyy. Uusien tietomallivaatimusten voimaan tullessa suunnittelijoilta edellytetään laadukkaampaa ja visuaalisempaa aineistoa, joka asettaa haasteita myös työntekijöiden ammattitaidon riittävyyden suhteen. Tietomallipohjaisen suunnittelun on kuitenkin ajateltu parantavan rakentamisen laatua ja kustannustehokkuutta ja vastaavan näin nykyajan rakentamisen kasvaviin haasteisiin. [2.]

Satelliittipaikannuksen kehittyminen ja laitevalmistajien lisääntyminen ovat mahdollistamassa entistä tarkemman ja kustannustehokkaamman koneohjauksen käyttöä työmailla. Tässä insinööriyössä on tarkoitus keskittyä tietomallipohjaisen kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän periaatteiden esittelyyn ja esittää niitä haasteita, joita uuden työskentelytavan läpimurto maanrakennustyömaalla tuo mukanaan.

Työn alkupuolella selvennetään hieman koneohjausta käsitteenä sekä esitellään suunnitteluperiaatteet, joihin rakennettavissa malleissa tulisi tukeutua. Mukana on tuoretta tietoa muun muassa vuoden 2015 aikana käyttöön otettavista inframallivaatimuksista sekä InfraFINBIM-hankeen edistymisestä. Lisäksi on tarpeen avata satelliittipaikannuksen käsitettä sekä sen toimintaperiaatteita koneohjatun kaivinkoneen kannalta. Jäljempänä työssä pureudutaan työmaatoiminnan haasteisiin ja esitellään työkentällä käytettäviä järjestelmiä. Samalla pohditaan uuden työmenetelmän eroja suhteessa perinteiseen inframittaukseen, jossa mittaukset suoritetaan jalkaisin maastonmerkinnällä. Loppuyhteenvetona pohditaan koneohjausjärjestelmän käytön aikaansaamia haasteita

ja mahdollisia ratkaisuja sekä sitä, missä laajuudessa järjestelmän käyttö on kannattavaa suhteessa työmaan kokoluokkaan.

2 Työn taustat

Ajankohtainen infra-alan murroskausi herättää hankkeiden osapuolien kesken keskustelua ja kysymyksiä joihin kaivattaisiin yhteisiä näkemyksiä ja vastauksia. Visiona oli, että vuonna 2014 suuret infran haltijat tilaavat ainoastaan tietomallipohjaista palvelua [6]. Käytännössä, kuten syyskuun InfraKit-päivässäkin nousi esille, alan toimijoiden keskuudessa on esiintynyt epäselvyyttä uusien ohjeistusten ja suunnittelustandardien noudattamisesta sekä työmaatoimintojen järjestämisestä. Vastuukysymykset ovat nousseet tapetille, kun suunnittelijoiden vastuu mallien oikeellisuudesta on joutunut puntariin. Työkentältä on jo useampaan otteeseen tullut viestiä, että käytäntöjä ja pelisääntöjä pitäisi saada yhtenäistettyä ja koneohjausjärjestelmien koulutusta ja käyttöön-ottoa pitäisi kehittää. [2.]

Työntantajani Tripa Oy:n toimitusjohtaja Olli Suni kehotti minua syksyllä 2014 perehtymään koneohjaukseen, koska alalta puuttuu käytännön tason kokemusta ja osaamista. Monet asenteet ja ennakkoluulot vaikeuttavat koneohjaukseen siirtymistä, eikä työmail- la tunnu olevan tarkkaa käsitystä niistä vaatimuksista, joita tietomallipohjaisen suunnit- telun käyttöönotto laajassa mittakaavassa edellyttää. Yhteisenä tarkoituksena oli tehdä yhteenveto koneohjatun työmaan erilaisista työvaiheista, esitellä järjestelmän toiminta- periaatteita sekä nostaa tietoisuuteen niitä haasteita, joiden kanssa työmaalla paini- taan. Lisäksi olen pyrkinyt tuomaan esiin niitä periaatteita, joiden pohjalta alan yhteisiä toimintamalleja parhaillaan rakennetaan.

Työssä jäljempänä esitelty työmaamateriaali ja koneohjausjärjestelmät ovat pääosin peräisin YIT:n Kehä 3:lla parasta aikaa meneillään olevalta työmaalta. Projekti rajoittuu karkeasti Porvoontieltä Vantaan Ikean kohdalle. Työmaalla on käytössä neljä koneoh- jauksella toimivaa kaivinkonetta, joissa kaikissa on käytössä eri ohjelmistovalmistajan laitteistot. Mallit tulevat ulkopuoliselta suunnittelutoimistolta, mutta niiden toimivuuden tarkistukset ja synkronointi kaivinkoneisiin tehdään työmaalla paikan päällä. Työmaa- han minua perehdyttämässä oli Jari Ranta Tripa Oy:sta.

3 Mitä koneohjauksella tarkoitetaan?

Yksinkertaisimmillaan koneohjausjärjestelmä sisältää vain laserin ja konevastaanottimen. Vastaanotin asennetaan joko koneen kauhaan tai terään, riippuen ohjattavasta koneesta, jolloin laserin lähettämä säde voidaan havaita koneen ohjaamoon. Osoittimet näyttävät kuljettajalle, mihin suuntaan kauhaa tai terää tulisi liikuttaa suunnitellun korkeustiedon mukaan. Järjestelmässä koneen kuljettaja tekee manuaalisesti ohjaukseen tarvittavat toimenpiteet. Varsinainen koneohjaus käsittää automaattisen korkeuden- ja kallistuksenhallinnan järjestelmään asennettujen sensoreiden avulla. Järjestelmiä voidaan käyttää esimerkiksi puskukoneissa, tiehöylissä sekä kaivinkoneissa. [3.]

3D-koneohjatussa kaivinkoneessa järjestelmän perustoimintaperiaatteena on koneen ohjaamoon näytölle ladattava suunnittelijalta saatu kolmioitu malli, jonka mukaan kuljettaja voi kaivaa suunnitellut rakennekerrokset. Koneen ohjaamisesta ja toiminnoista vastaa siis edelleen ihminen. Kuvassa 1 on esitetty kahdella GNSS-satelliittivastaanottimella varustettu kaivinkone, jossa koneen sensorit välittävät näytölle tietoa kauhan asennosta ja sijainnista suhteessa malliin. Tällöin kuljettaja kykenee kaivamaan pinnan suunnitelman mukaisella korolla ja kallistuksilla. Koneen sensoreiden sijainti määritellään satelliittipaikannusta tai takymetriohjausta apuna käyttäen. [3.]

Tietomallipohjainen koneohjaus perustuu työkoneen sijainnin paikkatiedon sekä virtuaalisesti luodun maastomallin yhdistämiseen. Huolimatta muidenkin järjestelmien kiistattomista hyödyistä, esimerkiksi tiehöylällä saavutettavien materiaalisäästöjen kannalta, tässä työssä pitäydytään kaivinkoneisiin asennettavien järjestelmien tarkastelussa. Kaivinkoneissa tietomallien hyödyntäminen eroaa selvästi muista järjestelmistä, ja sillä on saavutettavissa monipuolista hyötyä työmaan eri osa-alueilla. [4, s.14, 21.]



Kuva 1. GNSS-satelliittivastaanottimet sijoitetaan yleensä koneen takaosaan kuvan osoittamalla tavalla. Koneen järjestelmä laskee kauhan sijainnin vastaanottimien ilmoittamasta paikkatiedosta. Jokainen työkonessa käytettävä kauha on kalibroitava erikseen, jotta ohjelma osaa laskea sijaintitiedon oikein. [28.]

3.1 Miten koneohjausjärjestelmä toimii?

Käytännössä kolmiulotteisessa koneautomaatiossa toimintaperiaatteita on kaksi. Kai-vinkoneen kauhan sijainti saadaan selville joko koneen runkoon sijoitettujen GNSS-antennien tai takymetrin prisman sekä tarvittavien sensoreiden avulla. GNSS-RTK-mittauksessa työmaalle perustetaan yleensä oma satelliittitukiasema, joka lähettää koneelle korjattua sijaintietoa paikannussatelliiteista laskettuna. Jäljempänä työssä esitellään tarkemmin satelliittimittauksen periaatteita.

Työkoneen paikannus takymetrillä perustuu mitattuun vaakasuuntaan, korkeuskulmaan ja vinoetäisyyteen tunnetulta asemapisteeltä työkoneseen asennettuun prismaan. Tällöin takymetri laskee asemapisteen ja prisman väliset koordinaattierot työkonen paikallistamiseksi. Satelliittipohjainen paikannus puolestaan käyttää hyväkseen menetelmää, jossa liikkuvan työkonen sijainti määritetään suhteessa yhteen tai tarvittaessa useampaan kiinteään tukiasemaan. Tällöin koneeseen asennetut kulma-, pituus- ja kallistusanturit laskevat koneen asentoa vastaanottimesta saadun paikkatiedon perusteella [19].

Takymetrimittauksella saavutettava tarkkuus työkoneohjauksessa on luokkaa +/- 2 mm + 2 ppm, jossa 2 ppm tarkoittaa 2 millimetriä kilometrin matkalla. Toimintaetäisyys on maasto-olosuhteista riippuen 2–300 metriä. RTK mittauksella ei päästä vielä aivan yhtä suuriin tarkkuuksiin, horisontaalinen tarkkuus on nykyisellään luokkaa +/- 10 mm + 1 ppm ja vertikaalinen +/- 15 mm + 1 ppm. Toisaalta toimintaetäisyys verrattuna takymetrimittaukseen on huomattavasti suurempi, maasto-olosuhteista riippuen 10–8 000 m tukiasemasta laskettuna. Edellä esitetyt tarkkuudet ovat kuitenkin absoluuttisia mittaus-tarkkuuksia, ne eivät pidä sisällään esimerkiksi koordinaatistosta ja muista antureista aiheutuvia virhelähteitä. [19.]

3.2 Takymetrin toiminta

Takymetrimittaukseen itsessään tässä työssä ei ole tarkoitus perehtyä, mutta selvyyden vuoksi mainittakoon yleiset toimintaperiaatteet. Koordinaatteja laskettaessa takymetri voidaan sijoittaa tunnetulle asemapistelle, jonka x-, y- ja tarvittaessa z-koordinaatti ovat tiedossa. Toinen vaihtoehto on niin kutsuttu vapaa asemapiste, jolloin kojeen sijainti määritetään orientoimalla vähintään kahteen tunnettuun pisteeseen, jotka eivät sijaitse suorassa linjassa toisiinsa ja takymetriin nähden. Tällöin koje laskee oman sijaintinsa kulma- ja etäisyyshavaintojen perusteella.

Takymetrissä on optinen pysty- ja vaakakehä, joiden perusteella koje määrittää tarvittavan pysty- ja vaakakiertymän. Kohteen etäisyysmittaus puolestaan perustuu vaiheeroon eli lähtevän aallon vaiheeseen sillä hetkellä, kun lähetetty valo saapuu laitteeseen takaisin. Mitattaessa takymetri lähettää säteen, joka heijastuu takaisin työkoneessa olevasta prismasta. Kohteen x- ja y-koordinaatit saadaan kojeen vaakakiertymän ja etäisyysmittauksen perusteella, korkeuden eli z-koordinaatin laite sen sijaan laskee pystykiertymän ja prisman tiedossa olevan korkeuden avulla. Takymetri seuraa prismaa automaattisesti ja mittaa sen sijaintia yleensä noin yhden sekunnin välein. [19.]

Yleisimpiä virhelähteitä ovat kojeen kalibrointivirheet, orientoinnissa syntyneet virheet, etäisyysmittausvirheet sekä prisman käytöstä johtuvat virheet kuten prisman korkeuden määrittäminen tai sauvan/jalustan kallistuminen. Myös sade tai sumu voi estää mittaamisen tai aiheuttaa tuloksiin häiriötä. Lämpötilasta tai ilmanpaineiden vaihteluista johtuvat virheet ovat usein hyvin pieniä [16].

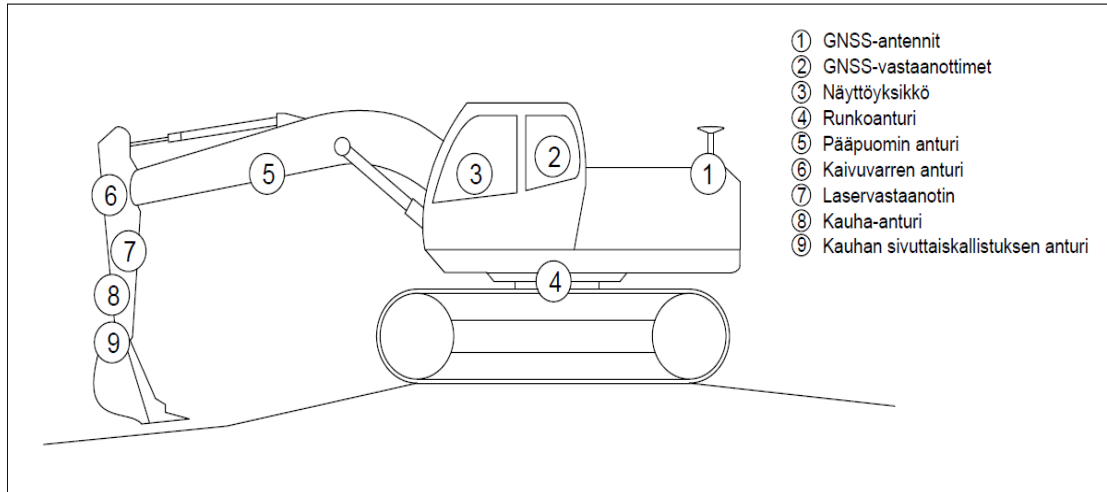
3.3 Koneyksikkö satelliittipohjaisessa 3D-järjestelmässä

Työkonevastaanottimen tarvitsema malli siirretään kaivinkoneen ohjausjärjestelmään joko langattomasti tai muistitikujen ja -korttien avulla. Kuva 2 havainnollistaa näky-
mää, joka koneen kuljettajalla on näytöllään työkoneessa. Kuvakaappaus on Novatronin 3D-koneohjausjärjestelmästä, jossa ylempi osa näytöstä osoittaa koneen sijainnin suhteessa malliin, alempi taas kauhan eromitat suunnitellusta tasosta. Vaikka laitteistontarjoajat mainostavat mielellään langattoman tiedonsiirron mahdollisuutta, käytännössä on havaittu, että fyysinen mallin toimittaminen koneelle on työn onnistumisen ja kaivinkoneen kuljettajan ohjeistamisen kannalta varsin suotavaa, mikäli välimatkat työmaalla eivät ole pitkiä. Tällöin saadaan välitettyä paremmin myös tarvittavaa informaatiota ja varmistettua kuljettajan kanssa mallin käyttöönotto [7].



Kuva 2. Esimerkki kaivinkoneen kuljettajalle näkyvästä näyttöpäätteestä, malli on Novatronin Xsite PRO. Ylemmässä kuvassa näkyy kaivinkoneen sijainti suhteessa suunnitelma-aineistoon, alapuolella on ruudut kauhan sijainnin hahmottamiseksi. Lukuarvon näytön alalaidassa osoittavat etäisyyden suunniteltuun tasoon nähden. [28.]

Samalla kun satelliittiantennit vastaanottavat dataa tukiasemalta ja satelliiteista, koneen runkoon sijoitetut anturit laskevat koneen pyörimisakselin ja puomien liikeratoja kauhan sijainnin määrittämiseksi vaaditulla tavalla (kuva 3). Asennustyö on tarkkaa ja vaatii yleensä järjestelmän valmistajan puolelta teknisen asentajan, joka syöttää koneen ohjausyksikköön tarvittavat mitat koneen rungosta [7].



Kuva 3. Kaivinkoneen 3D-koneohjausjärjestelmä koostuu kauhan, puomiston ja rungon antureiden lisäksi näyttö- ja tietokonelaitteistosta sekä satelliittipaikantimista. Kuvassa on esitetty Novatronin järjestelmälle tyypillinen rakenne.

3.4 Koneohjauksen hyödyt ja kustannukset

Kaivinkoneella toteutettavissa yksittäisissä työvaiheissa työteho voi kasvaa jopa kymmeniä prosenteja vanhoihin menetelmiin verrattuna. Materiaalihukan pieneneminen ja työtehon kasvu nopeuttavat urakan läpimenoaikaa sekä kustannusten ennustettavuutta, mikä korostuu erityisesti työympäristössä, jossa perinteinen tikuilla maastoon merkitseminen on haastavaa tai jopa mahdotonta, kuten vedenalaisissa kaivutöissä [4, s. 21]. Sen lisäksi että työn tarkkuus paranee, töitä voidaan tehdä myös olosuhteista riippumatta kuten yöllä tai kovassa sumussa. Samaan aikaan työturvallisuus paranee oleellisesti, kun koneen välittömässä läheisyydessä ei tarvita apumiestä osoittamaan korkoja kuljettajalle. Myös mittamiehen rooli työmaalla muuttuu, kun työn pääpaino siirtyy maastonmerkinnästä työkoneen mallien rakentamiseen sekä tarkkeiden mittaamiseen ja käsittelyyn [5;7;8].

Tietomallipohjainen koneohjaus asettaa lähtötiedoille ja suunnitelmamalleille lisää vaatimuksia verrattuna perinteisiin paperisiin työmaakuviin. Tämä osaltaan siirtää hankkeen kustannusten jakautumista projektin alkupään suunnitteluvaiheeseen ja asettaa suunnittelijalle lisää vastuuta. [4, s. 22]. Toisaalta koneohjausjärjestelmät ovat hankintavaiheessa melko kalliita, lisäksi ohjelmistojen erilaiset lisenssimaksut ja laitteiston kalibrointi- ja huoltokulut nostavat kustannuksia. Pienten toimijoiden haasteena voikin

olla laitteistosta syntyvien kulujen kattaminen. Tulevaisuudessa järjestelmällä on kuitenkin saavutettavissa selkeä kilpailuetu muihin kaivinkoneisiin verrattuna. [6.]

