



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

3D-KONEOHJAUKSEN KÄYTTÖÖNOTTO JYVÄSKYLÄN KAUPUNGILLA

TEKIJÄ: Matti Hannuksela

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Matti Hannuksela	
Työn nimi 3D-koneohjauksen käyttöönotto Jyväskylän kaupungilla	
Päiväys	4.1.2017
Sivumäärä/Liitteet	58/4
Ohjaaja(t) Tuntiopettaja Juha Pakarinen, tuntiopettaja Mervi Heiskanen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Jyväskylän kaupunki, Altek aluetekniikka/Kadunrakennuspäällikkö Teemu Liimatainen	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Jyväskylän kaupunki on kokeillut pilottiluontoisesti koneohjausjärjestelmien käyttöönottoa vuoden 2016 aikana ja nyt työkoneautomaation käyttö on tarkoituksena ottaa käyttöön laajemmin. Työn tavoitteena oli luoda Jyväskylän kaupungin käyttöön koneohjauksen laadunvarmistusohjeet. Erilliset ohjeet on tehty suunnittelijoille, maastomittajille, koneenkuljettajille sekä työnjohdolle ja niitä tullaan hyödyntämään kaupungin omissa koneohjatuissa katurakennushankkeissa.</p> <p>Laadunvarmistusohjeet on laadittu haastattelujen, alan kirjallisuuden, oman tietotaidon sekä työmailta hankitun kokemuksen pohjalta. Suunnittelijoiden käyttöön luodut ohjeet pohjautuvat pääosin Yleiset inframallivaatimukset 2015 -ohjeistukseen. Työhön on haastateltu Espoon sekä Oulun kaupunkien yhteyshenkilöitä järjestelmien käyttöönottoon ja toimintaan liittyen. Kyseiset kaupungit ovat käyttäneet koneohjausta omissa katurakennushankkeissaan jo vuosia ja haastatteluissa on selvitetty kaupunkien toimintamalleja koneohjauksen hyödyntämisessä. Lisäksi haastatteluissa on kartoitettu odotettavissa olevia hankaluuksia järjestelmien käyttöönottoon liittyen.</p> <p>Työssä kerrotaan koneohjausjärjestelmillä saavutettavat edut sekä haasteet, verrattuna perinteiseen rakentamiseen. Opinnäytetyön ohessa on suunniteltu taloudellisesti ja toiminnallisesti järkevin ratkaisu koneohjausjärjestelmien vaatiman korjausdatan hankintaan. Työhön tehtyjen haastattelujen pohjalta Jyväskylän Altek aluetekniikka -liikelaitos harkitsee hankkivansa kiinteän tukiaseman, jolla pystytään tarjoamaan sijaintikorjaus kaikkiin kaupungin katurakennuskohteisiin. Työn tuloksena laaditut koneohjauksen laadunvarmistusohjeet löytyvät työn liitteistä.</p>	
Avainsanat 3D-koneohjausjärjestelmä, koneohjausmalli, Jyväskylän kaupunki, infrarakentaminen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author(s) Matti Hannuksela			
Title of Thesis Introduction of 3D Machine Control System in the City of Jyväskylä			
Date	January 4, 2017	Pages/Appendices	58/4
Supervisor(s) Mr Juha Pakarinen, Lecturer Savonia UAS, Ms Mervi Heiskanen, Lecturer Savonia UAS			
Client Organisation /Partners Mr Teemu Liimatainen, Construction Manager, Jyväskylän Altek aluetekniikka			
<p>Abstract</p> <p>The City of Jyväskylä has been testing the implementation of machine control systems on its street construction sites. The purpose of this thesis was to create quality assurance instructions to machine control systems for the City of Jyväskylä. Separate instructions were made for designers, surveyors, operators and supervisors. Quality assurance instructions will be used in the city's own street construction projects.</p> <p>Quality assurance instructions are based on interviews, literature and the author's own experience. Designer instructions mainly concern the Common Infra Model Requirements. Thesis also contains interviews of other cities contact persons concerning the commissioning and usage of machine control systems.</p> <p>The thesis explains the benefits and challenges of machine control system usage compared to a conventional way of building. A part of this thesis was to design the most functional and economical way to provide satellite correction services to contractors working for Jyväskylä City. Based on this thesis Altek is now considering the purchase of an integral base station that would provide satellite correction services for Altek's every street construction project.</p>			
<p>Keywords</p> <p>3D machine control system, machine control model, City of Jyväskylä, infrastructure construction</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Jyväskylän kaupunki, Altek aluetekniikka	7
1.2	Tausta ja tavoitteet.....	7
2	SATELLIITTIPAIKANNUS	8
2.1	Satelliittipaikannuksen perusteet	8
2.2	Mittausmoodit.....	9
2.2.1	Absoluuttinen paikannus.....	9
2.2.2	Differentiaalinen paikannus.....	10
2.2.3	Suhteellinen mittaus.....	11
2.3	Paikannustarkkuuteen vaikuttavat tekijät.....	12
3	3D-KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄT	13
3.1	3D-koneohjausjärjestelmien perusteet.....	13
3.2	Satelliittipaikannukseen perustuva koneohjaus.....	14
3.2.1	Siirrettävä tukiasema.....	15
3.2.2	Kiinteä tukiasema.....	15
3.2.3	Verkko-RTK-menetelmä.....	18
3.3	Takymetriseurantaan perustuva koneohjaus	19
3.4	3D-koneohjauksella saavutetut hyödyt	21
3.5	3D-koneohjauksen tuomat haasteet:	22
4	3D-KONEOHJAUKSEN SOVELLUKSIA	23
4.1	Sihtilapuista satelliitteihin	23
4.2	3D-koneohjaus kaivinkoneessa	23
4.3	3D-koneohjaus tiehöylässä	26
4.4	3D-koneohjaus puskukoneessa	31
4.5	3D-koneohjaus tiivistyskoneessa	32
4.6	3D-koneohjauksen tulevaisuus.....	33
5	TIETOMALLINNUS	35
5.1	Inframalli	35
5.2	Inframallin sisältö	36
5.3	InfraBim.....	37