Selkeitä työkoneautomaatiolla saavutettavia hyötyjä ovat työtehon kasvu, kun olosuhteet ja puutteelliset mittaustiedot eivät hidasta maastoon merkintää, materiaalihukan väheneminen, tarkemittausten väheneminen sekä työvaiheiden suunnittelun painopisteen muuttuminen, joka vapauttaa työnjohdon resursseja työnsuunnitteluun ja ennakointiin. Näin ollen päästään siis laadukkaampaan lopputulokseen samalla kun työmaan läpimenoaika lyhenee. [19.]

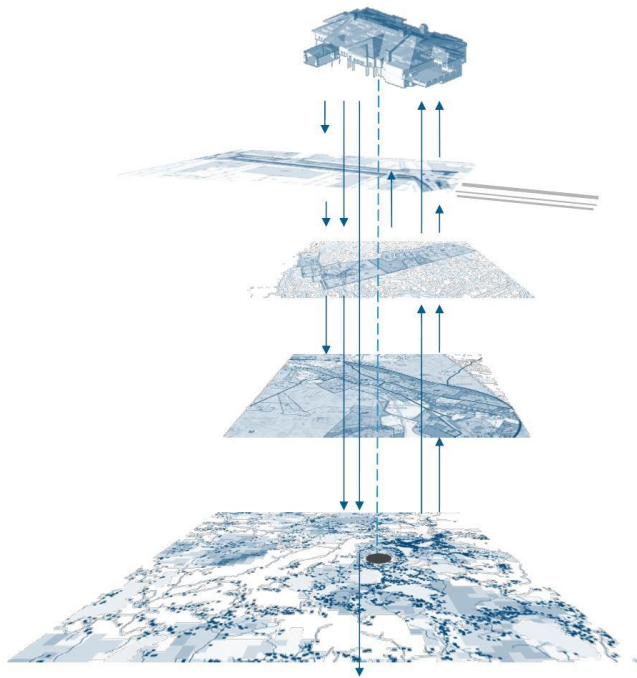
Yhtenä haasteena voidaan pitää perinteisten roolien muuttumista työmaalla. Tämä voi aiheuttaa asenneongelmia vanhemmissa työntekijöissä. Samalla työnjohdon valvonta vaikeutuu, kun maastossa ei enää ole perinteisiä mittatikkuja. Ongelma on ratkaistavissa esimerkiksi työnjohdon omalla paikantimella, jossa näkyisi suunniteltu mallikuva taustalla. Koneohjausmallin virheettömyys edellyttää toimivaa yhteistyötä suunnittelijan kanssa. Projektin huolellinen aikatauluttaminen ja aineistojen valmistuminen ajallaan mahdollistavat sen, että järjestelmästä saadaan mahdollisimman hyvin kaikki hyöty irti. Lisäksi henkilöstön riittävään koulutukseen tulisi kiinnittää huomiota. Laitteistojen käyttöönotto pitäisi saada mahdollisimman helpoksi, jotta laiteteknologian käyttö ja ongelmien ratkaisu eivät hidastaisi työn suorittamista. Toimiva tekninen tuki on tässä kohtaa avainasemassa. [19].

4 Toimivan tietomallin edellytykset

Tietomallipohjaisesta suunnittelusta puhuttaessa on syytä avata tietomallin käsitettä sekä siihen liittyviä kysymyksiä. Lyhyesti sanottuna tietomallinnuksen tavoitteena on suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestävä kehityksen mukaisen hanke- ja elinkaari-prosessin kehittäminen ja parantaminen. Tietomalleja on tarkoitus hyödyntää koko infra-kohteen elinkaaren ajan, alkaen suunnittelusta ja lähtötietojen keräämisestä aina rakentamisvaiheen jälkeiseen käyttöön ja ylläpitoon asti. [10, s. 3.]

Kuten kuvassa 4 on havainnollistettu, tietomalli koostuu erilaisista tasoista, jotka yhteen liitettynä luovat toimivan kokonaisuuden. Elementit voivat pitää sisällään esimerkiksi kaavoituksen ja aluerakentamisen suunnitelmia, joissa kuvataan paikallista topologiaa,

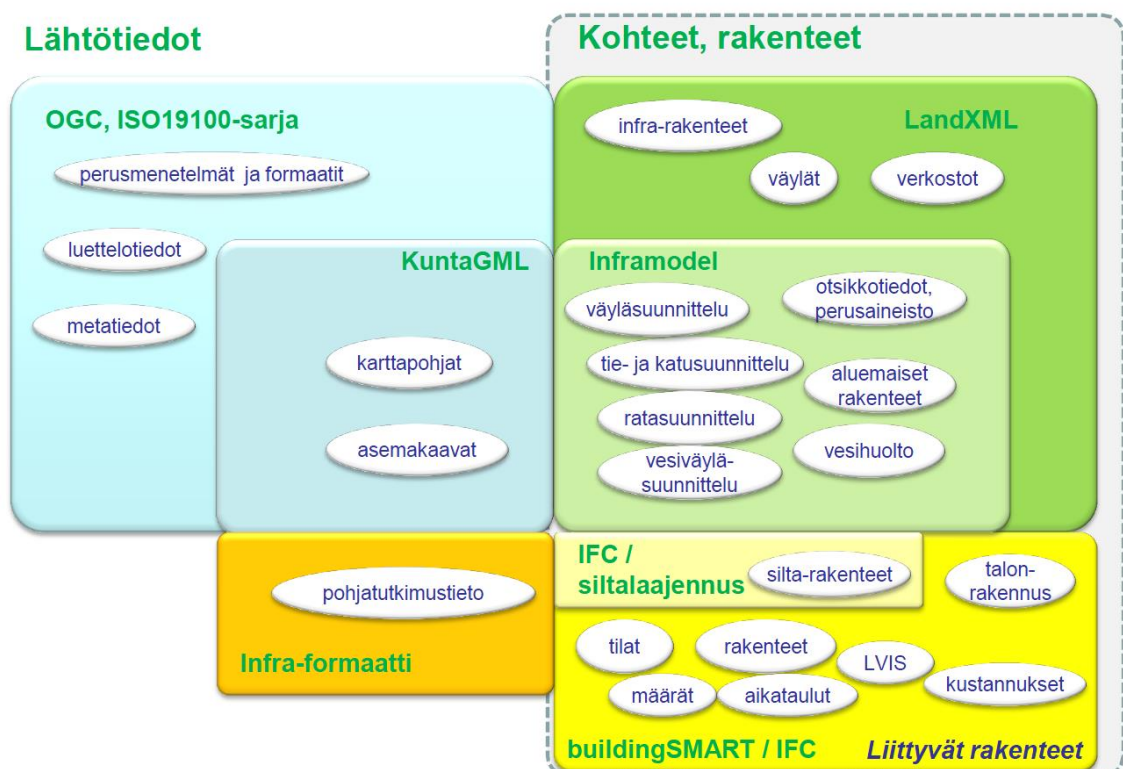
kuten korkeuskäyriä, sekä alueiden rakennuskantaa ja kasvillisuutta. Seuraava taso voi muodostua väylistä ja kunnallistekniikasta eli katu- tai ratageometriasta, liikenteen ohjauksesta, valaistuksesta, maisemoinnista ja niin edelleen. Lopulta päästään yksittäisiin rakennuksiin, seinien ja ovien sekä ulkopuolisten rakenteiden tietoihin sekä aina yksittäisiin kalusteasennuksiin asti. Kokonaisuuden laajuus määräytyy sen mukaan, kuinka tarkkoja suunnitelmatasoja siihen liitetään. Lisäksi siihen voidaan sisällyttää ylläpitoaineistoa sekä käytönaikaisia kunnostustöitä. Näin ollen voidaankin sanoa, että toimiva tietomalli ei tule koskaan valmiiksi, vaan se elää kohteensa mukana. [12.]



Kuva 4. Tietomalli koostuu useista elementeistä. Pohjalla on taustakartta, joka perustuu kerättyyn lähtötietoaineistoon. Sen päälle lisätään suunnitelmia tasoittain, jolloin päästään aina yksityiskohtaisempaan tietoon käyttötarpeen mukaan. Lopulta ollaan mallissa, josta saadaan esiin tietoa maastonmuodoista aina valmiiden rakennusten ovenkahvoihin asti. [12.]

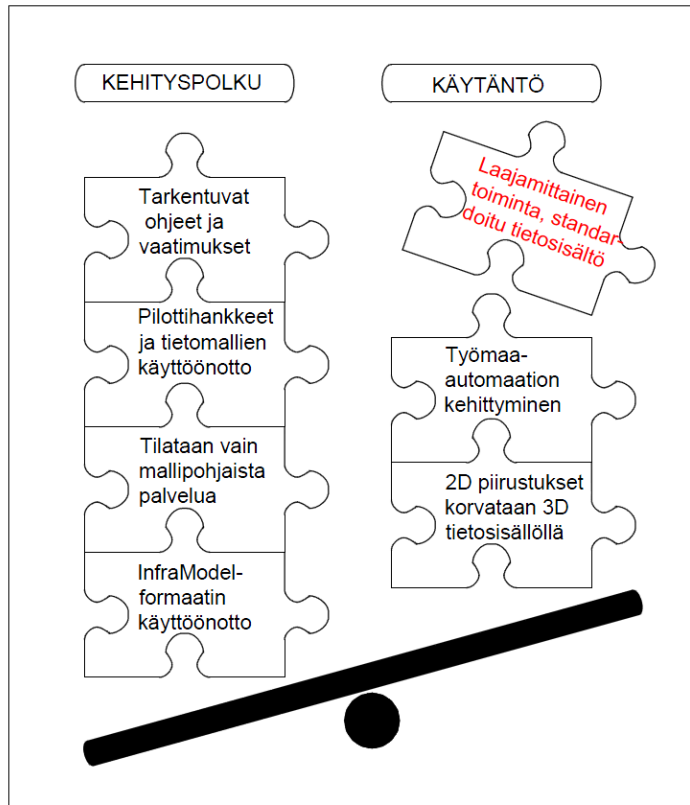
Tämän hetken suunnitelmien ja rakennemallien ohjelmisto- ja formaattitarjonta on kirjavaa, eivätkä eri kaupallisten sovellusten tarjoamat tietojärjestelmät kommunikoi keskenään. Suunnitteluasteen suurimpia haasteita olisikin päästä yhtenäiseen tiedonsiirtoformaattiin, joka mahdollistaisi mallien sujuvan yhteensovittamisen. Kuva 5 antaa suuntaa siitä lähtötietoaineistojen kirjavuudesta, joka tietomallien muodostumisen takana usein on. Tässä työssä keskitytään kuitenkin lähinnä infra-hankkeiden suunnittelupohjaksi tarkoitettuun avoimeen LandXML:ään sekä siitä kehitettyyn Inframodel-formaattiin. [13.]

Kuvassa 6 on havainnollistettu kehitystyön vaikutuksia tietomallien käyttöönottamiseksi. Käytännössä kokonaisvaltaiseen tietomallien käyttöönottoon ei päästä ennen kuin suuret infranhaltijat tilaavat vain mallipohjaista palvelua. Koska suunnitelmien tarjoajilla on eriasteisia valmiuksia ja kokemusta tietomalleista ja niihin liittyvistä tuotesovelluksista, toimivan koneohjausaineiston saaminen riippuu suurelta osin tilaajan roolista. Malleja on osattava vaatia, ja niihin liittyvä toimintaympäristö tulee ymmärtää, jotta suunnittelijat tuottavat sitä, mitä toivotaan. [13.]



Kuva 5. Lähtötietoaineisto muodostuu usein monien tekijöiden kokonaisuudesta. Maaperätutkimukset, ilmakuvaukset, laserkeilausaineistot ynnä muut ovat tärkeää tietoa, joka on kuitenkin usein haastavaa sovittaa yhteen. Erilaisten formaattien kirjo hankaloittaa huomattavasti suunnitelma-aineistojen tehokasta toteuttamista. [29.]

Peruslähtökohtana tietomallin rakentamiselle ja sen olemassa olevaan rakennuskantaan sitomiselle on riittävän tarkkojen lähtötietojen kerääminen. Ilmakuvausten ja viime vuosina laserkeilauksen yleistymisen ovat mahdollistaneet suurempienkin pistepilviaineistojen keräämisen kustannustehokkaammin. Lisäksi autoihin ja muihin ajoneuvoihin rakennettavat laserkeilausjärjestelmät ovat viime vuosina parantaneet lähtötietoaineiston tarkkuutta merkittävästi. Tällöin voidaan isollakin alueella päästä muutaman sentin mittaustarkkuuksiin. [4, s. 22–23.]



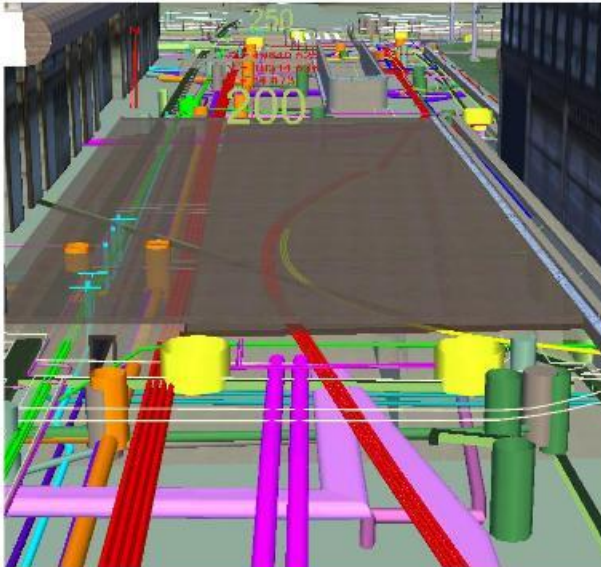
Kuva 6. Tietomallintamisen kehityspolku. Valmiudet toimivien ja tehokkaiden tietomallien tuottamiseksi ovat jo olemassa, lisäksi yhteisten ohjeistusten luominen on jo varsin pitkällä. Käytännössä laajamittaiseen tietomallipohjaiseen suunnitteluun ei kuitenkaan päästä ennen kuin suuret infranhaltijat tilaavat ainoastaan mallipohjaista suunnittelua.

4.1 Havainnollistaminen

Yksi tietomallintamisen peruskäyttötarkoituksista on havainnollistaminen, jota hyödynnetään erityisesti hankesuunnittelun aikana. Erilaiset tekniikat suunnitelmien esittämiseksi kehittyvät jatkuvasti, ja tietotekniikan ja laitteistosovellusten lisääntyessä myös mallien hyödyntämisen mahdollisuudet kasvavat. Kolmiulotteisia mallipohjia voidaan jo simuloida esimerkiksi studioympäristöön, jossa on mahdollista päästä kävelemään rakennetun tietomallin sisään. Useimmiten havainnollistamista voidaan käyttää erilaisten ratkaisuvaihtoehtojen analysointiin ja vertailuun, ja se voidaan jakaa kahteen osaan: tekniseen ja esittävään muotoon. [11.]

Teknisellä havainnollistamisella (kuva 7) voidaan visuaalisesti kuvata mallin eri rakennosien sijoittautumista suhteessa toisiinsa. Todelliset mallin ainesosien materiaalit kuten sähkökaapeliputket, sadevesi- ja viemäriinjat, betonikaivot tai muut suunnittelua

vaativat kohteet voidaan korvata esimerkiksi erilaisilla väreillä, jotta silmämääräinen valmiin kokonaisuuden tarkastelu helpottuu. Teknistä havainnemateriaalia voidaan käyttää yhteistyövälineenä esimerkiksi suunnitteluryhmän, tilaajan, hankkeen johdon sekä työmaan välillä. Täyteen rakennetuilla kaupunkialueilla tai moniulotteisilla työmail- la joissa rakennekerroksia on paljon ja useissa tasoissa, tämänkaltaisella tarkastelulla voidaan löytää ja korjata ristiriitoja, jotka voisivat rakennusaikana muodostua kalliiksi ja työmaata viivästyttäväksi ongelmakohtiksi. [11.]



Kuva 7. Tekninen havainnollistaminen antaa hyvä työkalun erilaisten rakenneosien sijoittumi- sen tarkasteluun. Mallin osat voidaan korvata erilaisilla väreillä, jotta niiden erottaminen toi- sistaan helpottuu. Kuvantamistapaa voidaan hyödyntää esimerkiksi rakennekerrosten tör- mäystarkasteluissa, kun ainesosia on paljon useissa tasoissa. [11.]

Esittävä mallintaminen puolestaan kuvaa usein suunnittelijan omaa näkemystä hank- keesta ja sen valmiista toteutumisesta. Kuvaus on usein valokuvamaista ja sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi yleisötilaisuuksissa tai median käytössä, kun pyritään havainnol- listamaan lopputuotteen näkyvää osaa (kuva 8). Erilaisia visualisoituja malleja voidaan hyödyntää myös esimerkiksi urakan tarjousvaiheessa, kun hankkeen toteuttajia kilpai- lutetaan. Toimiva suunnitelma antaa selkeän havainnekuvan siitä, mihin valmiilla lop- putuloksella pyritään. [11.]



Kuva 8. Esittävä havainnollistaminen kuvaa kohteen yleensä suunnittelijan näkemyksenä valmiista lopputuotteesta. Kuvaukset vastaa usein valokuvamaista näkymää ja sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi hankkeesta tiedotettaessa suurelle yleisölle. Kuvauksesta voi olla apua myös tarjouskilpailutuksessa, jolloin eri toimijoiden on helpompi hahmottaa haluttua lopputulosta. [11.]

Mitä isommasta hankkeesta on kyse, sitä suurempi rooli suunnitelmien havainnollistamisella usein on. Eri toimijoille on hyvä saada selkeä näkemys siitä, mitä ollaan tekemässä, tai vastaavasti antaa mahdollisuus vaikuttaa lopputuotteen ulkonäköön jo ennen varsinaisen hankkeen rakennusvaiheen aloittamista. Monia väylähankkeiden visualisointeja voidaan hyödyntää laajasti myös esimerkiksi pienempien alueellisten kaava-hankkeiden suunnittelussa, kun pohditaan infrahankkeiden ympäristön rakentumista. [12.]