5.4	Inframodel-formaatti.....	38
5.5	Infrakit.....	39
5.6	Koneohjausmalli.....	42
6	VERTAILU KONEOHJAUKSEN JA PERINTEISEN MENETELMÄN VÄLILLÄ.....	43
6.1	Koneohjauksen yleistyminen.....	43
6.2	Vaikutus päätoteuttajan ja suunnittelijan tehtäviin	43
6.3	Vaikutus mittaushenkilön tehtäviin	44
6.4	Vaikutus työkoneenkuljettajan tehtäviin	45
7	KYSELYTUTKIMUS KONEAUTOMAATION KÄYTTÖKOKEMUKSISTA.....	47
7.1	Tutkimuksen taustat	47
7.2	Espoon ja Oulun kaupunkien edustajien haastattelut.....	47
7.2.1	Koneohjauksesta yleisesti	47
7.2.2	Korjausdatan hankintamuoto	48
7.2.3	Työmaamittaukset.....	48
7.2.4	Koneohjausjärjestelmien ylläpito	49
7.2.5	Suunnitelmat	49
8	YHTEENVETO.....	50
	LÄHTEET	52
	LIITE 1: KONEOHJAUKSEN LAADUNVARMISTUSOHJE SUUNNITTELIJALLE.....	54
	LIITE 2: KONEOHJAUKSEN LAADUNVARMISTUSOHJE MITTAJALLE.....	56
	LIITE 3: KONEOHJAUKSEN LAADUNVARMISTUSOHJE KULJETTAJALLE	57
	LIITE 4: KONEOHJAUKSEN LAADUNVARMISTUSOHJE TYÖNJOHDOLLE.....	58

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

C/A-koodi	Coarse/Acquisition –koodi on satelliittien lähettämä paikannuskoodi, joka on suunniteltu siviilikäyttöön.
Galileo	Euroopan unionin oma satelliittipaikannusjärjestelmä, joka on parhaillaan kehitteillä. Arvioitu valmistumisaika on vuonna 2018.
Glonass	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikova on Venäjän ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä.
GNSS	Global Navigation Satellite System, maailmanlaajuisesti käytettävissä olevien satelliittipaikannusjärjestelmien muodostaman kokonaisuuden yhteisnimitys.
GPS	Yhdysvaltojen kehittämä ja ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä.
InfraBIM	Inframallintamisen yhteistyöfoorumi, jonka tuotoksena on luotu Yleiset inframallivaihtimukset 2015 -ohjeistus.
Infrakit	Oulun yliopiston tutkimuksen pohjalta kehitetty, infrahankkeita varten luotu selainpohjainen pilvipalvelu.
Ionosfääri	Ilmakehän ylin kerros, joka sijaitsee noin 50–400 kilometrin korkeudessa maan pinnalta.
Kantoaalto	Satelliitin vakiotaaajuudella ja –amplitudilla lähettämä jaksollinen signaali, jota käytetään havaintosuureena etäisyyden mittaamiseen, suhteellisessa mittaustavassa.
RTK	Real Time Kinematic, eli reaaliaikainen kinemaattinen mittaus. Mittauksessa käytetään vähintään kahta satelliittivastaanotinta. Toinen vastaanotin sijaitsee tunnetulla pisteellä ja toisella kartoitetaan mitattavat kohteet reaaliajassa.
Troposfääri	Ilmakehän alin kerros.
VRS	Virtual Reference Station, eli virtuaalinen tukiasema.

1 JOHDANTO

1.1 Jyväskylän kaupunki, Altek aluetekniikka

Opinnäytetyön tilaajana toimii Jyväskylän Altek aluetekniikka, joka on vuonna 2004 perustettu, Jyväskylän kaupungin liikelaitos. Jyväskylän kaupungin organisaatiossa Altek kuuluu kaupunkirakenteen toimialaan. Pääasiallisena tehtävänä on tuottaa katu- ja viherrakentamispalveluita, alueiden hoito- ja kunnossapitopalveluita, kone- ja kuljetuspalveluita, maa- ja kiviainespalveluita sekä mittaus- ja pohjatutkimuspalveluita. Altekin liikevaihto on n. 19 miljoonaa euroa ja vakituisia työntekijöitä on noin 100. (Jyväskylä.fi.)

1.2 Tausta ja tavoitteet

Jyväskylän kaupunki on katurakennuskohteissaan siirtymässä koneohjausjärjestelmien hyödyntämiseen. Tässä opinnäytetyössä perehdytään kyseisten järjestelmien toimintaan ja selvitetään niiden hyötyjä sekä käyttöönottoon liittyviä seikkoja.

Työssä esitellään sekä opastavien että ohjaavien koneohjausjärjestelmien toimintaa. Aluksi tarkastellaan satelliittipaikannuksen peruseriaatteita, jonka jälkeen edetään yksityiskohtaisesti tarkastelemaan järjestelmien toimintaa eri koneyksiköissä. Työssä syvennyttään myös koneohjauksen mahdollistaviin osakokonaisuuksiin, kuten sijainnin korjausdataan, pilvipalveluihin, laadunvalvontaan sekä tarkemittauksiin. Työ sisältää myös Oulun sekä Espoon kaupunkien yhteyshenkilöiden haastattelut, joissa tutkitaan kyseisten kaupunkien kokemuksia 3D-mittalaitteiden käyttöönottoon liittyvistä kokemuksista sekä saavutetuista eduista ja haasteista. Haastattelut toteutettiin sähköpostin välityksellä, toimittamalla ennalta laaditut kysymykset kaupunkien organisaatioissa koneautomaation parissa työskenteleville henkilöille. Haastattelujen tulokset toimivat alan kirjallisuuden, sekä työmailta saatujen kokemusten ohessa Jyväskylän kaupungille luotujen koneohjauksen laadunvarmistusohjeiden pohjana. Haastatteluiden avulla pyrittiin myös kartoittamaan odotettavissa olevia ongelmia koneohjausjärjestelmiä käyttöönotettaessa, jotta niihin osataan varautua ennalta.

2 SATELLIITTIPAIKANNUS

2.1 Satelliittipaikannuksen perusteet

Satelliittipaikannus perustuu avaruudessa maata kiertävien satelliittien lähettämien signaalien tulkitsemiseen, siihen soveltuvalla vastaanottimella. Paikannussatelliittien lähettämä signaali sisältää koodin, joka kertoo vastaanottimelle oman sijaintinsa. Paikannuksen perustana toimii tarkka ajan määrittäminen, jossa satelliitin lähettämän radiosignaalin lähetysajankohdan ja vastaanottoajankohdan erotuksesta saadaan signaalin kulku-aika, joka kertoo satelliitin ja vastaanottimen välisen etäisyyden. Määrittääkseen navigointiin riittävällä tarkkuudella sijaintinsa kolmiulotteisessa koordinaatistossa, tulee vastaanottimen saada sijaintitieto vähintään neljältä eri satelliitilta. Satelliittijärjestelmiä hallinnoivien tahojen omat valvonta-asemat määrittävät jatkuvasti satelliittien tarkkaa sijaintia avaruudessa. Tiedettäessä satelliittien sijainnit havaintohetkellä ja niiden etäisyydet vastaanottimeen, pystytään sijainti määrittelemään tarkasti. Satelliittipaikannus mahdollistaa reaaliaikaisen paikantamisen missä päin maailmaa hyvänsä, riippumatta vuorokauden ajasta tai sääolosuhteista. (Laurila 2012, 280, 291.)

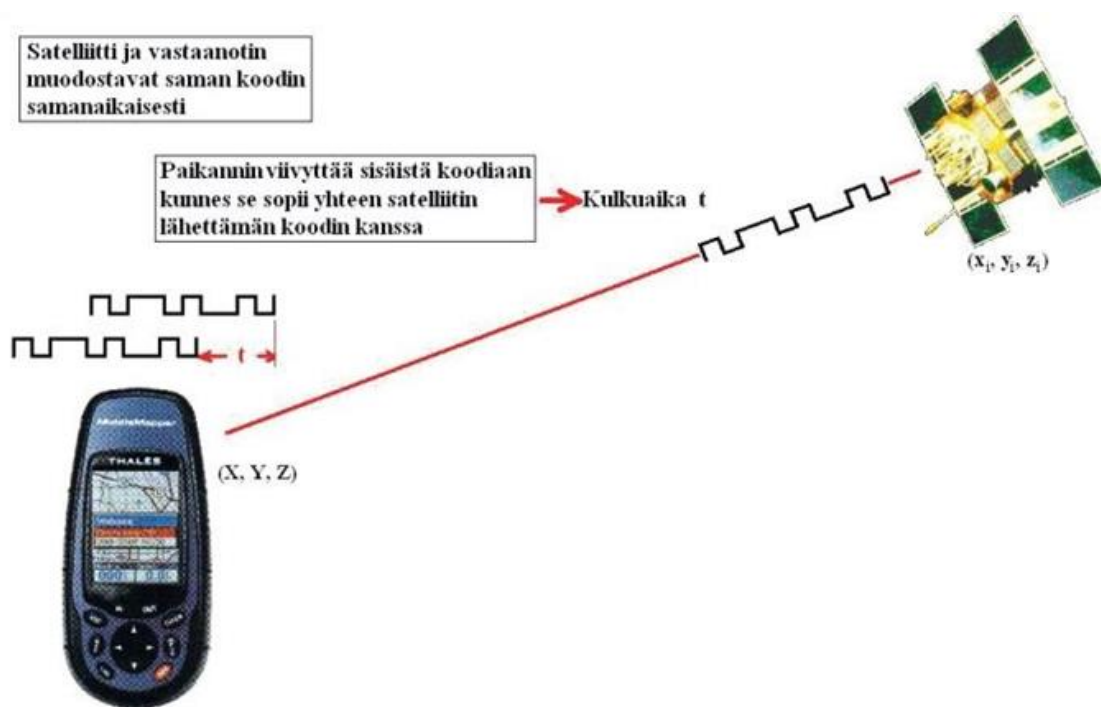
Suurimmalle osalle ihmisistä satelliittipaikannus tarkoittaa GPS-paikannusta. GPS (Global Positioning System) on Yhdysvaltojen puolustushallinnon kehittämä ja ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä. GPS-paikannukseen käytettävä tekniikka on kohtuullisen edullista ja helppokäyttöistä. Ennen satelliittipaikannuksen mahdollistamaa sijaintitietoa, paikantaminen perustui tähtien suunnan ja havaintohetken ajan mittaamiseen. Tähtien sijaintiin perustuva navigointi oli hidasta, vaikeaa ja sääoloista riippuvaista. Yhdysvaltojen GPS-järjestelmä on hallitsevassa asemassa oleva paikannusjärjestelmä. Sen kehittäminen aloitettiin 1970-luvulla ja täyteen laajuuteensa se valmistui 1994. Vaikkakin kyseessä on sotilaskäyttöön suunniteltu järjestelmä, on sen kehityksessä alusta alkaen huomioitu myös siviilikäytön tarpeet. GPS-järjestelmään kuuluu 24 jatkuvasti toiminnassa olevaa ja lisäksi vaihteleva määrä varalla olevia satelliitteja, jotka kiertävät maapalloa n. 20 200 km:n korkeudella. Satelliitit kiertävät maapalloa kuudella eri ratatasolla, tarjoten jatkuvasti paikannukseen vaadittavan satelliittien määrän kaikkialla maailmassa. Nykyisin muitakin satelliittipaikannusjärjestelmiä on olemassa, eikä paikannus ole enää ainoastaan GPS:n varassa. 1990-luvulta alkaen on käytössä ollut venäläinen Glonass-järjestelmä, joka vastaa satelliittien määrän ja kattavuuden osalta GPS-järjestelmää. Euroopan Unionilla on parhaillaan toteutuksessa oma Galileo-järjestelmä. Lisäksi Intia, Kiina ja Japani ovat kaikki toteuttamassa omia paikannusjärjestelmiään. Kaikkien saatavilla olevien paikannusjärjestelmien muodostama kokonaisuutta kutsutaan GNSS-järjestelmäksi (Global Navigation Satellite System). Tavoitteena GNSS-järjestelmässä on kaikkien tarjolla olevien osajärjestelmien sujuva yhteiskäyttö. GPS- ja Glonass-järjestelmien osalta yhteiskäyttö toimii jo hyvin. (Laurila 2012, 303 - 305.)