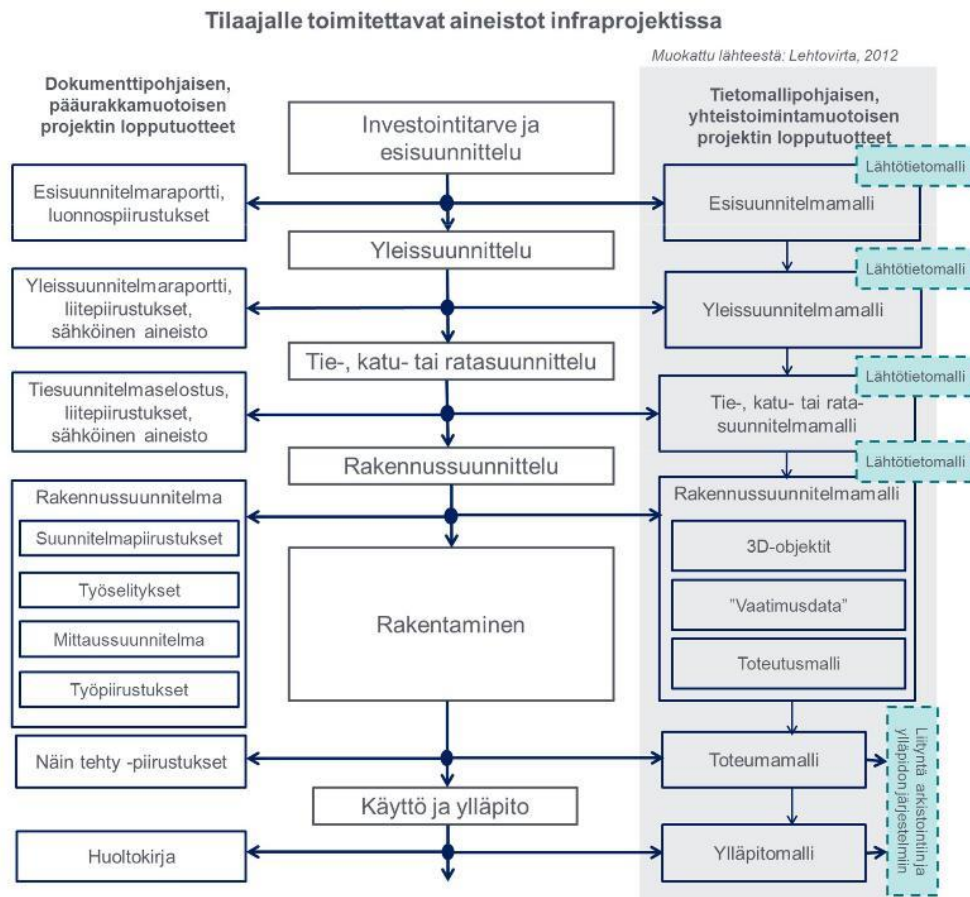
4.2 Yleiset inframallivaatimukset 2014

Rakennustietosäätiö tulee julkaisemaan vuoden 2015 alkupuolella YIV 2014 ohjeistuksen tietomallintamisen käyttöönoton tarpeiksi. Ohjeiden laatimisessa ovat olleet mukana VR Track Oy, Destia Oy, Finnmap Infra Oy, Lemminkäinen Infra Oy, NCC Roads Oy, Pöyry Finland Oy, Ramboll Finland Oy, Sito Oy, Tekla Oy, Terramare Oy, YIT Rakennus Oy Infrapalvelut, Vianova Systems Finland Oy, WSP Finland Oy, A-Insinöörit Oy, Rakennustieto Oy sekä Liikennevirasto. Ohjeistuksen lähtökohtana on perusajatus, että tilaajilla ja palvelujen tarjoajilla on oltava yhteinen näkemys siitä, mitä mallinnetaan ja miten mallinnus toteutetaan hankkeiden eri työvaiheissa.

Tulevien mallinnusohjeiden on tarkoitus kattaa lähtötietojen, suunnittelun eri vaiheiden, rakentamisen sekä käytön ja ylläpidon mallien tietosisällön vähimmäisvaatimukset. Kuva 9 esittää infrahankkeen kulkua ja siihen liittyvää suunnittelun tarvetta tietomallikohteen laajuudesta riippuen. Ohjeistuksen mukaan hankkeen käynnistyessä siitä vastaava henkilö laatii tietomallinnussuunnitelman, jonka tulee sisältää seuraavat asiat:

- mallintamisen yleiset tavoitteet, eli mihin mallia tarvitaan
- prosessin kuvaus, jossa on esitettyinä
 - hankkeen toimijat, tehtävien jakautuminen
 - yhteistyö ja tiedonvaihto
 - aikataulu
- mallinnuksen laajuus ja tarkkuustaso
- kustannuslaskenta sekä menettelytavat
- laadunvarmistus
- mallin hyödyntämisen periaatteet suhteessa hankevaiheeseen.

Suunnitelman pohjalta voidaan määritellä mallinnuksen lopullinen laajuus ja tarkkuustaso. [9.]



Kuva 9. Infrahankkeessa tuotettava aineisto hankevaiheittain. Suunnittelun tarve riippuu hankkeen laajuudesta sekä siihen sisällytettävistä kokonaisuuksista. [30.]

4.3 Laadunvarmistus

Keskeisenä tavoitteena tietomallin laadunvarmistuksessa on varmistaa sujuva toimintaprosessin kokonaisuus. Tähän päästään parantamalla inframallien tiedonsiirron toimivuutta elinkaaren eri vaiheiden välillä. Tietomallista puhuttaessa laadulla tarkoitetaan digitaalisesti esitetyn tiedon tasoa sekä sen vastaavuutta tilaajan tarpeisiin. Laadukas suunnittelukokonaisuus parantaa aikataulujen ja kustannusten ennustettavuutta sekä vähentää työmaan aikana suoritettavia muutostöitä. Lisäksi prosessin läpinäkyvyys ja seuranta edesauttavat tavoitteiden mukaiseen lopputuloksen pääsemistä.

Aineiston oikeellisuutta arvioitaessa mallien tietosisältöä voidaan tarkastella kolmesta näkökulmasta:

- Tutkimalla mallin teknistä sisältöä, eli onko tieto muodostettu käytetyn suunnitteluohjelman standardien ja nimikkeistön mukaisesti.
- Tarkastamalla tietosisällön oikeellisuus; löytyykö mallista kaikki vaadittava suunnittelu-, rakentamis- ja ylläpitovaiheessa tarvittava tieto.
- Arvioimalla mallin laatua ja ratkaisujen toimivuutta. Törmäystarkasteluilla voidaan esimerkiksi varmistaa, etteivät eri rakenteet törmää toisiinsa ja riittävät suojaetäisyydet komponenttien välillä säilyvät.

Hankkeen etenemisen ja asetettujen tavoitteiden toteutumisen seuranta ovat tilaajan näkökulmasta laadukkaan prosessin avainkysymyksiä. Keskeisenä tavoitteena on havaita prosessin ristiriidat ja puutteet mahdollisimman aikaisin, jotta niihin päästäisiin puuttumaan ennen kuin ne muuttuvat ongelmiksi. [14, s. 4, 5.]

Päällekkäisiä työvaiheita prosesseissa tulisi välttää. Tietomallintamisen vaatimusten tarkoituksena ei ole aiheuttaa lisäkustannuksia projekteille, vaan lähtökohtana on toimintatavan muutosten yleistyminen osaksi infrahankkeiden toteutuskokonaisuutta. Riittävä tiedonkulku ja muutostöiden hallinta osapuolten välillä edesauttavat karsimaan turhia päällekkäisyyksiä työvaiheiden välillä. Lopputuotteen lisäksi lähtötietoaineiston luotettavuuteen ja laatuun tulee kiinnittää huomiota. Lähtötietoja tarkistettaessa tulee varmistua, että aineisto on ajantasaista ja riittävän laajalta alueelta, selkeitä virheitä tai ongelmia ei ole ja puutteet ja havainnot on dokumentoitu riittävän hyvin. [14, s. 7–10.]

4.4 Tietomallintamalla saavutettavat edut

On selvää, että painopisteen siirtyessä yhä enemmän mallinnuksen tarkkuuteen, projektien alkuvaiheen lähtötieto- ja suunnittelukustannukset kasvavat työmäärän lisäntyessä. Toisaalta suunnitteluvaiheessa kustannusten jakautumiseen ja ennakkointiin voidaan vaikuttaa paljon paremmin kuin hankkeen toteutusvaiheessa. Tietomallia rakennettaessa voidaan tehdä muun muassa hankkeen riskien ja vaikutusten arviointia sekä havainnollistaa aikataulun ja kustannusten muodostumista. Tämä lisää osaltaan työn tuottavuutta, kun saadaan selkeitä aikataulu- ja kustannussäästöjä. Lisäksi huolellinen suunnittelu johtaa todennäköisemmin parempiin toteutusratkaisuihin. Toimivan

yhdistelmämallin käyttö edesauttaa myös tiedonkulkua ja -hallintaa kaikkien projektin osapuolien välillä. [13.]

5 Infra-alalla sovellettavat ohjeistukset ja toimintatavat

5.1 InfraRYL

Infra-alan laadunohjaushanke käynnistyi osana TEKESin Infra-teknologiaohjelmaa. Tavoitteena oli laatia ja julkaista koko alalle yhteiset ja toimivat, helposti ylläpidettävät laatuvaatimukset, jotka varmistavat lopputuotteen laadun jatkumisen tonteilta katuverkkoon, valtaväylille ja niin edelleen käyttökohteesta riippumatta. Hankkeen johtoon perustettiin Rakennustietosäätiön valvova toimikunta sekä useita työryhmiä, joissa koko infra-ala on edustettuna. Projektin päätoteutus ajoittui vuosille 2002–2008 ja tulokset otettiin käyttöön vaiheittain. [26.]

InfraRYL itsessään on rakennustietokokoelma infrarakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista. Se on ensimmäinen infra-alan yhteistyössä laatima kokoelma niistä laadullisista kriteereistä, joiden tarkoituksena on määrittää valmiin työn lopputuloksen rakennustekninen laatu. Kokoelma on tarkoitettu määrittelemään hyvä rakennustapa silloinkin, kun hankkeen osapuolet ovat laadukkaasta toteutuksesta eri mieltä. Lähtökohtaisesti hankkeen tilaajan tarvitsee sopimusasiakirjoissa ainoastaan viitata RYL:n yksilöityyn kohtaan, jotta sen määräykset ovat voimassa hankkeen toteutuksessa. [25.]

Kokoelma infrarakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista pitää sisällään kaksi erillistä osaa; toimivuusvaatimukset jotka koskevat rakenteen ja sen osien elinkaaren aikaista laatua, sekä tekniset vaatimukset jotka määrittelevät rakenteen valmistumishetken vaadittavat normit. Viimeisin päivitys InfraRYL 2010 osa 1 otettiin käyttöön toukokuussa 2010, ja se korvasi aiemman vuonna 2006 julkaistun laitoksen. Alan toimijat voivat halutessaan kirjautua sähköiseen InfraRYL Net -asiointipalveluun, josta löytyy helposti koottuna koko laatuvaatimusjärjestelmä. Palvelun käyttö on kuitenkin maksullista. [26.]

Ohessa on esitettyä eri maarakenteilta ja työkoneautomaatiojärjestelmiltä tulevaisuudessa vaadittavia mittavaatimuksia. Taulukko 1 kuvaa YIV 2014 työryhmän ehdotusta koneohjausjärjestelmillä toteutettavien maarakenteiden mittavaatimuksiksi.

Taulukko 1. Ohessa on esitettyä maarakenteilta vaadittavia mittatarkkuuksia työkoneohjauksessa. Taulukko kuvaa YIV 2014 työryhmän ehdotusta koneohjausjärjestelmiltä tulevaisuudessa edellytettäväksi rakennevaatimuksiksi. Arvoihin voi tulla vielä jatkossa muutoksia.

Rakenneosa	Suurin sallittu yks. sijainnin poikkeama (InfraRYL)	Suurin sallittu yks. korkeuden poikkeama (InfraRYL)	Työkoneautomaatiojärjestelmältä vaadittava tarkkuus XY;Z
	mm	mm	mm
Maaleikkaus, maapenger, tie ja rata	-0 / +200	+0 / -100	+100;+30
Louhepenger	-0 / +200	+0 / -100	+100;+30
Suodatinkerros, tie	-0 / +150	+40	+100;+30
Jakavakerros, tie	-0 / +150	+30	+50;+30
Kantavakerros, tie	-0 / +150	+20	+50;+30
Eristyskerros yläpinta, rata	-0 / +100	+0 / -50	+50;+20
Välikerros yläpinta, rata	-0 / +50	+0 / -20	+50;+20

5.2 InfraBIM

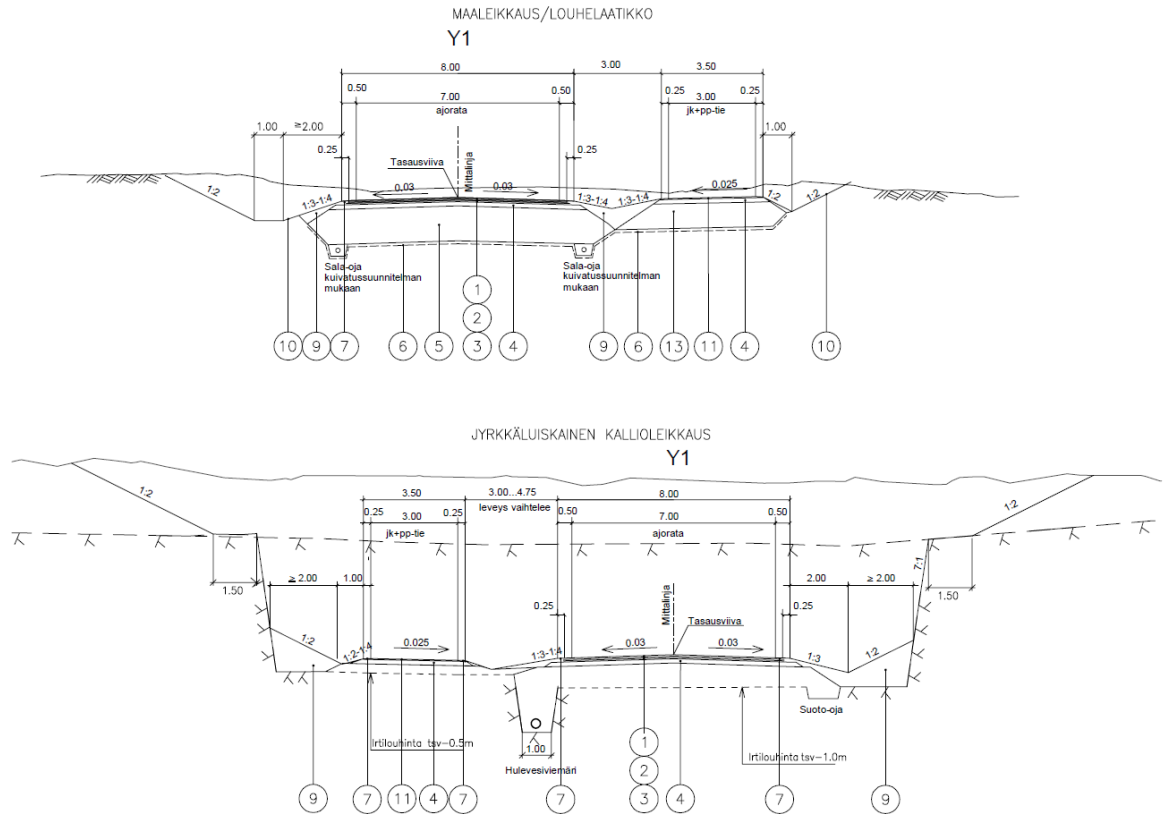
Lyhenne BIM tulee englannin kielen sanoista Building Information Model, eli suomeksi käännettynä sillä tarkoitetaan rakennuksen tai rakennusprosessin, tässä tapauksessa infrahankkeen, elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuutta. Yksinkertaistettuna se on 2D-piirustusten korvaamista 3D-tietomalleilla, johon on sisällytetty kaikki suunnittelun osa-alueet sekä hankevaiheet. Yhteiset tiedonsiirtokäytännöt sekä järjestelmäriippumattomat formaatit mahdollistavat eri osapuolilta saatavien tietojen yhteensovittamisen. [13.]

5.3 InfraModel 3

Uuden yhteisen formaatin tarkoituksena on parantaa koneohjausmallien yhdenmukaisuutta ja käytettävyyttä eri ohjelmien ja laitteistotarjoajien välillä. InfraModel on kehitetty toteutusmallien tuottamiseen sekä vastaavasti toteutumien tarketiedon siirtoon takaisin työmaalta suunnittelijalle. Tiedonsiirron käytäntöjen yhdenmukaistumisen on tarkoitus vähentää virheitä ja parantaa metatiedon välittämistä. Formaatin taustalla on yhteisesti luotu InfraBIM-nimikkeistö, jonka pohjalle kaikki mallikokonaisuuden osat rakentuvat. Ideana on, että kaikki väylärakenteet kuvataan nimetyistä taiteviivoista muodostuvina rakennepintoina.