2.2 Mittausmoodit

Satelliittipaikannuksessa käytettävät mittaustavat voidaan jaotella kolmeen pääryhmään, joita ovat absoluuttinen paikannus, differentiaalinen paikannus sekä suhteellinen mitaus. Mittausmoodeihin jaottelu perustuu käytettäviin havaintosuureisiin, systemaattisten virheiden korjaamistekniikoihin ja havaintolaitteiden lukumääriin. (Laurila 2012, 293 - 294.)

2.2.1 Absoluuttinen paikannus

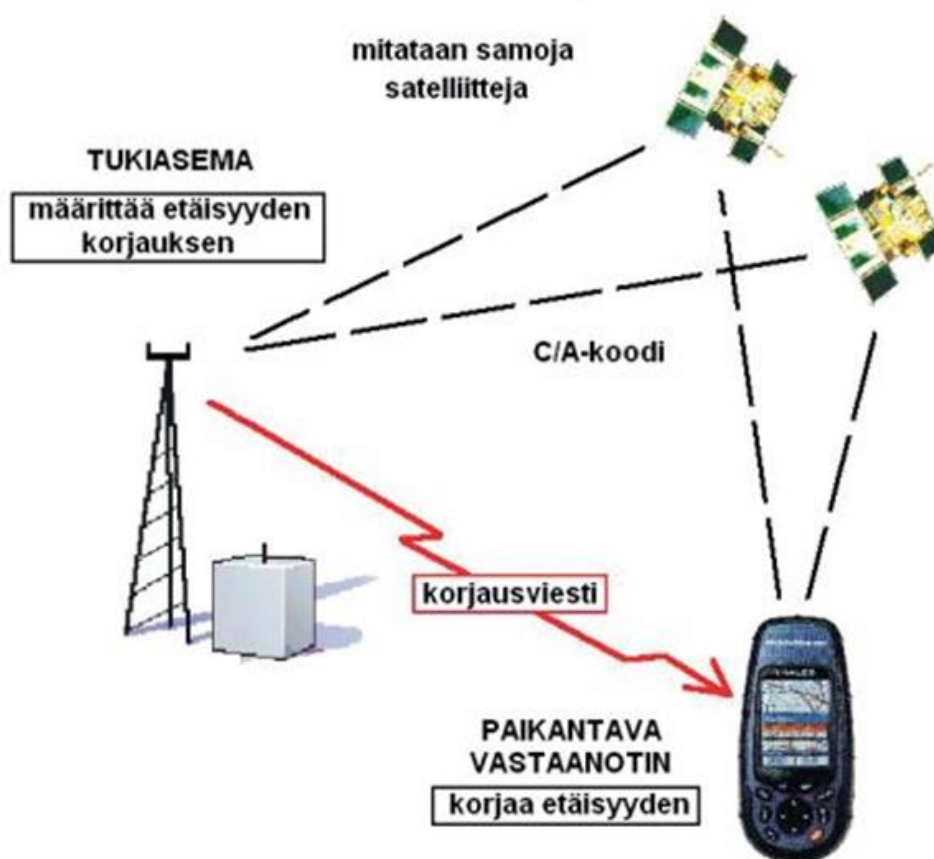
Yleisimmin käytetty ja sijaintiedoltaan heikoin satelliittimittaus tapa on yksittäisellä vastaanottimella, kuten navigaattorilla suoritettu paikan määrittäminen. (kuva 1). Absoluuttisessa sijainnin määrittämisessä käytetään signaalien C/A-koodihavaintoja. Vastaanotettua signaalia verrataan navigaattoriin generoituun koodiin, jolloin signaalien kulkuajasta saadaan etäisyys vähintään neljään satelliittiin, joiden tarkka sijainti tunnetaan. Absoluuttisella mittauksella päästään alle 10 metrin paikannustarkkuuteen. (Maanmittauslaitos.fi.)



Kuva 1. Absoluuttisen paikannuksen toimintaperiaate (Laurila 2012, 297)

2.2.2 Differentiaalinen paikannus

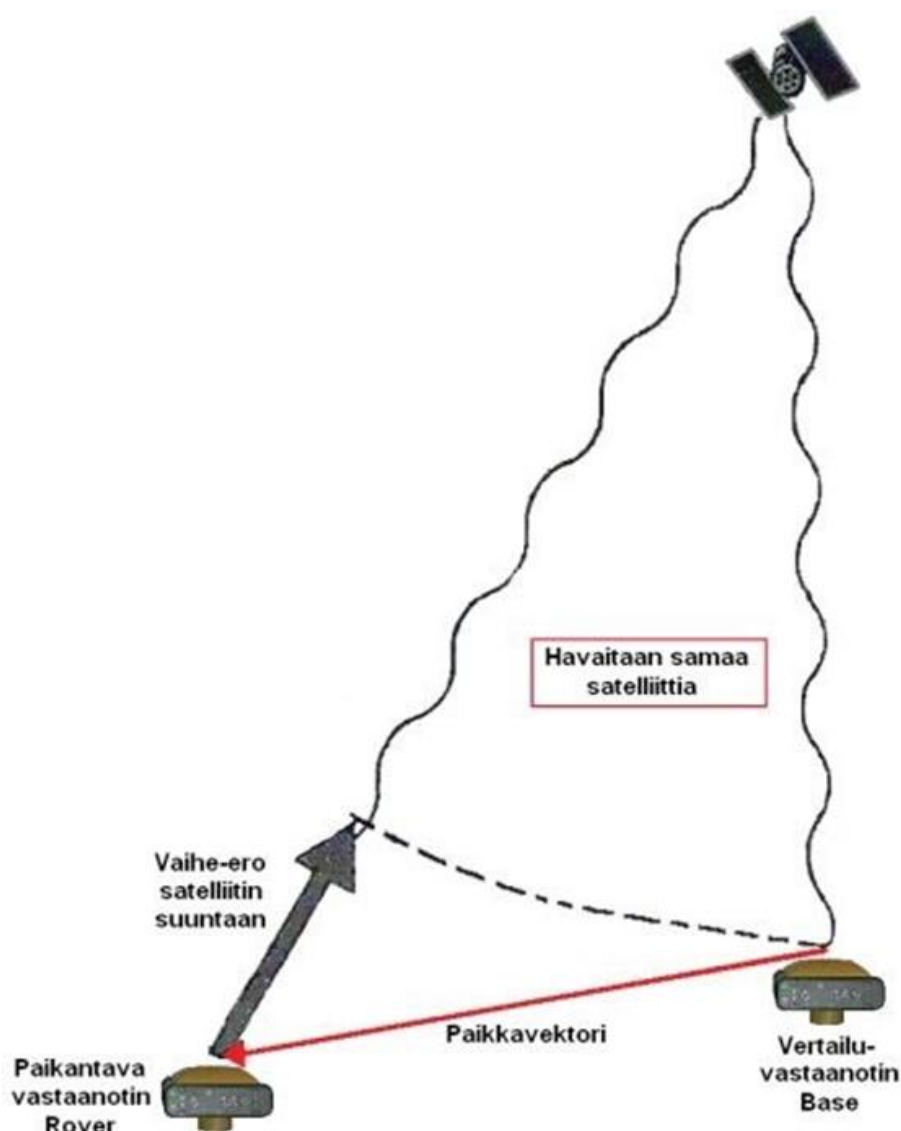
Absoluuttisen paikannuksen tavoin, differentiaalinen paikannus perustuu C/A-koodin avulla mitattaviin satelliittien ja vastaanottimien välisiin etäisyyksiin sekä tarkkaan ajan määrittämiseen. Differentiaalisessa paikannuksessa mittauksen apuna on tukiasema, joka on sijoitettu maantieteellisesti tunnetulle pisteelle. Tukiasema vertaa havaintopaikan sekä sijainniltaan tunnettujen satelliittien etäisyyksiä ja välittää laskemansa sijaintivirheen paikannusvastaanottimelle, joka tekee saamansa datan perusteella sijaintikorjauksen. (kuva 2). Differentiaalista mittaustilaa käytetään ammattimaisessa auto- ja laivaliikenteessä, meren mittauksessa sekä paikkatietojen keräämisessä. Tukiasemaa apuna käyttäen differentiaalisella paikannuksella päästään noin 0.5 - 5 m:n paikannustarkkuuteen. (Laurila 2012, 299 - 300.)