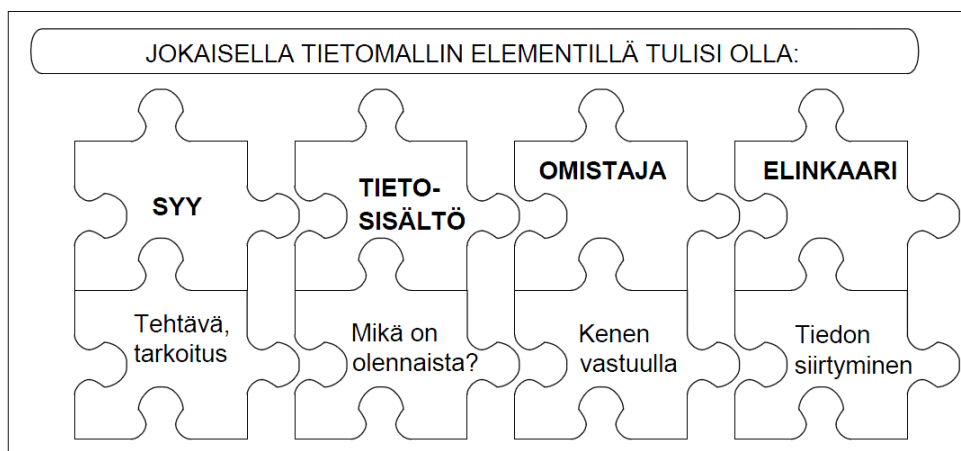
Tietosisällön kokonaisuus muodostuu useista luokista. Suunnitelman yleistiedot pitävät sisällään projektin kannalta olennaiset lähtötiedot, kuten hankkeen perustiedot, käytetyt yksiköt, koordinaattijärjestelmät ja niin edelleen. Perusaineisto käsittää käytetyn maastomallin ja maaperämallin pinnan, pisteet ja viivat sekä niiden lajikoodauksen sekä kolmiopinnat. Liikenneväylät-osiosta löytyvät geometrialinjat tie-, rata-, katu-, ja vesiväylille sekä rakenteet taiteviivoina ja kolmiopintoina ryhmiteltynä. Vesihuoltoverkostoista on mahdollista luoda mallit kaivoille laitteineen, putkille ja rummuille sekä niiden ominaisuustiedoille. Aluesuunnittelu sisältää pintamaiset rakenteet, maisemoinnit sekä läjitykset. Lisäksi pohjanvahvistuksista on mahdollista luoda mallit vasta- ja ylipenger-ryksille sekä massanvaihdolle. Rata-osuus pitää sisällään tiedot kilometripaalutuksista, kallistuksista sekä vaihteiden luomisesta. Varusteista on mahdollista mallintaa muun muassa kaiteet, aidat, jalustat, valaisinpylväät sekä liikennemerkkit. [15.]

Kuvassa 10 poiminta paperisista työmaapiirroksista Kehä 3:n työmaan leikkauskuvasta. Tarkoitus olisi, että tämä kaikki vastaava rakennekerrosten tietosisältö löytyisi suoraan kolmioulotteisesta suunnitteluaineistosta, josta sitä voitaisiin hyödyntää sellaisenaan.



Kuva 10. Maaleikkaus tulosteversiona; eri rakennekerrokset on eritelty numeroin, joiden selitykset käyvät ilmi erillisestä legendasta. Perinteisissä paperikuvissa voi olla informaatiota varsin paljon, lisäksi eri rakenteiden hahmottaminen on usein hankalaa. Toimivalla 3D-tietomallilla voidaan tulevaisuudessa päästä tilanteeseen, ettei paperitulostettuja kuvia tarvitsisi työmaalla enää tulkita. [31.]

Kuva 11 havainnollistaa sitä tietosisällön luomistapaa, johon yhteisellä tiedonvälityksellä pyritään. Tarkoituksena on, että tähän päästäisiin pian myös käytännössä.



Kuva 11. Yhdistelmämallin arvoperustainen tietosisältö.

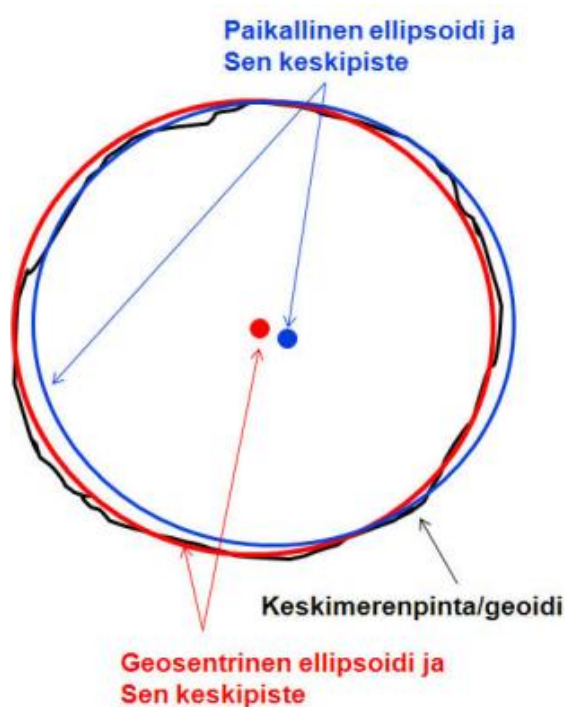
6 Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät

Suomen rajojen sisälläkin toimittaessa koordinaattijärjestelmiä ja korkeusmalleja on käytössä useita. Niiden väliset keskinäiset erot voivat vaihdella muutamista metreistä kymmeneen metriin. Suuret poikkeamat yleensä huomataan nopeasti, mutta pahimmillaan väärää koordinaatistoa käytettäessä pienet järjestelmien väliset poikkeamat jäävät huomaamatta työmaalla ennen kuin on liian myöhäistä tai on tehty kalliita virheitä. Suunnitelmia käytettäessä niiden yhteen sovittaminen käytössä olevaan ympäristöön ja käytettäviin koordinaattijärjestelmiin onkin syytä huomioida ja ymmärtää. Erityisen tärkeää koordinaattijärjestelmien tunteminen on silloin, kun käytetään tarkkaa satelliittipohjaista paikanmäärittystä. [17.]

Koordinaattijärjestelmä itsessään on teoreettinen määritelmä, joka on realisoitava maastoon käytännön toimia varten. Koordinaattijärjestelmän realisaatiota (coordinate reference frame) kutsutaan koordinaatistoksi. Tällä tarkoitetaan yleensä maastossa olevia kiintopisteitä, joille on mitattu ja laskettu koordinaatit. Koordinaatit puolestaan ovat lukuarvoja, jotka määrittelevät kunkin pisteen sijainnin käytetyssä koordinaatistossa [19]. Varsinaisen koordinaattijärjestelmän määrittämiseksi tarvitaan datumi, eli niiden matemaattisten suureiden joukko, jolla koordinaatisto kiinnitetään maapallon pintaan. Datumien tarkoitus on määrittää vertausellipsoidin koon, muodon ja sijainnin suhde maapalloon nähden. Lisäksi se määrittää, kuinka koordinaatisto asettuu vertausellipsoidin pinnalle. Saman pisteen koordinaatit ovat siis erilaiset eri koordinaatistoissa, ja vastaavasti eri koordinaatistojen samat koordinaatit tarkoittavat eri pisteitä. Maailmalla satelliittipaikannuksessa yleisesti käytettävä koordinaattijärjestelmä on WGS84 (World Geodetic System 1984), jonka mukaan GPS-satelliitit lähettävät ratatietonsa. Tästä saadaan myös Euroopan mantereen kattava yhtenäinen koordinaattijärjestelmä ETRS89, joka on käytännössä WGS84:n toteutus Euroopassa. Suomessa pyritään parasta aikaa siirtymään siitä realisoituun yhtenäiseen EUREF-FIN-järjestelmään. [20, s. 166.]

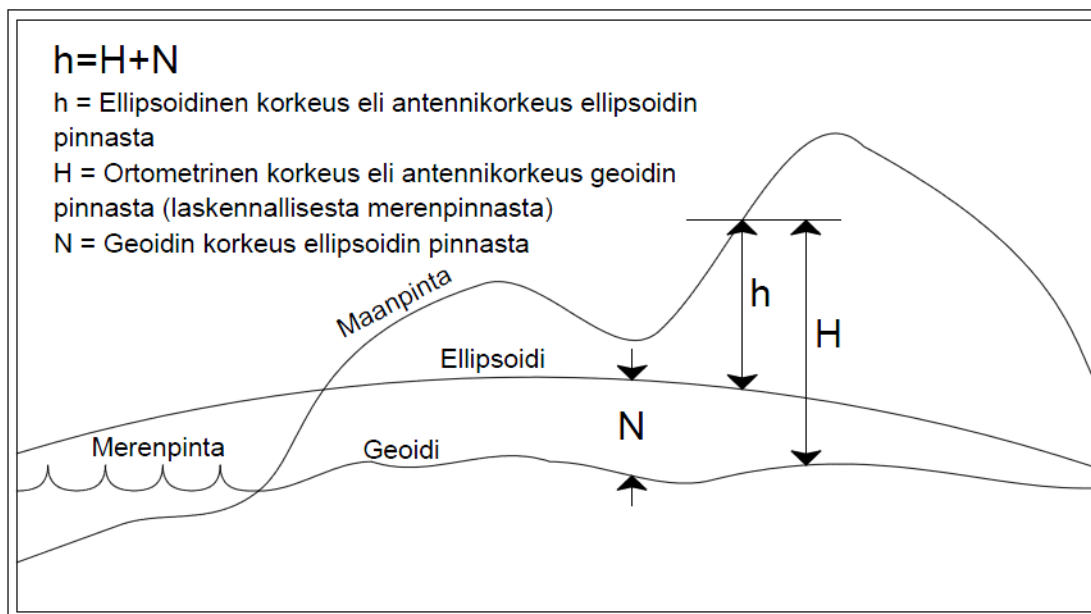
Koordinaatistossa pisteen sijainti esitetään koordinaatteina, jotka voivat olla positiivisia tai negatiivisia. Pisteillä on yhtä monta koordinaattia kuin koordinaatistossa on ulottuvuuksia. Niitä vastaavien tasokoordinaattien niminä käytetään useimmiten kirjaimia x ja y . Korkeutta kuvataan yleensä z - tai h -kirjaimella. Suorakulmaisen koordinaatiston koordinaatistoakselien leikkauskohtaa eli nollapistettä kutsutaan origoksi.

Maanpinnalle mitattaessa määritetään geosentrisiä koordinaatteja, jolloin koordinaatiston origo sijaitsee maapallon laskennallisessa keskipisteessä. Koordinaattiakselisto koostuu tällöin säteestä (r), atsimuuttikulmasta (φ) sekä elevaatiokulmasta (θ). Kulmat ilmoitetaan joko radiaaneina tai asteina. Maantieteelliset leveys- ja pituusasteet muodostavat pallokoordinaatiston, jossa korotuskulma θ vastaa leveys- ja atsimuuttikulma φ pituusastetta [17]. Koska maa on hieman navoiltaan litistynyt pallo, sen matemaattista muotoa kuvataan vertausellipsoidilla (kuva 12), joka on Maan muodon yksinkertaistettu matemaattinen malli. Siinä on huomioitu vain tärkein poikkeama pallon muodosta eli litistyneisyys. Nykyään käytössä olevissa globaaleissa koordinaattijärjestelmissä käytetään geosentristä eli maakeskeistä ellipsoidia, jonka keskipiste on maan massakeskipisteessä.



Kuva 12. Geosentrinen vertausellipsoidi. Koska Maa on muodoltaan hieman navoiltaan litistynyt, sen matemaattinen malli poikkeaa hieman pyöreästä. Vertausellipsoidi on siis maan muodon yksinkertaistettu matemaattinen malli. [32.]

Vertausellipsoidin pinnasta mitattua korkeutta kutsutaan ellipsoidiseksi korkeudeksi (h), kun taas korkeudella merenpinnasta (H) tarkoitetaan geoidin eli maapallon muodon keskimääräisen merenpinnan nollassa (kuva 13). Geoidi on määritelmänsä mukaan se painovoiman tasa-arvopinta, johon levossa oleva keskimerenpinta asettuisi. Mantelella geoidi on keskimerenpinnan kuvitteellinen jatke. [19.]



Kuva 13. Maanpinnan korkeuselementit kuvattuina. Geoidi on painovoiman tasa-arvopinta, johon levossa oleva keskimerenpinta asettuisi. Mantereella geoidia kuvaa keskimerenpinnan kuvitteellinen jatke.

Koordinaatteja voidaan muuntaa maantieteellisiksi ja edelleen kartastotöissä tarvittaviksi suunnitelmien lähtötietoaineistojen mukaisiksi koordinaateiksi, kunhan tiedetään kyseisen ellipsoidin määritelmä. Huomioitavaa on, että koordinaatistojen välinen muunnos on eri asia kuin muunnos koordinaattijärjestelmien välillä. Koordinaatistosta toiseen siirtymiseksi tarvitsee tietää koordinaatistojen origojen erot sekä koordinaattiakselien kiertoparametrit. Koordinaattijärjestelmien välisiä muunnoksia joudutaan kuitenkin tekemään varsin usein. Tällöin laskentaan vaikuttavat myös käytettyjen kiintopisteiden virheet. Muunnos joudutaan tekemään esimerkiksi koneohjausjärjestelmän ja suunnitelma-aineiston välillä. Koska niistä aiheutuu aina virhettä, turhia muunnoksia eri koordinaattijärjestelmien välillä on syytä välttää. Yleensä käytössä on työmaan oma paikallinen erilliskoordinaatisto, jonka muunnos voidaan tarvittaessa mitata myös suoraan koneohjausjärjestelmään. [17.]

7 Satelliittipaikannus koneohjausjärjestelmässä

Jotta koneohjausjärjestelmän toimintaperiaatteet voidaan kunnolla ymmärtää, on välttämätöntä perehtyä myös satelliittipaikannuksen toimintaperiaatteisiin ja siihen liittyviin erityispiirteisiin sekä haasteisiin. Satelliittipaikannus itsessään pitää jo sisällään niin

paljon, että siitä riittäisi ainesta useampaankin insinööriyöhön. Tässä kohtaa tarkoitukseni kuitenkin on esitellä ne periaatteet, joihin koneohjausjärjestelmän toiminta pääpiirteissään perustuu.

7.1 Satelliittipaikannuksen periaatteet

Yksinkertaistettuna satelliittipaikannus perustuu vastaanottimen ja satelliitin välisen etäisyyshavainnon mittaamiseen. Vastaanottimen sijainti saadaan selville laskennallisen kolmiomittauksen avulla. Tarkan sijainnin määrittämiseksi tarvitaan satelliittien rata- ja kellotiedot eli niiden sijainti tietyn laskennallisen ajan hetkellä [17, s. 298]. Etäisyyden määrittäminen voidaan toteuttaa kahdella tavalla, joko koodihavaintoihin tai vaihehavaintoihin perustuen. Näihin menetelmiin perustuvia mittaustapoja on useita, joista yksinkertaisin ja epätarkin on niin sanottu absoluuttinen paikannus. Ideana on laskea satelliitin lähettämän signaalin kulku-aika signaalin mukana tulevan koodin perusteella. Tällä menetelmällä päästään parhaimmillaankin vain kymmenestä metristä muutamien metrien paikannustarkkuuteen. [17, s. 300.]

Selvästi parempaan tarkkuuteen päästään jo käyttämällä DGPS- eli differentiaalista paikannusta. Tällöin saadaan poistettua mittauksen systemaattiset virheet käyttämällä kahta eri vastaanotinta, joista toinen sijaitsee jollakin tunnetulla pisteellä. Tukiasemavastaanottimen tehtävänä on lähettää liikkuvalla vastaanottimelle korjausdataa radiolinkin välityksellä [17, s. 301]. Tunnettu tukiasema laskee sekä tunnetun että havaitun etäisyyden avulla jokaiselle laskennassa käytettävälle satelliitille korjauksen, jonka se lähettää liikkeessä olevalle paikantimelle. Tällä menetelmällä voidaan päästä jo viidestä metristä aina puolen metrin tarkkuuksiin asti. Tarkkuuteen vaikuttaa oleellisesti esimerkiksi tukiaseman ja vastaanottimen välinen etäisyys [21 s. 14]. C/A-koodihavaintoja mittaamalla ei saavuteta yhtä hyvää tarkkuutta kuin käyttämällä vaihehavaintoja, mutta koodihavaintojen etuna on laskennan yksinkertaisuus, koska mitataan ainoastaan signaalin kulku-aika eikä ratkaista kantoaallon kokonaisia aallonpituuksia toisin kuin RTK-mittauksessa [22, s. 11].

Mittaustarkkuudeltaan parhaimpiin tuloksiin päästään kuitenkin käyttämällä suhteellista mittaustapaa, joka perustuu satelliitin kantoaallon vaihehavaintojen mittaamiseen käyttämällä kahta samanaikaisesti toimivaa havaintolaitetta, joista toinen sijaitsee tunnetulla pisteellä. Parhaimmillaan tällä tavoin saatavat tarkkuudet ovat jo alle senttimetrin

luokkaa, joka tekee mahdolliseksi menetelmän hyödyntämisen suurempaa tarkkuutta vaativissa rakentamisen mittauksissa [17, s. 301]. Tätä kutsumme nimellä RTK-mittaus (Real Time Kinematic).

Satelliittipaikannuksesta käytetään usein väärin termiä GPS, joka tulee englannin kielien sanoista Global Position System. Lyhenne on harhaanjohtava, koska se tarkoittaa todellisuudessa Yhdysvaltojen sotilaskäyttöön kehittämää 31 operatiivisen satelliitin muodostamaa paikannusjärjestelmää. Vastaava järjestelmä, GLONASS, on myös Venäjän Avaruushallinnon alaisuudessa. GPS-satelliittien lähettämän signaalin erottelu perustuu koodiin, kun taas GLONASS lähettää signaalinsa eri taajuuksilla. Kolmantena ja uusimpana satelliittikonstellaationa mainittakoon vielä Euroopan Unionin rahoittama Galileo, johon on tarkoitus tulevaisuudessa kuulua noin 30 satelliittia. Käytännössä satelliittipaikannusjärjestelmistä yleisesti puhuttaessa onkin parempi käyttää nimitystä GNSS eli Global Navigation Satellite System, koska paikannuksessa käytetään hyväksi kaikkia näkyviä satelliitteja, jolloin toimintavarmuus ja mittaustarkkuus paranevat. [19.]

7.2 SA – signaalin tahallinen häirintä

Siviilikäyttöinen GPS-satelliitteihin perustuva paikantaminen mahdollistui käytännössä vasta vuoden 2000 jälkeen, kun Yhdysvallat lopetti tahallisen SA-häirintäsignaalin (Selective Availability) lähettämisen. Häirinnän ollessa päällä GPS-vastaanottimien sijaintitarkkuus oli luokkaa 30–50 metriä. Kun se lopetettiin, paikannuslaitteiden keskimääräinen tarkkuus parani varsin merkittävästi, noin 5–10 metrin paikkeille. Tämä oli osaltaan vaikuttamassa satelliittipohjaisten paikannuslaitteiden kehittämiseen ja yleistymiseen, kun alettiin päästä tarkkuuksiin, joille saatiin käytännön hyötyä. [20, s. 48.]