Kuva 2. Differentiaalisen paikannuksen toimintaperiaate (Laurila 2012, 297)

2.2.3 Suhteellinen mittaus

Suhteellinen mittaus on kolmesta mittausmoodista sijaintitiedoltaan tarkin. Tarkkuutensa ansiosta sitä hyödynnetäänkin geodesian sekä mittaus- ja kartoitustekniikan aloilla. Lisäksi se on ainoa mittaus tapa, jonka tarkkuus riittää koneohjauksen tarpeisiin. Suhteellisessa mittauksessa C/A-koodin sijaan etäisyyttä havainnoidaan kantoaaltoista, määrittämällä kuinka monta kokonaista aallonpituutta satelliitin ja vastaanottimen välillä on. Kantoaaltoa tulkitsevalla vastaanottimella on suhteellisessa mittauksessa aina oltava vertailuvastaanotin, joka sijaitsee tunnetulla pisteellä. (kuva 3). Käytännössä tarkkuutta parantavaa korjausta varten on hankittava oma kiinteä tukiasema tai maksettava korjauspalvelua tarjoavalle yritykselle lisenssimaksu. Suhteellisella mittauksella päästäisiin periaatteessa takymetrimittauksen tarkkuuteen, mutta koska satelliittien radat tunnetaan paljon heikommalla tarkkuudella, eikä ilmakehän aiheuttamia virhevaikutuksia voida hallita täysin, on mittaustarkkuus käytännössä n. 5 cm. (Laurila 2012, 301 - 303, 315.)



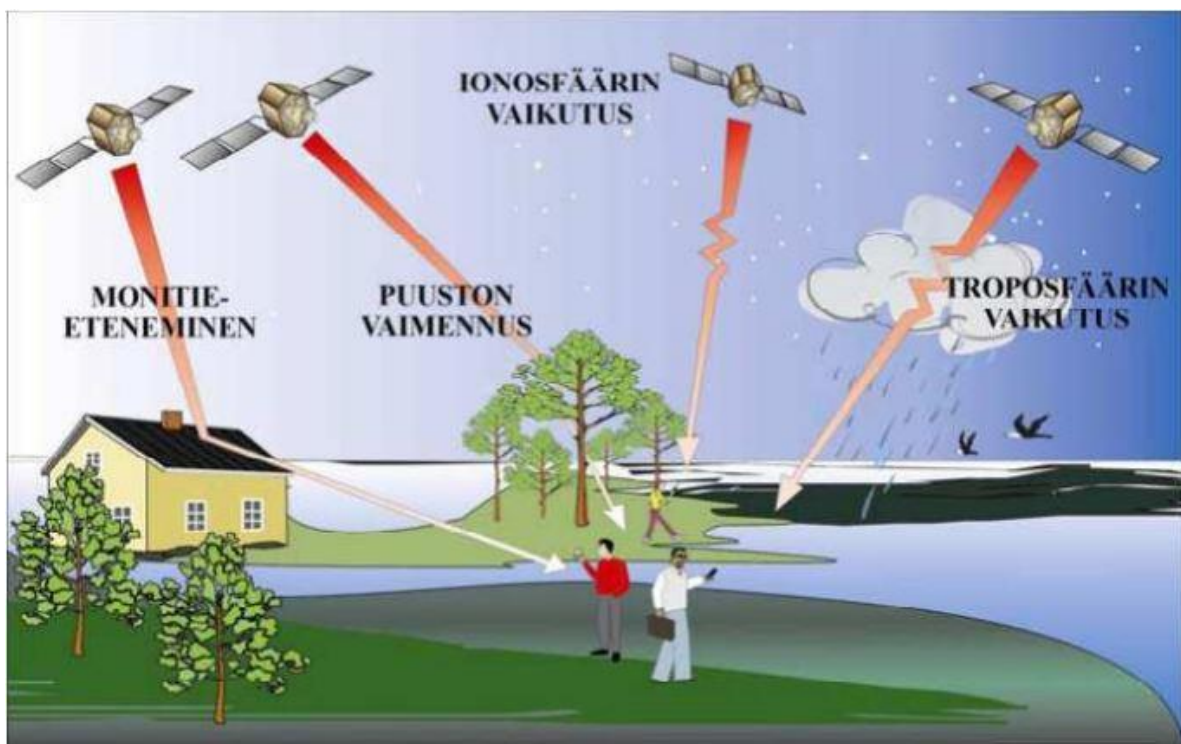
Kuva 3. Suhteellisen mittauksen toimintaperiaate (Laurila 2012, 303)

2.3 Paikannustarkkuuteen vaikuttavat tekijät

Työtehtävän vaatimaa tarkkuutta tulee pohtia valittaessa mittaustapaa. Mittausmoodin havaintosuureiden lisäksi paikannustarkkuuteen vaikuttavat seuraavat asiat:

- Maapallon pyörimisestä johtuen sijaintia määrittävä henkilö on jatkuvasti liikkeessä.
- Maapalloa kiertävät paikannussatelliitit liikkuvat havaintojakson aikana noin 4 km/s.
- Satelliittien sijainti kyetään selvittämään vain rajallisella tarkkuudella. Mikäli erittäin tarkkaa mittausta tarvitaan, voidaan satelliittien sijainti paikantaa jälkikäteen määritettyjen ratatietojen avulla jopa muutaman senttimetrin tarkkuudella. Tämä ei kuitenkaan ole tarkoituksellista navigointiin tai maanmittaukseen liittyvissä töissä.
- Ilmakehän kerrokset vaikuttavat oleellisesti paikannussignaalin etenemiseen.
- Paikalliset olosuhteet vaikuttavat mm. paikannussignaalin heijastuksiin.
- Paikannusvastaanottimen ohjelmistoissa voi olla virheitä ja lisäksi inhimillisen virheen mahdollisuus on aina olemassa.
- Erittäin suureksi virhetekijäksi voi muodostua koordinaatiston ja korkeuksien muuntamiseen liittyvä geoidimalli. Suhteellisella mittauksella saavutettu suuri paikannustarkkuus voidaan menettää moninkertaisesti muunnettaessa GPS-järjestelmässä käytettävästä WG84-järjestelmän koordinaateista paikallisiin koordinaatteihin.

(Laurila 2012, 305, 306 ja 313.)