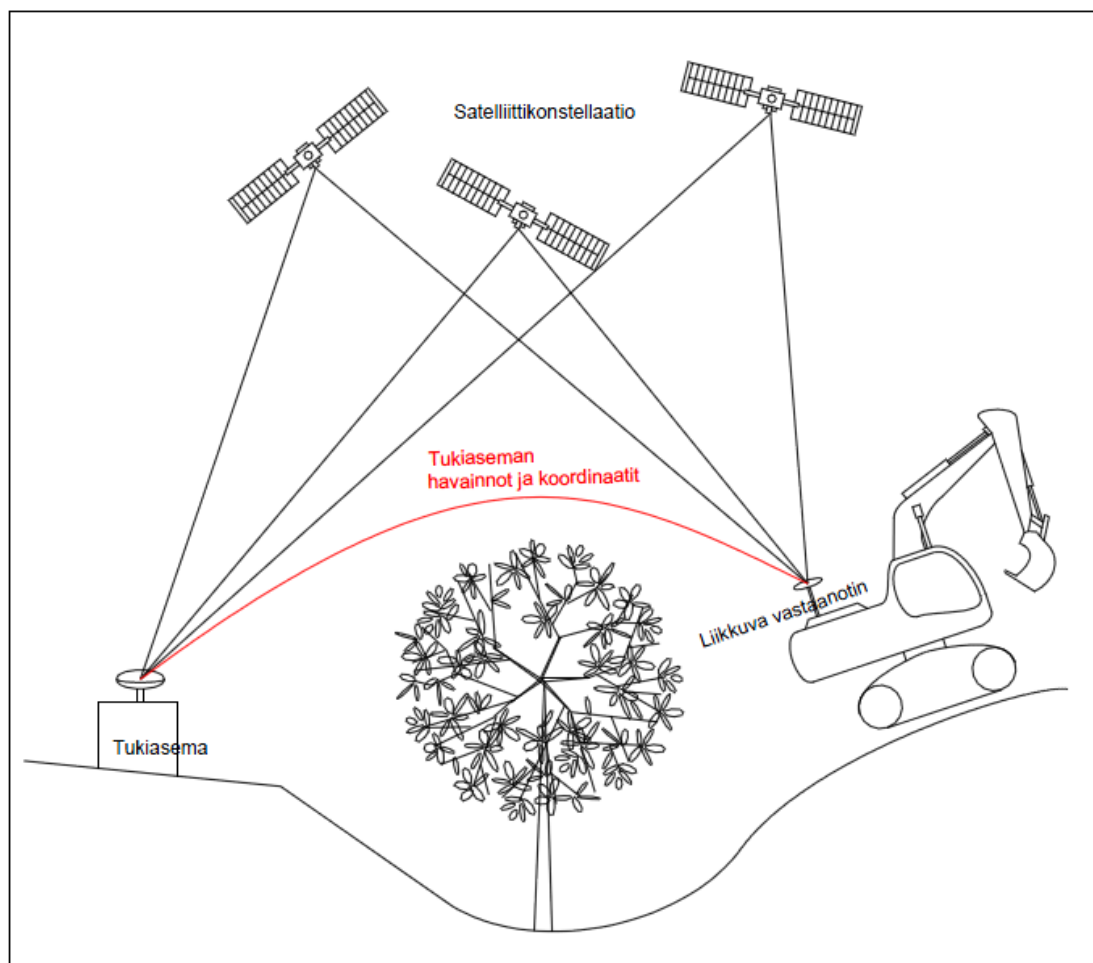
SA on yksinkertaisesti satelliittien atomikellojen manipulointimenetelmä. Sen tarkoituksena on luoda merkittävä kellovirhe sekä huonontaa satelliittien ratatietoja, joka johtaa siihen, että mitattu tarkkuus voi heitellä signaalista riippuen joistakin kymmenistä metreistä pahimmillaan satoihin metreihin. Kellovirheen suuruutta ja ratatietojen virheellisyyttä voidaan tarpeen mukaan säätää edelleenkin, esimerkiksi vuoden 2001 syyskuun 11. päivän terrori-iskujen jälkeen häirintä kytkettiin päälle maailmanlaajuisesti. [20, s. 52.]

7.3 RTK-mittaus

Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus tarkoittaa paikannusprosessia, jossa liikkuvan vastaanottimen havaitsemia signaaleja verrataan tunnetulla sijainnilla olevan vastaanottimen välittämään kantoaaltovaiheen signaalihavaintoon (kuva 14). Liikkeessä oleva vastaanotin yhdistää kaikki tukiaseman lähettämät havainnot omiin havaintoihinsa ja ratkaisee alkutuntemattomat sekä tukiaseman ja vastaanottimen välisen vektorin pituuden. Erotushavainnoilla voidaan usein pienentää merkittävästi mittauksen virhelähteitä. Mittauksen tavoitteena on tukiaseman ja liikkuvan vastaanottimen välisen vektorin ratkaiseminen reaaliajassa. Kun mittausyksikkö saa ratkaistua alkutuntemattomat kokonaisluvuiksi, ollaan niin sanotussa FIX-tilassa, eli kone on laskemalla valinnut omasta mielestään parhaan sijaintiratkaisun. [21, s. 16.]

Liikkuvan vastaanottimen tarvitsema tukiaseman havaintodata lähetetään joko radiomodeemilla tai GSM-puhelimella. Maastosta riippuen radiomodeemin toimintasäde on joitakin kilometrejä. GSM-yhteyttä käytettäessä välimatkan pituudella ei ole merkitystä, mutta yhteyden haittapuolena on sen käytöstä syntyvät tietoliikennekustannukset. Vaikka radioteitse lähetetyn datan kantama on selvästi heikompi suhteessa GSM-verkkoon, sen etuna on käytön ilmaisuus sekä mahdollisuus usean käyttäjän yhtäaikaiseen mittaukseen. GSM-modeemi puolestaan mahdollistaa vain yhden samanaikaisen käyttäjän kerrallaan [22, s. 11]. Liikkuvan vastaanottimen ja tukiaseman välisen matkan kasvaessa alkutuntemattomien ratkaisuun tarvittava aika luonnollisesti kasvaa, jolloin alustukset pitenevät. Lisäksi havaittavien satelliittien lukumäärä on mittaustarkkuuden kannalta oleellinen tekijä. Sekä tukiaseman että liikkeessä olevan yksikön tulisi saada seurantaan vähintään viisi yhteistä satelliittia. Luotettavaan mittaustulokseen pääsemiseksi havaintoja pitäisi kuitenkin saada ainakin 6–7 satelliitista. Samalla on huomioitava mahdolliset virhelähteet kuten monitieheijastuminen rakennuksista tai muista kohteista sekä maaston ja kasvillisuuden peitteisyys, jotka voivat estää luotettavien satelliittihavaintojen saamisen [17, s. 323].

Koneohjausjärjestelmien kannalta toimiva RTK-mittaus on yhtenä perusedellytyksenä työkonemaatonta käyttöä. Menetelmällä saavutettava tarkkuus soveltuu jo infrarakentamisen normien mukaisiin marginaaleihin, tosin satelliittimittauksen tulokset täytyy käytettävän mittaustekniikan ominaisuuksien vuoksi jakaa taso- ja korkeuskomponentteihin. Yleisesti ottaen tason sijaintikoordinaattien (x ja y) tarkkuus on parempi kuin saadut korkeushavainnot (z). [19.]



Kuva 14. GNSS-RTK-mittauksen periaate. Liikkuva vastaanotin vastaanottaa sekä sijaintitietoa satelliiteilta että tukiaseman välittämää signaalihavaintoa ja ratkaisee niiden perusteella alutuntemattomat sekä vastaanottimen ja tukiaseman välisen vektorin pituuden.

7.4 Työkoneohjauksen oma tukiasema

Toimiakseen luotettavasti ja oikein satelliittipohjainen työkoneohjaus edellyttää usein työmaalle perustettavaa tukiasemakonttia. Yksikkö pitää sisällään tyypillisesti satelliittivastaanottimen, radiolähettimen, lähetystehon säätäjän sekä virtalähteen kuten aurinkokennopaneelin ja akkulaturin sekä akun. Tukiaseman paikan valintaan on syytä kiinnittää huomiota. Sen välittömässä läheisyydessä ei saisi olla katvealueita, vaan sen tulisi sijaita avoimella paikalla, jolloin kaikki mahdolliset satelliittisignaalit olisivat käytävissä. Lisäksi sen tulee sijaita riittävän korkealla käyttöalue huomioon ottaen, jotta korjaussignaalin lähetys työkoneille ei estyisi. Mikäli työmaan koko ja sisäinen tarkkuus

sitä vaativat, tukiasemia voi olla syytä perustaa useampia. Yhden tukiaseman riittävän tarkka kantoalue on yleensä kuitenkin useita kilometrejä. [19.]

Mikäli eri laitteistontarjoajia on useita, työmaalla voi olla myös useampi tukiasema. Kehä 3:n esimerkkityömaalla oli poikkeuksellisesti YIT:n oma tukiasema (kuva 15) jossa olivat Novatronin ja Topconin vastaanottimet, lisäksi Trimblellä ja Scanlaserilla oli molemmilla omat tukiasemansa. [7.]



Kuva 15. YIT:n tukiasemakontti, jossa korjaussignaalia lähettävät satelliitivastaanottimet. Jokaisella laitteistontarjoajalla on käytännössä oma järjestelmänsä. [7.]

8 Koneohjausmalli työmaalla

Jotta työkoneautomaatiota voidaan käytännössä hyödyntää, tulee työmaalla hallita koko toimintaketju lähtötiedoista valmiiseen lopputulokseen. Työmaamittauksista vastaavien henkilöiden tulee hallita lähtötietojen kerääminen ja analysointi, suunnitelmien tarkastaminen ja koneohjausmallien käyttöönotto sekä siihen liittyvät tiedonsiirtotavat. Lisäksi käytettävät koordinaatistot ja niiden väliset muunnokset on syytä tiedostaa. Käytettävään laiteteknologiaan perehtyminen on tärkeää, ongelmanratkaisuun saa usein apua suoraan laitevalmistajalta tai maahantuojalta. [19.]

Tarvittaessa henkilöstöä tulee kouluttaa itsenäiseen laadunvalvontaan ja tarkkuusmittauksiin, työkoneen kuljettajat sekä mittaushenkilöt ovat tässä suhteessa avainasemassa. Lisäksi työnjohdon osaaminen ja toimintaperiaatteiden ymmärtäminen helpottavat hankkeen toimijoiden välistä vuorovaikutusta ja vastuukysymysten jakautumista. [19.]

8.1 Suunnittelijan rooli

Uuden tuotemallin rakentaminen lähtee yleensä liikkeelle mittalinjan luomisesta, jonka ympärille sidotaan muut rakenteet, kuten ajoradan kaltevuudet, ajoradan sekä pientareen leveydet ja luiskaukset, pengerrykset, valaistukset ja niin edelleen. Lähtötietoaineiston ja sovittujen ohjeistusten mukaan rakennetaan rakennekerrokset, siirtymäkaarteet, risteysalueet sekä suunnitellaan vesi- ja viemärointi, sadevesien valuma-alueet ja kaapelikanavat. Maaston mukaan suunnitellaan tarvittavat kallioleikkaukset, tunnelit, sillat sekä muut erityissuunnittelua vaativat kohteet. Mallit on hyvä jakaa helposti hahmotettaviksi kokonaisuuksiksi, jotta niiden käsittely ja hyödyntäminen työmaalla olisi mahdollisimman helppoa. Ylimääräistä informaatiota tulee välttää, se sotkee usein turhaan mallin käyttöä. [7.]

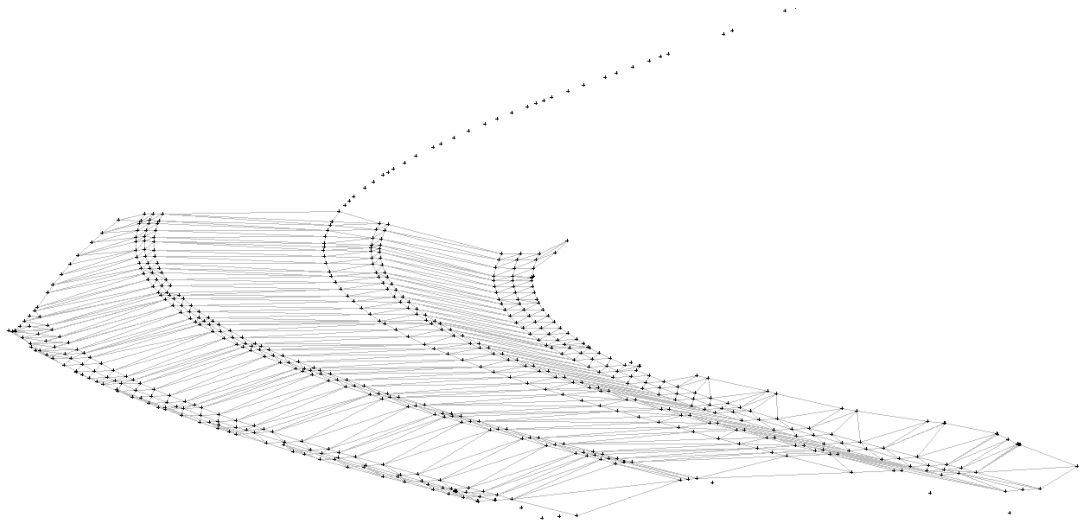
Aineiston siirtoformaateista on myös hyvä sopia heti suunnitteluvaiheessa. Näin vältetään päällekkäisiltä työvaiheilta sekä saadaan malli suoraan käyttöön. Lisäksi viimeistelyyn ja leikkaustarkasteluun pitäisi kiinnittää jo ennen mallien työmaalle lähettämistä enemmän huomiota. Vaikka paine saada suunnitelmia käyttöön mahdollisimman nopeasti on usein kova, tulisi olla kriittinen siinä, että eteenpäin ei lähetetä keskeneräisiä tai virheellisiä malleja. Varsinkin risteysalueiden sekä muiden haastavien kohteiden suunnittelussa tulisi olla erityisen tarkkana; törmäystarkasteluilla voidaan havaita varsin nopeasti ongelmakohtat, jotka voivat syntyä jo esimerkiksi lähtötietoaineiston virheellisyydestä. Tällöin maaston poikkeamat tulee ottaa esille koko projektin suunnittelussa, jotta kokonaisuus saadaan toimimaan halutulla tavalla. Yllätyksiä tulee työmaalla eteen aina, mutta mitä suurempi osa virhelähteistä onnistutaan eliminoimaan jo suunnittelijan pöydällä, sitä paremmin ja kustannustehokkaammin työmaa saadaan vietyä läpi aikataulussa ja ilman turhia viivästyksiä. [7.]

8.2 Mallin tarkastaminen ja käyttöönotto

Mallin tullessa suunnittelijalta työmaalle on syytä varmistua siitä, että suunnitelma täyttää tarvittavat laadulliset kriteerit. Aineiston taiteviivojen tulee olla kauttaaltaan jatkuvia ja sisäisesti yhdensuuntaisia. Liittymäalueet, kiertoliittymät, rakennekerrosten muutokset, ramppien erkanemiset sekä muut niin sanotusti hankalat paikat on mallinnettu oikein, eli törmäyspintoja ei löydy. Lähtökohtana on, että taiteviivoihin ja pintoihin ei missään vaiheessa saa muodostua epäjatkuvuuskohtia tai porrastuksia. [15.]

Jäljempänä esitetty kuva 16 havainnollistaa 3D-Win-ohjelmistolla kolmioitua yhtenäistä tiegeometriaa, jollaisena se tulisi tarkistaa ennen työkoneeseen siirtoa. Laadukkaasta toteutusmallista pitäisi löytyä seuraavat koneautomaation edellyttämät asiat:

- Kaikki tarvittavat rakenneosat on mallinnettu.
- Taiteviivat ovat yhtenäisiä ja jatkuvia.
- Samassa kerroksessa ei ole päällekkäisiä taiteviivoja.
- Aineistossa ei ole ylimääräisiä viivoja tai pisteitä.
- Pinnoissa ei ole epäjatkuvuuskohtia.
- Pintojen kaltevuudet ovat suunnitelmien mukaiset.
- Kolmioverkkomalli on riittävän säännönmukainen.
- Toteutusmalli vastaa suunnitelmamallia ohjeen tarkkuusvaatimusten mukaisesti.
- Aineisto on oikeassa koordinaatistossa.
- Aineiston formaatti on oikea. [14, s. 14.]



Kuva 16. Taiteviivoista kolmioitu tiegeometria. Kuvassa on keskilinjän ympärille rakennettu kolmioitu malli, jonka mukaan rakennekerrosten luiskaukset tehdään. Ennen mallin käyttöönottoa on syytä tarkistaa kolmioiden yhteneväisyys sekä mahdolliset epäjatkuvuuskohdat.

Törmäystarkastelussa pitää huomioida myös putki- ja kaapelilinjojen vaatimat työtilat sekä arinavarat. Sen lisäksi, etteivät linjat saa leikata toisiaan, suunnittelussa pitää osata ottaa huomioon eri rakennekerroksilta vaadittavat paksuudet. Minimietäisyydet voidaan määrittää suunnitteluohjelmilla automaattisesti, esimerkiksi 3D-Win-ohjelman tarkastelutyökaluun voidaan suoraan syöttää raja-arvot, joita lähempää linjat eivät saa kulkea suhteessa toisiinsa. [7.]

Mikäli malleista löytyy virheitä tai poikkeamia, niistä tulee tehdä tarvittaessa täydennyspyyntö suunnittelijalle sekä ilmoittaa hankkeen eri toimijoille. Tarvittavat muutokset tulee toteuttaa yhteistyössä niin että kaikilla osapuolilla säilyy tieto siitä, mitä on muokattu ja kuka on vastuussa muutoksista. Lähtötietoaineiston pienet puutteet tai kolmiointivirheet on usein mahdollista korjata ilman suunnittelijaa suoraan työmaalla, tässä kohtaa korostuu mallin tarkastavan mittamiehen rooli. Suunnitelmien muokkaaminen edellyttää, ettei muutos aiheuta ongelmia myöhemmissä työvaiheissa. Maastokin voi aiheuttaa muutostarpeita; esimerkiksi ojan pohjalinjaa voidaan muuttaa vaikkapa kalliopinnan korkeuden takia, kunhan kokonaisuus ei kärsi. Kuivatusjärjestelmien muokkaamisessa on kuitenkin syytä olla huolellinen, jotta vedet virtaavat sinne, minne pitääkin. Ennen käyttöönottoa mallista poistetaan ylimääräiset linjat ja pisteet sekä muut tarpeettomat mallinosat, lisäksi tehdään tarvittavat työkoneautomaatiojärjestelmän vaatimat formaattimuunnokset. [15.]

8.3 Tarkkuuden seuranta ja dokumentointi

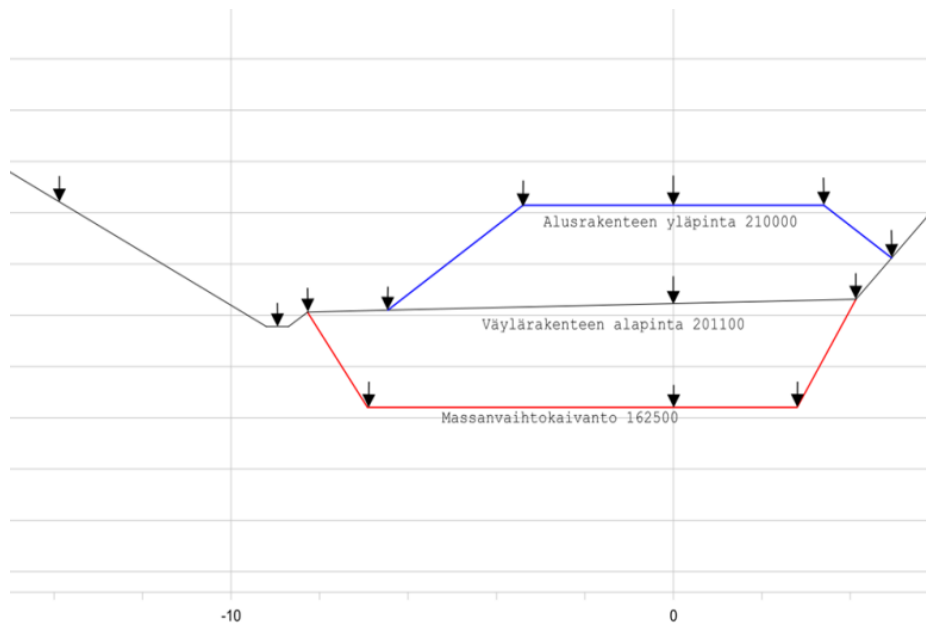
Tarkemittauksilla ja huolellisella dokumentoinnilla pyritään varmistamaan laatuvaatimukset täyttävä työnjälki. Toteutettujen rakennekerrosten tarkemittaukset on syytä tehdä riittävän usein takymetrillä työkoneen kalibroinnin ja mallien paikkansapitävyyden varmistamiseksi, tarvittaessa ohjausjärjestelmä kalibroidaan jos tarkkuusvaatimukset eivät täyty. Lähtökohtaisesti tarkastusmittaukset tulisi tehdä työkoneiden osalta kerran viikossa ja GNSS-tukiasemien osalta kerran kuukaudessa. Tuloksina dokumentoidaan työkone, ajankohta, koordinaattien poikkeamat sekä tarkastusmittauksessa käytetyt menetelmät ja tarkkuustiedot. Tarkastukset suorittaa yleensä työkoneautomaatiosta vastaava mittamies. [15.]

Koneohjausjärjestelmän tarkastus ja kalibrointi tulisi tehdä aina ennen kuin työkone otetaan uudessa kohteessa käyttöön ensimmäistä kertaa, lisäksi se tulisi tehdä jokaiselle työkoneelle viikoittain. Tarvittaessa työnjälkeä seurataan aluksi esimerkiksi viikon todentamisjaksolla, jolloin tarkistusmittauksia tehdään päivittäin. Valmiiden rakenneosien osalta työnjälkeä voidaan valvoa satunnaisin pistokokein. Tarkistamalla tukiaseman sijaintitiedot säännöllisin väliajoin varmistetaan, ettei se ole siirtynyt paikaltaan alustuksen jälkeen esimerkiksi räjäytysten tai muun maaperän tärinän seurauksena. [15.]

Työkoneen omilla toteumamittauksilla varmistetaan rakenteiden suunnitelmien mukainen toteutuminen (kuva 17). Työkoneen kuljettaja tekee toteumamittaukset rakennesoitain esimerkiksi 20 metrin välein taiteviivojen kohdilta. Toteumamittauksia voidaan tehdä myös tien leikkausrakenteiden ja maapenkereiden kerrosrakenteiden lisäksi paineputkistojen, kaapelisuoja-putkien, kaapeleiden sekä valopylväsanturoiden osalta. Käytännössä tämä vaatii koulutusta sekä työnjohdolle, jolla on valvontavastuu mittaus-ten oikeaoppimisesta tekemisestä, että työkoneen kuljettajalle, joka mittaukset suorittaa. Tarvittaessa kuljettajalle voidaan tehdä kirjallinen ohje, jossa on lueteltu toteumamittauksiin tarvittavat tiedot ja mittausvälit. [15.]

Toteumamittausten lisäksi työmaalla on syytä suorittaa tarkemittauksia mittaushenkilöstön puolelta riittävän tiheästi. Tarkkeet mitataan esimerkiksi rakenteiden muutoskohdista, kuten alusrakenteen rakennetyypin tai kerrospaksuuden muuttuessa. Havainnot tehdään pääsääntöisesti poikkileikkausten taitepisteistä, alle 200 metrin pituisissa kohteissa mitataan vähintään yksi poikkileikkaus jokaisesta rakenneosasta. To-

teumia voidaan verrata aikaisemmin edellä mainittuihin InfraRYL:n ohjearvoihin (ks. taulukko 1).



Kuva 17. Työkoneenkuljettajan tallentamat toteumamittaukset. Koneella otettavien toteumamittausten yleistyessä mittamiehen työtaakka tarkemittauksissa helpottuu. Lisäksi koneen kuljettajan ei enää tarvitse odottaa mittamiestä ottamaan tarkkeita, vaan tehty rakennekerros voidaan suoraan peittää toteumatallennusten jälkeen. [15.]

Rakenteiden muutoskohtien lisäksi väylän vaakageometriaa seurattaessa tarkemittaukset on hyvä toteuttaa aina määrävlein, suoralla tieosuudella sekä kaarresäteen ollessa suurempi kuin 3 000 metriä hyvä tarkemittausväli on 200 metriä. Kaarresäteen ollessa jyrkempi kuin 3 000 metriä mutta kuitenkin alle 1 500 metriä, riittää tarkkeiden tiheydeksi 100 metriä. Mikäli kaarresäde on jyrkempi kuin 1 500 metriä, on tarkkeet hyvä ottaa ainakin 50 metrin välein. Saadut tulokset ja poikkeamat dokumentoidaan selkeästi myöhempää jatkotarkastelua varten. [15.]

8.4 Koneautomaatiojärjestelmistä

Koneohjausjärjestelmien laitteistontarjoajia on jo nykyisellään saatavissa useita joiden kaikkien käyttöjärjestelmät poikkeavat hieman toisistaan. Suomessa eniten käytössä olevia ohjelmistoja tarjoavat Geosystems Oy (Leica), Novatron Oy, Top Geo (TopGon) sekä Geotrim Oy (Trimble). Parhaimmillaan osa valmistajien näyttöpäätteistä lukee suoraan esimerkiksi DXF-suunnitteluformaattia. [7.]

Osa järjestelmistä vaatii kuitenkin mallien luomista laitteiston omilla ohjelmilla. Tässä kohtaa luodaan lyhyt katsaus Trimblen GCS900- käyttöjärjestelmään sekä sen Business Center-ohjelmistoon jolla mallit siirretään varsinaiseen työkoneeseen käytettäväksi. Aluksi tarvittavat 3D-taiteviivat luetaan sisään ohjelmaan esimerkiksi DXF-formaatissa ja geometria VGP/XML-muotoisena. TCC Explorer apuohjelman avulla voidaan Windowsin Explorerista kirjautua pilvipalveluun syöttämällä organisaation käyttäjätunnukset ja salasana. Kirjautumisen jälkeen pilven sisältö saadaan Explorerista näkyviin suoraan oman tietokoneen alta. Hakemistosta löytyvät helposti kaikki kyseisen työkoneen suunnitelmat, jaettuna omiin kansioihinsa. Mikäli mallit viedään ohjelmaan sisään USB-tikulla, pitää tikulle luoda hakemistorakenne "X:\Machine Control Data\All". Jokainen malli tulee tallentaa omaan kansioonsa "All"-kansion alle. Looginen nimeäminen helpottaa jatkossa koneen kuljettajan käyttöä, koska malli valitaan nimenomaan kansion nimen perusteella.

Kun tiedostot on saatu siirrettyä, käynnistetään itse ohjelmisto ja valitaan avautuvasta aloitussivusta "Tietojen valmistelu"-valikot. Ensimmäiseksi luodaan projektimalli, johon syötetään tarvittavat perusasetukset:

- a) Valitaan "Tiedosto ⇒ Uusi". Valitaan esimerkiksi Metric Template
- b) Valitaan "Projekti ⇒ Projektiasetukset"
- c) Valitaan "Yksiköt ⇒ Koordinaatti". Järjestyksen tulee olla P, I, Korkeus
- d) Tarkistetaan "Yksiköt ⇒ Etäisyys", yksiköiden tulee olla metrejä
- e) Tarkistetaan "Yksiköt ⇒ Paaluluku", pitäisi olla paljas lukuarvo
- f) Painetaan "Ok"
- g) Tässä kohtaa on mahdollista tuoda käytettävä muunnostiedosto valmiiksi projektin pohjalle
- h) Valitaan "Tiedosto ⇒ Tallenna projekti mallina". Syötetään nimi ja määritetään tarvittaessa oletusmalliksi. Lopuksi painetaan "Tallenna".

Tämän jälkeen voidaan avata uusi projekti, jolloin edellä luotu projektimalli on nyt valittavissa. Seuraavaksi tiedostoon luetaan mallin lähtöaineisto, sekä valitaan oikea koordinaattijärjestelmä polusta "Projekti ⇒ Vaihda koordinaattijärjestelmä" tai vastaavasti tuodaan se projektiin DC-muodossa. Koneohjausta käytettäessä koordinaatisto on vält-

tämätön tieto, jota ilman mallia ei voida hyödyntää. Tämän jälkeen ohjelman ruudulla tulisi näkyä haluttu lähtötietoaineisto tasokuvana. Tasojen ja elementtien hallinnasta voidaan tarvittaessa määritellä tasot jotka halutaan sammuttaa tai eristää. Tasojen ominaisuuksia voi myös muokata, esimerkiksi taso-optiot-toiminnolla voidaan määritellä kunkin tason väri, lisäksi yksittäisen elementin ominaisuuksia voi muuttaa hiiren oikealla näppäimellä avautuvasta ”Ominaisuudet”-valikosta.

3D-pintamallin luomiseksi tarvitaan uusi pinta, joka saadaan valikosta ”Pinta ⇒ Luo Pinta”. Tämän jälkeen annetaan mallille nimi ja painetaan kenttää ”Valittuna: XX” sekä valitaan objektit, joista pintamalli koostuu. Valinta voidaan suorittaa joko yksitellen Ctrl-näppäin pohjassa tai vastaavasti maalaamalla isompi alue kerralla. ”Optiot”-napin alta saadaan myös muita valintamahdollisuuksia kuten ”Valitse tason mukaan”. Lopuksi painetaan ”OK”, jolloin pintamalli on luotu.

Kolmioinnin asetuksia voidaan muuttaa myös manuaalisesti. Tällöin valitaan pintamalli aktiiviseksi hiiren vasemmalla näppäimellä. Valinnan jälkeen painetaan oikeaa näppäintä, jolloin avautuvasta Ominaisuudet-valikosta voidaan määrittää kulmien suuruus ja kolmion sivujen pituus. Tämä päivittää kolmiot automaattisesti. Kolmiointi voidaan pakottaa geometrian mukaiseksi Ominaisuudet-valikon kohdasta ”Vaakageometria”. Muutetaan ”Geometriapohjainen” -kohtaan valinta ”kyllä”, jolloin kolmiointi päivittyy automaattisesti geometrian mukaiseksi. Mikäli mallissa on edelleen ylimääräisiä kolmioita, ne voidaan tarvittaessa poistaa valikosta: ”Pinta ⇒ Leikkaa pinnan reuna”. Napsautetaan ensin kursoria poistettavien kolmioiden ulkopuolella, sitten sisäpuolella jonka jälkeen toiminto poistaa vain viiva-aineiston ulkopuolella olevat kolmiot.

Visuaalinen tarkastelu voidaan suorittaa valikosta ”Katso ⇒ 3D-näkymä”. Zoomaaminen tapahtuu hiirellä rullaamalla, panorointi saadaan pitämällä hiiren keskinäppäintä pohjassa. Pyörityskeskipisteen valinta tapahtuu painamalla Alt-näppäin pohjaan sekä klikkaamalla hiiren vasenta nappia. Mallia voidaan pyörittää painamalla Ctrl-näppäintä sekä liikuttamalla hiirtä keskinäppäin pohjaan painettuna.

Mikäli mallin geometria on käytössä, poikkileikkauksia voidaan tarkastella ohjelmaikkunan vasemmassa reunassa sijaitsevan ”Projektien hallinta ⇒ ikkuna” valikon kautta. Mikäli valikko ei näy, sen saa esiin painamalla ”F9”. Painetaan ”Geometria” -kohdasta haluttua geometriaa hiiren oikealla napilla ja valitaan ”Uusi poikkileikkausnäkyvä”. Avautuvasta ikkunasta saadaan näkyviin mallin poikkileikkaukset paalulukuun sidottui-

na. Mikäli projektissa on useampia pintamalleja, saadaan haluttu malli valittua toiminnolla "Pinnat".

Kun malli on luotu valmiiksi, lopuksi suoritetaan uloskirjoitus valikosta "Tiedosto ⇒ Vie ⇒ Rakentaminen-välilehti ⇒ Koneen työmaasuunnitelman vientitoiminto". Käydään kentät järjestyksessä läpi ylhäältä alas. Seuraavaksi valitaan mallityyppi "Pinta", mikäli luodaan pelkkä pintamalli. Tien pinnan luominen vaatii pintamallin lisäksi geometrian, "3D-Viivasto"-toiminto kirjoittaa esimerkiksi 3D-putkilinjat ulos. "Pinnan leikkausrajaa" ei ole pakko määrittellä. Mikäli mallin tyyppi on "Tien pinta", kohtaan "Geometria" valitaan pintamalliin kytketty geometria. Suunnitelmakartaksi valitaan mallikohtainen taustakartta. Visualisoinnin helpottamisen takia on suositeltavaa valita mukaan ainakin kaikki taiteviivat. Taiteviivoja voidaan myöhemmin aktivoida esimerkiksi konekuskin opastusta varten. Seuraavaksi annetaan tiedostonimi sekä valitaan mallin tallennuspaikka esimerkiksi polusta "My Computer ⇒ TCC Explorer ⇒ "asiakas" ⇒ TrimbleSynchronizerData ⇒ "koneen nimi" ⇒ Machine Control Data ⇒ "kansion nimi". Kansio on syytä luoda helposti ymmärrettävällä ja loogisella nimellä, koska koneen kuljettaja valitsee käytettävät suunnitelmat sen mukaan. Malli voidaan toki tallentaa myös esimerkiksi koneiden käyttämään pilvipalveluun tai USB-tikulle, jolta se voidaan siirtää manuaalisesti työkoneen käyttöyksikköön.

Viimeisenä määritetään "Asetukset" esimerkiksi "Ohjaintyyppi: GCS900 ⇒ Ohjaimen ohjelmistoversio: 12.60 ⇒ Ota käyttöön laajennettu koordinaatistojärjestelmän tuki: Kyllä ⇒ Ota käyttöön laajennettu osageoidimallin tuki: Kyllä". Valitaan "Vie", jolloin aineisto tallentuu valittuun paikkaan. Onnistuneen tallennuksen jälkeen kansioista tulisi löytyä pintamalli (SVD) sekä linjat (SVL). Jos koordinaattijärjestelmä on valittu kirjastosta tai tuotu ulkoa DC-muodossa, on mukana myös muunnostiedosto (CFG/CAL). [24.]

9 InfraKit

Aikaisemmin työssä tuli todettua, että mittamiehen vastuu työmaalla kasvaa samalla kun toimenkuva muuttuu. Mallien oikeellisuuden tarkistaminen on tarkkaa, lisäksi koordinaattijärjestelmien muunnokset, erilaisten formaattimuotojen viidakko sekä puutteellisen suunnitelma-aineiston muokkaaminen syövät usein turhan paljon resursseja, joita tarvittaisiin työkoneautomaation valvonnassa ja mallien käytön ohjeistuksessa ja toteutuksen seurannassa. Uutena toimijana alle on tullut yritys nimeltä InfraKit, entinen Kuu-

ra-ohjelmiston kehittäjä, jonka visiona on helpottaa tätä työtaakkaa oleellisesti jo ennen kuin suunnitelma-aineisto lähtee suunnittelijalta työmaalle. Tavoitteena on, että palveluntarjoajan ohjelmistoon syötetyt mallit ovat työmaalle siirtyessään käyttökelpoisia sellaisenaan. Yritys tarjoaa työkaluja rakennuttajan, suunnittelijan sekä tilaajan käyttötärpeisiin. [2.]

InfraKit Oy on perustettu vuonna 2010 spin-offina Oulun Yliopiston tutkimusryhmästä. Tällä hetkellä yritykseen kuuluu yhdeksän työntekijää, lisäksi se on työntekijöidensä omistuksessa. Yrityksen toimintaideana on tarjota infrahankkeiden osapuolille palvelin-pohjainen ohjelmisto, jonka kaikki käyttäjät jakavat saman ajantasaisen informaation. Verkkoselaimen avulla rakennushankkeiden eri vaiheiden tiedot siirtyvät kaikille projektin toimijoille läpinäkyvästi. Yritys huolehtii suunnitelmien ja tiedostoformaattien yhteensovittamisesta, lähtökohtana on, että kaikki tieto joka tietokantaan syötetään, on suoraan hyödynnettävissä työmaalla mittalaitteissa ja koneohjausjärjestelmissä. Käyttöliittymä tukee kaikkia avoimia tiedonsiirtoformaatteja. Kuten on jo noussut esille, yleinen pyrkimys alalla on siihen suuntaan, että suunnitelmat saataisiin tulevaisuudessa työmaille aina LandXML-muotoisena. [2.]