Kuva 4. Paikannukseen virheitä aiheuttavia tekijöitä (Nieminen 2011)

3 3D-KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄT

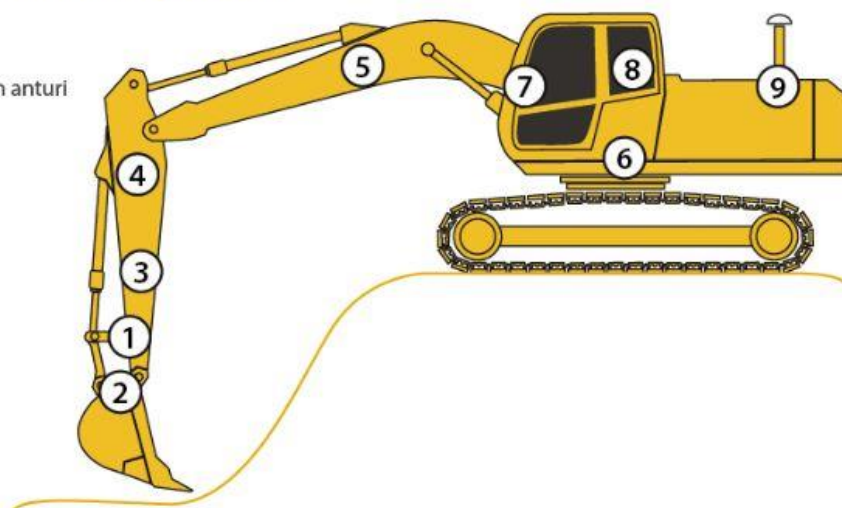
3.1 3D-koneohjausjärjestelmien perusteet

3D-koneohjauksella tarkoitetaan työkoneeseen asennettua järjestelmää, joka paikantaa koneen sijainnin ja havainnoi sen liikkeitä reaaliaikaisesti. Työkoneeseen asennetulta näytöltä kuljettaja voi seurata koneen ja työlaitteen todellista sijaintia ja verrata sitä suunnittelijan tekemän 3D-mallin tavoitepintaan. Järjestelmä auttaa kuljettajaa myös hahmottamaan työkohteen kokonaisuutena, sillä rakenteita voidaan tarkastella kolmiulotteisena mallina työkoneen näytöllä. (kuva 6.) Koneohjauksen automaatioasteita on useita, mutta käytännössä järjestelmät voidaan jakaa opastaviin- ja ohjaaviin järjestelmiin.

Koneohjaus edellyttää, että koneen puomin kaikki liikkuvat osat varustetaan niiden asentoa havainnoivilla antureilla. Lisäksi tarvitaan antureita mittaamaan työkoneen pyörimisestä ja kallistuksesta aiheutuvia suureita. (kuva 5). Puomiston ja koneen asennon lisäksi on tunnettava työkoneen tarkka sijainti x-, y-, z-koordinaatistossa. Koneen maantieteellinen sijainti voidaan määrittää satelliittien tai takymetrin avulla. (Nieminen 2011, 15.) Koneeseen asennetut kaltevuusanturit, sekä laskentayksikkö tuottavat koneen sisäisen paikannuksen tarvitsemaa tietoa, jolla saadaan selville kauhan kärjen suhteellinen sijainti koneeseen nähden. Koneen GNSS-antennit puolestaan mahdollistavat koneen laskentayksikön määrittää kauhan kärjen sijaintia koordinaatistossa. Edellä mainitut komponentit muodostavat kokonaisuutena varsinainen koneohjausjärjestelmän, joka kykenee vertaamaan kauhan kärjen sijaintia koneen tietokoneeseen syötettyyn malliin nähden.

Koneohjausjärjestelmän komponentit

- 1 Kauha-anturi
- 2 Kauhan sivuttaiskallistuksen anturi
- 3 Laservastaanotin
- 4 Kaivuvarren anturi
- 5 Pääpuomin anturi
- 6 Runkoanturi
- 7 Näyttö-/tietokoneyksikkö
- 8 GNSS-vastaanottimet
- 9 GNSS-antennit



Kuva 5. Kaivinkoneeseen asennetun koneohjausjärjestelmän peruskomponentit (Novatron.fi)

3.2 Satelliittipaikannukseen perustuva koneohjaus

3D-koneohjausjärjestelmän vaatimaa sijaintitietoa voidaan tuottaa GNSS-satelliittien avulla. Työkoneeseen on asennettu kartoitussyksikkö sekä GNSS-antennit, joiden avulla kyetään määrittämään työkoneen maantieteellinen sijainti kolmiulotteisessa koordinaatistossa. Yhdistämällä sijaintitieto koneen oman anturijärjestelmän antamiin tietoihin, pystyy koneohjausjärjestelmä määrittämään koneen huulilevyn, kynsien tai työstöterän tarkan sijainnin. Satelliittipaikannukseen perustuvaa sijainnin määrittystä hyödynnetään pääasiassa ns. opastavissa koneohjausjärjestelmissä. Esimerkkinä opastavasta järjestelmästä voidaan käyttää kaivinkoneeseen asennettua 3D-koneohjausta, jossa mittalaitteet näyttävät kauhan huulilevyn tai kynsien etäisyyden suunnitelmien mukaiseen tavoite-tasoon nähden. Nimensä mukaisesti, järjestelmä ainoastaan opastaa kuljettajaa, puuttumatta varsinaiseen työsuoritteeseen.