9.1 Rakennuttajan ja urakoitsijan työkalut

InfraKit tarjoaa useita työkaluja eri toimijoiden käyttöön. Rakennuttaja voi esimerkiksi urakan kilpailutusvaiheessa avata tarjoajille näkymän palvelimen suunnitelma-aineistoon, jolloin hankkeen kokonaiskuvan hahmottaminen onnistuu varsin helposti. Rakentamisen aikainen mallipohjainen laadunvarmistus poistaa turhaa työtä urakoitsijalta sekä mittauksen valvojalta, lisäksi toteumamittaukset ja päivittyvät suunnitelma-aineistot kerätään suoraan InfraKitin palvelimelle, jossa valvoja voi hyväksyä muutokset ja tarkemittauksen tulokset suoraan digitaalisesti. Ylimääräisiä PDF-muotoisia poikkileikkauskuvia ei enää työmaalla tarvita, koska kaikki poikkileikkauskuvat ovat suoraan saatavissa InfraKitin tietokannassa. [2.]

Pääurakoitsijan kannalta palvelu helpottaa huomattavasti tiedonsiirtoa työmaan eri osapuolien välillä. Samassa hankkeessa toimii usein monia käyttäjiä, kuten mittapäällikkö, työnjohtaja, projektipäällikkö, työkoneiden kuljettajat sekä mittamiehet. Sovelluksen avulla tarvittavat tiedot saadaan jaettua kootusti kaikille osapuolille samanaikaisesti, lisäksi koneohjausjärjestelmien keskitetty hallinta tehostaa ja helpottaa työmaalla työs-

kentelyä ja työtehtävien jakamista. Kun kaikilla on käytössään aina sama, päivitetty aineisto sekä uusimmat tarke- ja toteumamittaukset ja valokuvat, työmaa on läpinäkyvä eikä vanhoista suunnitelmakuvista johtuvia virheitä pääse syntymään. Tämä tehostaa väistämättä työmaan johtamista ja helpottaa toteutusten läpimenoaikoja. [2.]

9.2 Suunnittelijan ja tilaajan työkalut

Suunnittelijalle InfraKit tarjoaa myös erilaisia vaihtoehtoja, kuten maastokatselmuksen suorittamisen mobiililaitetta apuna käyttäen. Suunnitelma-aineisto voidaan kuljettaa mukana esimerkiksi tablet-tietokoneella, josta maastoa voidaan vaivatta verrata kartta-aineistoon. Paikannus voidaan toteuttaa esimerkiksi tablet-laitteen GPS:n avulla. Ohjelmaan voi lisäksi liittää kuvia sekä kommentteja yhdessä niiden paikkatiedon kanssa. Syksyllä 2014 tuoteperheeseen lanseerattiin lisäksi uusi 3D-yhdistelmämallityökalu, joka mahdollistaa palveluun syötettyjen tietomallien tarkastelun Google Earth-sovelluksen päällä. Tällöin voidaan esimerkiksi toteuttaa hankkeen kolmiulotteinen visualisointi esimerkiksi työmaapalaverissa tai yleisötilaisuudessa, tehdä kamera-ajaja vaikka mittalinjaa pitkin tai tarkastella rakennekerrosten kuten putkien ja kaivojen sekä siltojen pintamallien sijoittumista todelliseen ympäristöönsä. Ohjelmassa on suora tuki aineiston katseluun Street View-toiminnolla, lisäksi se suorittaa törmäystarkastelun automaattisesti. [2.]

Tilaajalle on ohjelmistopakettissa räätälöity omat työkalunsa. Suunnitelmien tarkastamiselle ja tilaamiselle on omat toimintonsa, suunnitelmat ja toteumamittaukset on myös mahdollista hyväksyä helposti digitaalisella allekirjoituksella. Hankkeet on jäseneltävissä selkeään järjestykseen, lisäksi tilaajalla on mahdollisuus kutsua suunnittelijoita, rakennuttajia sekä muita projektin osapuolia hankkeeseen suoraan InfraKitissä. [2.]

10 Vertailua koneohjauksen ja perinteisen menetelmän välillä

Koneohjaukseen siirryttäessä nousee esiin kysymyksiä investointien kannattavuudesta ja niillä saavutettavista hyödyistä ja säästöistä. Monilla pk-yritysten toimijoilla ei edes ole täysin tarkkaa tietoa siitä, mitä koneohjauksella tarkoitetaan ja miten sitä hyödynnetään. Tähän osioon on kerätty koneohjauksen vaikutuksia eri käyttäjänäkökulmista katsottuna. Lähtökohtaisesti koneohjausjärjestelmän hankinnan kannattavuutta tulisi poh-

tia työmaa- ja tapauskohtaisesti hankkeen yhteistyöryhmien kanssa. Sokeasti työko-
neautomaatiota ei ole järkevää ajaa toimintamuodoksi, vaan hyödynnettävyys riippuu
aina projektin mittasuhteista ja toimijoista. [7.]

10.1 Työkoneen kuljettajan näkökulma

Koneautomaatiota käyttävän kuljettajan näkökulmasta näyttöpäätteelle tuotu 3D-malli
helpottaa suuresti kokonais kuvan hahmottamista sekä parantaa oleellisesti työn laatua.
Siinä missä aikaisemmin mittatikut osoittivat oikeat leikkauskorot esimerkiksi 20 metrin
paaluvälein, valmis pintamalli antaa koron jatkuvana tasona mihin kohtaan mallia ta-
hansa. Lisäksi työtä voidaan tehdä myös pimeässä, eikä tarvitse väistellä merkkiviidak-
koa tai pelätä hukkaavansa huonosti näkyviä maalimerkkejä. Työturvallisuus paranee
ja työn toteuttaminen helpottuu, kun koneen avuksi ei enää tarvita apumiestä anta-
maan korkoja tai merkkaamaan rakennekerroksia. Samalla työn mielekkyys nousee,
kun kuljettajan ei tarvitse hyppiä koko ajan koneesta ulos tarkistamaan kaivamansa
pinnan korkoa suhteessa mittatikkuihin. Työvaiheiden suunnittelu on lisäksi helpom-
paa, eikä odottelua tule niin paljon, kun valmis malli antaa tarvittavat tiedot tulevista
rakennekerroksista ja putki- ja kaapelilinjojen sijainnista. Tarvittaessa suunnitelma-
aineistoon pystytään sisällyttämään myös tiedossa olevat vanhat maaperän rakenteet,
kuten esimerkiksi kaapelit tai vesijohdot. Tällöin niitä osataan varoa myös työvaiheiden
edetessä, tosin lähtötietoaineiston ajantasaisuus on tässä kohtaa varsin suuressa roo-
lissa, eikä vanhaan aineistoon kannata sokeasti luottaa. [7.]

Toisaalta koneohjaus lisää myös kuljettajan vastuuta. Se edellyttää koulutusta tarkkuu-
den seurantaan, kalibrointiin sekä toteutumamittausten tekoon, kuljettajalta pitää löytyä
tarvittavat valmiudet järjestelmän käyttämiseksi. Tämä edellyttää paikoin asennemu-
tosta sekä kykyä omaksua uusi toimintamalli osaksi normaaleja arkirutiineja. Käytän-
nössä onkin huomattu, että nuorilla vastavalmistuneilla koneenkuljettajilla on oleellisesti
paremmat valmiudet siirtyä uuteen toimintamalliin kuin vuosikaudet työkseen kaivinko-
netta ajaneilla konkareilla. Tosiasia on kuitenkin se, että koneohjaus on tullut jäädäk-
seen, eikä alalla voi jatkossa tulla toimeen ilman uusien toimintamallien omaksumista.
[7.]

Paikoin koneohjauksen käyttö voi myös olla katvealueista johtuen vaikeaa. Esimerkiksi
suuret korkeuserot, voimalinjat tai tietoliikenneverkot voivat häiritä signaalin kulkua [7].

Samalla järjestelmien käyttöönotto ja ylläpito on ainakin vielä melko kallista, eikä pienillä työmailla ole välttämättä helppoa saada investoinnille riittävää vastinetta. Pienillä toiminimiurakoitsijoilla voi kysymykseksi muodostua hankinnan takaisinmaksuaika, kun alan urakkahinnat on kuitenkin kilpailutettu melko tiukalle. Koneohjatulla kaivinkoneella ei kannata teettää kaikkia työvaiheita, suunnitelmamallin sisältämää konetta on turha laittaa murskaamaan kiviä tienpohjaan, kun sen voi tehdä ilman malliakin. Haasteena onkin sovittaa laskutus ja työtehtävien jako yhteen mahdollisimman kustannustehokkaasti. Toisaalta voidaan ajatella, että koneohjausjärjestelmän käyttäjällä on jatkossa selkeä kilpailuetu muihin urakoitsijoihin nähden. Järjestelmien yleistyessä ja suunnitelmien parantuessa malleja aletaan pian vaatia kaikilla työmailla. [7.]

10.2 Mittamiehen näkökulma

Perinteiseen infrarakentamiseen on kuulunut massiivinen mittatikkujen kylväminen pitkien työmaata. Jokainen työvaihe on käyty merkitsemässä maastoon, jotta koneenkuljettaja ja työmaahenkilöstö voivat sitten mittatikkujen merkinnöistä päätellä, missä haluttuotto- ja rakenteiden leikkausrajat kulkevat. Työtavan riskinä ovat olleet mittamiehen ja koneenkuljettajan väliset väärinymmärrykset, merkkien katoaminen tai siirtyminen sekä hankala maasto kuten pohjaveden nousu kaivantoihin. Mitä useampaan kertaan työn edetessä merkit on pitänyt uusua, sitä varmemmin jossain kohtaa syntyy inhimillisiä virheitä. Lisäksi koneenkuljettaja on ollut lähes poikkeuksetta riippuvainen mittamiehen suunnitelmakuvista. Ilman riittävää maastoonmerkintää koneet ovat seisleet, eikä työmaa ole edistynyt. [7.]

Työkoneeseen tuotava 3D-malli mahdollistaa koneenkuljettajan itsenäisen toimimisen mallin pohjalta. Lisäksi hän kykenee hahmottamaan kokonaisuuden huomattavasti aiempaa paremmin, kun koneen näyttöpäätte näyttää valmiin tierakenteen kokonaisuudessaan. Myös toteumamittausten tallentaminen vähentää tarkemittausten määrää, mikä puolestaan antaa mittaushenkilöstölle aikaa paneutua koneohjauksen tehokkaaseen toimintaan ja mallien tarkistamiseen. Tämä on luonut joillakin urakoitsijoilla harhakuvitelman siitä, että mittaushenkilöstön tarvetta työmaalla voidaan vähentää. Teoriassa asia voi vaikuttaa olevan näin, mutta todellisuudessa työn luonne vain muuttuu. Todellisuudessa mittamiehen rooli työmaalla on tulevaisuudessa tärkeämpi kuin koskaan. Maastoonmerkinnän ja puutikkujen turhauttavan kylvämisen sijaan mittamies voi keskittyä olennaiseen, eli mallien toimivuuteen, työkoneen ohjauksen kalibrointiin sekä

tarkemittauksiin. Ilman mittamiestä jonkun muun täytyisi joka tapauksessa olla perehtynyt järjestelmän toimintaan riittävällä ammattitaidolla. Mikäli koneisiin syötetään virheellisiä malleja, koneenkuljettajalla ei välttämättä ole mitään mahdollisuuksia huomata virheellisiä rakenteita ennen kalliita ja aikaa vieviä virheitä. Lisäksi lähtötietoaineiston riittävän laadun merkitys korostuu, kun suunnitelmat alkavat tarvita pohjalleen entistä tarkempia maastomalleja. Ilman asiantuntevaa mittaushenkilöstöä riittävän luotettavaa maastotietoaineistoa voi olla vaikea saada kootuksi. Työmaan perustaminen onkin projektin onnistumisen kannalta yksi tärkeimpiä asioita. Riittävä ammattitaito ja koulutus työmaahenkilökunnalle mahdollistavat työmaa-automaation toimivan käyttöönoton. [7.]

Tehokkaaseen koneohjaukseen pääsemiseksi myös mittaushenkilöstö tarvitsee lisää tietoa ja koulutusta järjestelmien käytöstä. Suunnittelijoiden ammattitaito tai pikemminkin sen puute asettavat paineita mallien huolelliselle tarkastamiselle ja käyttöönotolle, lisäksi eri formaattien ja koordinaattijärjestelmien ja niiden muutosten tunteminen ovat ensiarvoisen tärkeitä mallien suunnitelmanmukaisen toimimisen kannalta. [7.]

10.3 Urakoitsijan ja tilaajan näkökulma

Koneohjauksella voidaan vaikuttaa suuresti esimerkiksi työturvallisuuteen, lopputuotteen laatuun, hukkatyön määrään sekä ajankäyttöön. Lisäksi materiaalimenekin ennustettavuus esimerkiksi tarjousvaihetta silmälläpitäen paranee huomattavasti. Työolosuhteiden muutokset, kuten pimeys ja vesisade, eivät enää estä työskentelyä, kun koneenkuljettaja näkee mallin virtuaalisesti suoraan näyttöpäätteeltään. Polttoainetta säästyy, jolloin myös ympäristöpäästöt luonnollisesti vähenevät, työvaiheiden läpimenoajat lyhenevät sekä niiden ennustettavuus helpottuu, lisäksi ikävät yllätykset kuten suunnitelmien virheet havaitaan usein jo malleja käyttöön otettaessa. Näin ollen turhat koneiden seisokkiajat saadaan minimoitua, kun maastoon ei ehditä merkkamaan virheellistä tietoa. [7.]

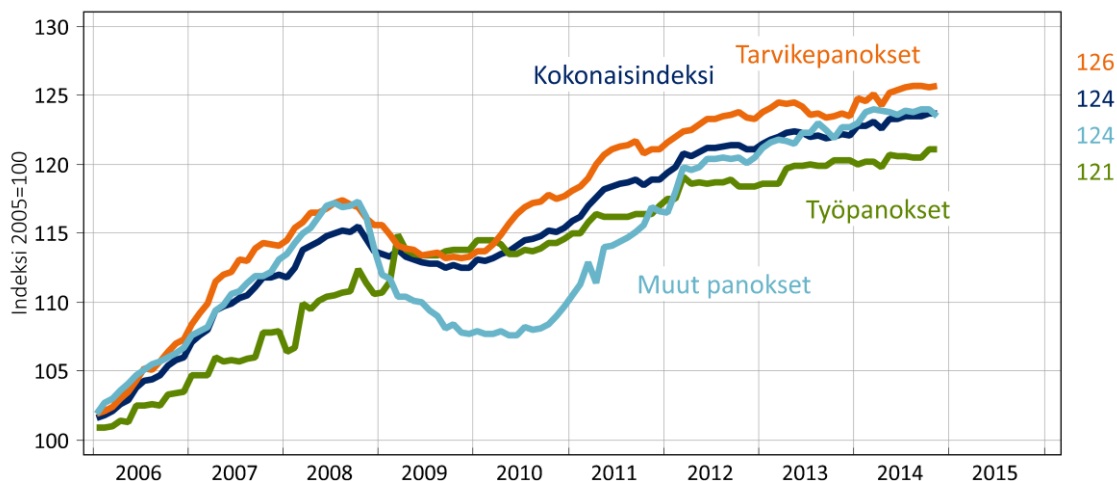
Työajan seuranta ja dokumentoinnin valvonta ja hallinta helpottuvat suuresti, kun toteamittaukset siirtyvät suoraan langattomasti työkoneesta mittamiehelle ja sitä kautta projektipankkiin. Paras hyöty koneautomaatiosta saadaan isoilla ja samalla alueella pysyvillä työmailla, joilla on paljon maaleikkausta ja erilaisten rakennekerrosten levitystä. Tällöin kiinteän tukiaseman perustamiskulut saadaan parhaiten hyödynnettyä. Pie-nemmillä työmailla järjestelmän käyttöönottokulut voivat nousta saatua hyötyä suu-

remmiksi [7]. Järjestelmien hankinnalle vaihtoehtoisena ratkaisuna on myös laitteiston vuokraus käyttötarpeen ja -kohteen mukaan. Jotkin mittausalan yritykset tarjoavat esimerkiksi vuokrauspalvelua työmaakohtaisesti räätälöidyille järjestelmille, jotka voi sovittu vuokra-ajan päättyessä joko palauttaa tai halutessaan ostaa itselleen. Tällöin voidaan tutustua laitteiston toimintaan ilman kalliita hankintakustannuksia sekä selvittää, onko toimintamallille omalla työmaalla edellytyksiä. [23.]

11 Infrarakentamisen talousnäkömät

Vuodesta 2008 alkaneen lamakauden jälkeen maa- ja vesirakentamisen investoinnit Suomessa ovat vähentyneet tasaisesti koko ajan. Julkisten määrärahojen leikkaukset sekä talonrakentamisen pohjatöiden väheneminen ovat syöneet alalta paljon tilauksia, eikä tilanteeseen ole odotettavissa mitään ratkaisevaa käännettä lähitulevaisuudessa. Vaikka raakaöljyn hinta kääntyi vuoden 2014 aikana selvään laskuun, on infrarakentamisen kustannusindeksi noussut vuosi vuodelta tasaisesti ylöspäin (kuva 18). Maanrakennusalan kustannuslajeista päällysteiden hintakehitys heilahtelee voimakkaimmin, lähinnä raakaöljyn hinnan perusteella, mutta muutoin kokonaiskehitys on varsin tasais- ta. [18.]

Rakennuskustannusindeksi

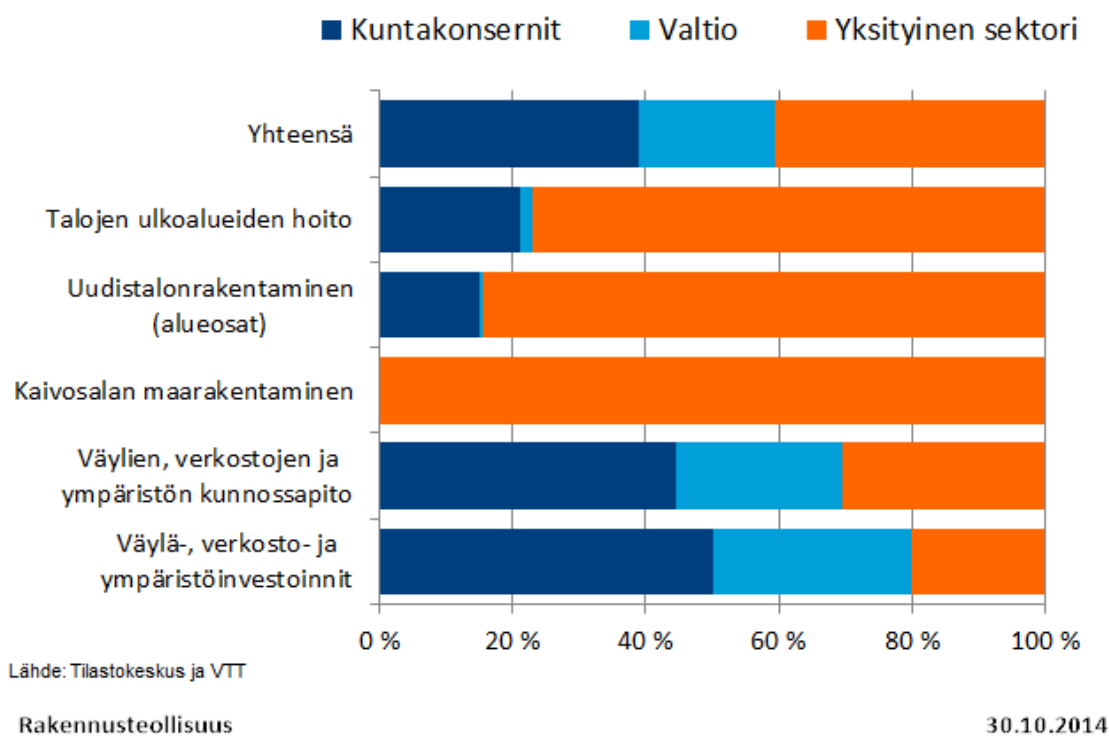


Lähde: Macrobond/Rakennusteollisuus RT

Kuva 18. Infrarakentamisen kustannusindeksin kehittyminen viimeisen kymmenen vuoden aikana [5].

Koska infrarakentamisen tilaajista suurin osa koostuu pääasiassa julkisesta sektorista, kuten valtion ja kuntien teettämästä yhdyskuntien rakentamisesta sekä yhteysverkkojen ylläpidosta (kuva 19), julkisen hallinnon tila vaikuttaa alan työllisyyteen varsin voimakkaasti. Jos määrärahoja leikataan samalla kun rakentamisen kustannukset nousevat, työn tuottavuus ja alan työllistämismahdollisuudet heikkenevät koko ajan. Kuvaaan on sisällytetty väylien ja teknisten verkkojen toteutusten lisäksi esimerkiksi teollisuuden toimialojen kuten kaivostoiminnan investoinnit, talonrakennusten perustus-, pohjarakennus- ja pihatyöt sekä maanalaiset rakenteet, kuten pysäköintihallit ja huoltotunnelit.

Infrarakentamisen sektorit ja tilaajat



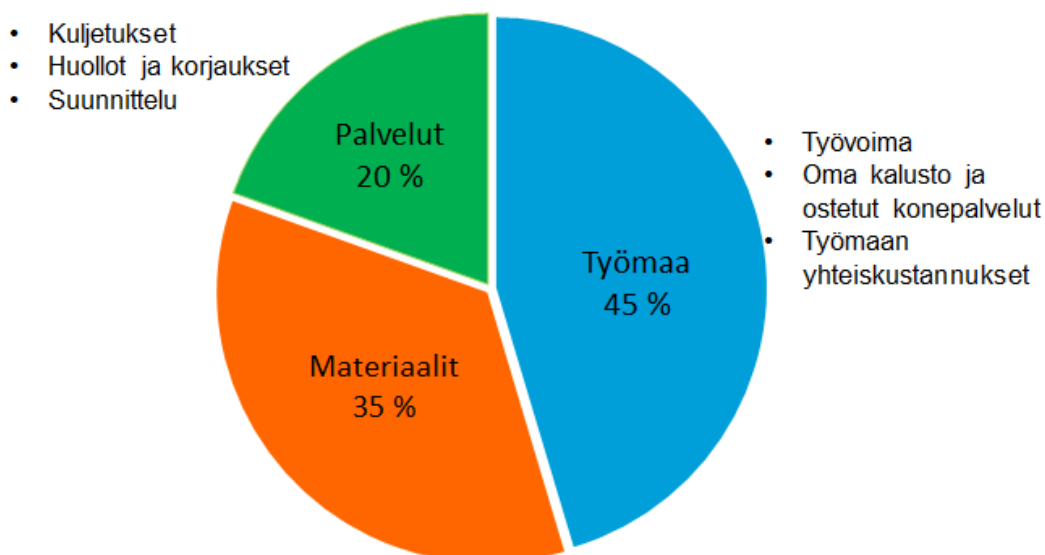
Kuva 19. Infrarakentamisen sektorit ja tilaajat [5].

Selvää on, ettei taloustilanteen äkillistä parantumista tai investointien määrän huomattavaa kasvua nykynäkymien mukaan ole lähivuosina odotettavissa. Näin ollen ainoaksi vaihtoehdoksi alan kilpailukyvyyn parantamiseksi jää tuotannon tehostaminen ja kustannusjakauman keventäminen. Suomi on harvaan asuttu maa, jossa etäisyydet ovat pitkiä ja olosuhteet usein haastavia. Maa routii, joten rakentamiseen ja kunnossapitoon tarvitaan paljon erilaisia kiviaineita, kuten hiekkaa, soraa ja kalliomurskettä. Asukas-

määrällä laskettuna suomalaiset kuluttavatkin vuodessa keskimäärin rekkalastillisen kiveä asukasta kohden [18]. Kuva 20 havainnollistaa karkeasti maa- ja vesirakentamisen kustannusten muodostumista, josta nähdään, että pelkkien materiaalien osuus kaikista menoista on noin 35 prosenttia. Valtaosa investoinneista menee työmaanaikaisiin kustannuksiin, kuten palkkoihin ja kaluston käyttöön sekä muihin työmaatoimintoihin.

Huolellisella ja riittävällä suunnittelulla sekä koneohjausjärjestelmien tehokkaalla hyödyntämisellä voidaan vaikuttaa varsin suuresti kustannusten muodostumiseen ja siirtää työmaa-aikaisten menojen painopistettä hankkeen alkupään suunnitteluun. Näin voidaan parantaa alan kilpailukykyä ja tuottavuutta haastavasta taloustilanteesta huolimatta.

Infrarakentamisen kustannusjakauma



Lähde: Tilastokeskus, VTT

Rakennusteollisuus

30.10.2014

Kuva 20. Infrarakentamisen kustannusjakauma [5].

Työkoneautomaation tuomaa tuottavuuden kasvua on tutkittu esimerkiksi VR Trackin toimesta. Rautatierakentamisen päällysrakenteen tukikerroksen vaihtamisessa, jossa tukikerrosmateriaali kustantaa normaalissa poikkileikkauksessa noin 20 euroa metrille kerrospaksuuden ollessa 1 cm, 100 kilometrin ratapätkä 1 cm ylisyvällä vaihdolla lisää kustannuksia 2 000 000 euroa. Toinen esimerkki saadaan mitoittavasta seulontatyöstä,

jossa aikaisemmin 8 tunnin työvuorossa varsinaista seulontatyötä saatiin suoritettua 6 tuntia. Laadun parannettua työn suoritusta toteutusaika nousi 20 minuutilla, jolloin työsuorite nousi 5,5 prosenttia. Kun 100 km:n seulonnassa tehtiin aikaisemmin noin 111 työvuoroa, nykyään sama työ saadaan toteutettua 95 työvuorossa. Säästöä kertyy 11,1 miljoonan euron seulonnassa noin 600 000 euroa. [27.]

12 Yhteenveto

Työ tekijäänsä opettaa, niin kuin vanha sanonta kuuluu. Näin kävi tässäkin tapauksessa. Aluksi lähdin liikkeelle sillä ajatuksella, että insinöörityöni käsittelee pääasiassa koneohjausmallin luomista ja työmaa-automaation esittelyä. Lähdetietoja haeskellesani ja aihepiiriin syventyessäni tajusin, että aihealueesta ei juuri ole eksaktia tietoa helposti kootussa muodossa. Koneohjaukseen liittyvä informaatio ja ohjeistot ovat hajallaan, eikä tämänhetkisen kokonaiskuvan hahmottamiseksi ole mitään valmista kirjallista lähdettä. Minusta alkoi tuntua, että yksittäisten mallien rakentamista hyödyllisempää olisikin tehdä yhteenveto siitä, missä alalla todella mennään.

Infrarakentamisen tulevaisuuden kannalta tietomallipohjaisen ajattelutavan sekä siihen liittyvien aihepiirien ymmärtäminen pitäisi saada osaksi kaikkea maanmittaustekniikan ja infra-alan koulutusta. Rakennuspuolellakin on jo selvä tieto siitä, mihin kustannussäästöihin ja työmaatehokkuuden parannuksiin koneohjauksella pystytään, mutta varsinaisesta järjestelmien käytöstä ja sen ongelmista ja kehitysmahdollisuuksista ei käytännössä ymmärretä mitään.

Tässä kohtaa heittäisinkin palloa myös koulutuksentarjoajien suuntaan. Erilaisilla poikkitieteellisillä koulutuslinjojen rajat ylittävillä yhteisillä hankkeilla voitaisiin lisätä huomattavasti vuorovaikutusta ja yhteisymmärrystä esimerkiksi työnjohtopuolen ja mittaus- ja suunnittelupuolen välillä. Metropolia toteuttaa jo esimerkiksi sosiaali- ja terveydenhuoltoaloilla varsin laajamittaista innovaatioprojektitoimintaa eri toimijaryhmien välillä. Olisiko rakennusklusterin puolella syytä panostaa enemmän vastaavanlaiseen toimintaan? Tällöin saataisiin työkentälle insinöörejä, joilla olisi jo koulutuksen puolesta paremmat valmiudet siirtyä siihen maailmaan, jossa rakennusalalla tällä hetkellä eletään.

13 Pohdintaa

On selvää, että työkoneohjaus on tullut infrarakentamiseen jäädäkseen. Jatkuvan mallin ehdoton etu verrattuna vanhoihin poikkileikkauksista laskettuihin paaluvälitikkuihin on varsin selvä, siinä missä perinteisesti konekuski tekee rakennekerrokset silmämääräisesti esimerkiksi 20 metrin välein sijoitettujen korkomerkkien perusteella, valmis malli antaa jatkuvan koron kaivinkoneen kauhalle missä kohtaa rakennepintaa tahansa. Kustannustehokkuuden kannalta materiaalisäästöt ovat suuret, kun kiviainesta kulutetaan suunniteltu määrä ilman niin sanottua ryöstöä suuntaan tai toiseen. Toki on huomioitava, ettei koneohjauslaitteisto itsessään tuo hyötyjä, mikäli sitä ei osata hyödyntää oikealla tavalla. Liian usein työmaalla näkee, että koneohjausmallilla varustettu kaivinkone murskaa kiviä tiepohjaan, kun sen voisi tehdä aivan yhtä hyvin se jonka koneessa ei malleja ole. Työtehtävien jako ja resurssien oikea hyödyntäminen saadaan toimimaan ainoastaan silloin, kun työnjohdolla on riittävästi ammattitaitoa ja tietoa siitä, mihin malleja käyttämällä pystytään ja kuinka työvaiheet kannattaa jakaa.

Lopuksi haluaisin lähettää terveisiä myös koneohjausjärjestelmien valmistajille; työmaalla törmää usein toistuvaan ilmiöön jossa työkoneen GNSS-satelliittivastaanottimet on asennettu kaivinkoneen peräpäähän siten että pakoputki työntää savut suoraan vastaanottimeen (kuva 21). Olisiko tässä kohtaa helpon kehitystyön paikka?



Kuva 21. Työmaalla tuttu näky – kaivinkoneen peräpään satelliittivastaanotin on asennettu suoraan pakoputken taakse [7].

Lähteet

- 1 Salonen, Anssi. 2014. Huippututkimus vauhditti mallinnuksen läpimurtoa rakennusalalla. Verkkodokumentti. InfraBIM. Tekla.
<http://www.infrabim.fi/huippututkimus-vauhditti-mallinnuksen-lapimurtoa-infralalla/>. Luettu 20.11.2014.
- 2 InfraKit-yhteistyöpäivä Heurekassa 23.9.2014. Järjestäjä: InfraKit Oy.
- 3 TopGeo Oy. 2014. Verkkodokumentti.
<http://www.topgeo.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=126>. Luettu 12.12.2014.
- 4 Salminen, Kaisa. 2011. Infrarakentaja- Infra Oy:n aikakauslehti 6/2011. Verkkodokumentti. Rakennusmedia.
<<http://www.rakennusmedia.fi/Download.aspx?id=8402&type=1>> . Luettu 3.12.2014.
- 5 Rakennusteollisuus RT. 2014. Verkkosivut. <www.rts.fi/infrabim>. Luettu 31.12.2014.
- 6 Törmänen, Markku. 31.7.2012. Verkkodokumentti. Koneyrittäjä-lehti.
<<http://www.koneyrittaja.fi/2012/07/koneohjaus-vahentaa-mittaamista-maanrakennus/>>. Luettu 2.12.2014.
- 7 Ranta, Jari. 30.10.2014. Haastattelu ja Kehä 3:n työmaan esittely. Tripa Oy.
- 8 Scanlaser. 2014. Verkkodokumentti. <http://www.scanlaser.fi/fi/tuotteet-ja-sovellukset_1101.htm>. Luettu 3.12.2014.
- 9 Yleiset inframallivaatimukset 2014 – YIV 2014. Verkkosivu. InfraBIM.<<http://www.infrabim.fi/yiv2014/>>. Luettu 11.1.2015.
- 10 Kempainen, Liisa. Liukas, Juha. 2014. PRE/inframallin vaatimukset ja ohjeet. Yleiset mallivaatimukset. Verkkodokumentti. Sito Oy.
<http://infrabim.fi/luonnokset/InfraBIM_Mallinnusohjeet_OSA_2_Yleiset%20vaatimukset_1_5.pdf>. Luettu 12.1.2015.
- 11 Luoma, Sami. 2013. PRE/inframallin vaatimukset ja ohjeet. Havainnollistaminen. Verkkodokumentti. Vianova Systems Finland Oy.
<http://infrabim.fi/luonnokset/InfraBIM_Mallinnusohjeet_OSA_10_Havainnollistaminen.pdf>. Luettu 12.1.2015.
- 12 Savisalo, Anssi. 2014. Rakennetun alueen kaavoitus. Kurssimateriaali. SAFA.

- 13 Wainio, Marketta. 2014. Rakennetun alueen kaavoitus. Kurssimateriaali. Viano-va Oy
- 14 Mäkinen, Erkki. 2014. Inframallin laadunvarmistus. Verkkodokumentti. Tekla Oy.
<http://infrabim.fi/luonnokset/InfraBIM_Mallinnusohjeet_OSA_8_Inframallin_Laadunvarmistus_04_2014.pdf>. Luettu 12.1.2015.
- 15 Jaakola, Mika. 2014. Mallipohjainen laadunvarmistus. InfraKit-päivän luentomateriaali. 25.9.2014. Destia.
- 16 Rope, Vesa. 2014. Rakentamisen mittaukset. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu
- 17 Laurila, Pasi. 2010. Mittaus ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
- 18 Rakennusteollisuus RT. 2014. Verkkosivut.
<<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/Infrarakentaminen/>>. Luettu 12.1.2015.
- 19 Kråknäs, Pasi. 2014. Satelliittimittaukset. Luentomateriaali. VR Track Oy.
- 20 Miettinen, Samuli. 2006. GPS Käsikirja. Genimap.
- 21 Levitan, Ben. Harte, Lawrence. 2010. Global Positioning Systems (GPS) Systems, Technology and Operation. Althos.
- 22 Häkli, Pasi. Koivula, Hannu. 2004. Virtuaali-RTK (VRS™) tutkimus. Helsinki: Edi-ta Prima Oy.
- 23 3D-Koneohjaus. 2015. Verkkodokumentti. Mitta Oy.
<<http://www.mitta.fi/koneohjaus.html>>. Luettu 21.1.2015.
- 24 Paitsola, Janne. 1.4.2014. Business Center Pikaohje. Trimble Oy.
- 25 Rakennustiedon verkkosivut. 2012. Verkkodokumentti. InfraRyl Net.
<<https://www.rakennustieto.fi/infraryl/>>. Luettu 15.1.2015.
- 26 InfraRYL-laadunohjaushanke. 2006. Verkkodokumentti. RTS.
<<http://www.rts.fi/infraryl/>>. Luettu 15.1.2015.
- 27 Saksi, Ville. 8.4.2014. Teknologialla tuottavuutta. Verkkodokumentti. VR Track Oy. <http://www.vtt.fi/files/sites/infra2030/Ville_Saksi.pdf>. Luettu 13.2.2015.

- 28 Novatron internet-sivut. 2015. Verkkodokumentti. Novatron Oy.
<<http://www.novatron.fi>>. Luettu 28.2.2015.
- 29 Kalle Serén. InfraTM. 2014. Rakennetun alueen kaavoitus. Kurssimateriaali.
- 30 Jari Niskanen. WSP Finland Oy. PRE/inframallin vaatimukset ja -ohjeet, Tietomallipohjaisen hankkeen johtaminen.
- 31 YIT Infra Oy. Työmaasuunnitelma-aineisto/Kehä 3. Työmaakatselmus
30.10.2014.
- 32 Ellipsoidi ja Geoidi. 2014. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos.
<<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/3d-koordinaatitot/ellipsoidi-geoidi>>. Luettu 13.3.2015.