Kuva 6. Näkymä kaivinkoneen näytöstä (Novatron.fi)

3.2.1 Siirrettävä tukiasema

Kuten luvussa 2.2.4 mainittiin, on satelliiteista saatavassa paikannussignaalin aina virhettä. Jotta paikannuksessa päästään koneohjauksen vaatimaan sijaintitarkkuuteen, on paikannustiedolle saatava korjaussignaali joko tukiaseman tai virtuaalisen korjauspalvelun välityksellä. Tukiasema voi olla työmaalle erikseen pystytettävä koneohjauskontti, joka pystytetään maantieteellisesti tunnetulle sijainnille. (kuva 7.) Koneohjauskontti vertaa satelliittien lähettämiä sijaintitietoja, tukiaseman tunnetuihin koordinaatteihin ja lähettää radion välityksellä työkoneen kartoitusyksikölle reaaliaikaista tietoa satelliittien määrittämän ja todellisen sijainnin välillä. Käytettäessä työmaalla erillistä tukiasemaa on korjaussignaalin kantama ilmakehän vaikutuksen ja paikallisten olosuhteiden vuoksi maksimissaan n. 5 - 10 km etäisyydellä tukiasemasta. Radiosignaaliin häiriötä aiheuttavat myös rakennukset, maastoesteet sekä korkeajännitejohtojen ja muunninkenttien aiheuttamat häiriöt. Tukiasemasta korjaussignaalia saavien koneiden lukumäärää ei ole rajoitettu. Tukiasemalla ja työkoneen paikannusjärjestelmällä tulee olla seurannassa vähintään viisi yhteistä satelliittia, mutta käytännössä vasta 6-7 yhteistä satelliittia takaavat mittauksen riittävän luotettavuuden. Tukiasemalla tarkennettua GNSS-mittausta kutsutaan RTK-mittaukseksi (Real Time Kinematic).

3.2.2 Kiinteä tukiasema

Tukiasemaratkaisu voi olla myös kiinteästi esimerkiksi yrityksen toimipisteeseen sijoitettu tukiasema. (kuva 8). Kiinteä tukiasema on toimintaperiaatteeltaan vastaava kuin edellisessä kappaleessa esitelty koneohjauskontti, mutta korjausdata siirretään sen piirissä toimiviin työkoneisiin internet-palvelimen kautta. Tämä mahdollistaa korjausdatan välittämisen jopa 30 km:n etäisyydelle, mikä tekee siitä erittäin käytännöllisen ratkaisun organisaatioille, joilla on useita koneohjattuja työmaita riittävän kantoetäisyyden alueella. Myöskään kiinteää tukiasemaa käytettäessä ei korjauksen piiriin liitettyjen koneiden määrää ole rajoitettu.



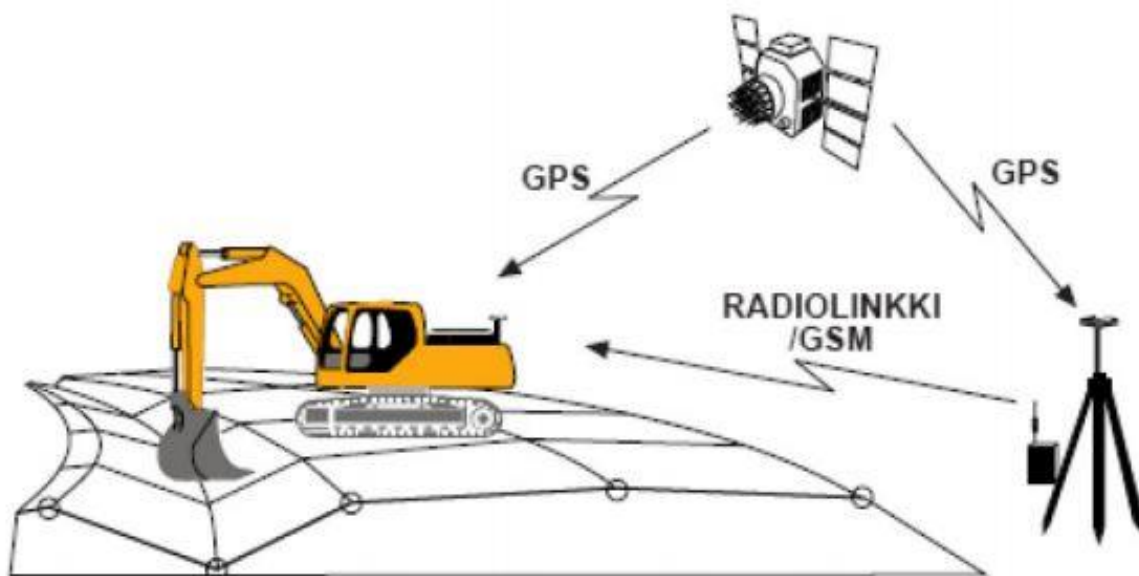
Kuva 7. Maansiirto Harry Mäkelä Oy:n koneohjauskontti. Työmaalla tunnetulle pisteelle pystytettävä tukiasema lähettää radiolla sijainnin korjausdataa sen kantoalueella (n. 5 - 10 km) toimiville koneohjausjärjestelmille. (Hannuksela 2017).



Kuva 8. Maansiirto Harry Mäkelä Oy:n kiinteä tukiasema. Tukiasema lähettää korjausdatan työkooneille internetin välityksellä, tarjoten korjauspalvelun n. 20 - 30 km:n säteelle. Korjausdatan välityksessä internetin avulla, poistuvat esimerkiksi maaston muodosta aiheutuvat häiriöt korjausdatan välittämisessä. (Hannuksela 2017).

3.2.3 Verkko-RTK-menetelmä

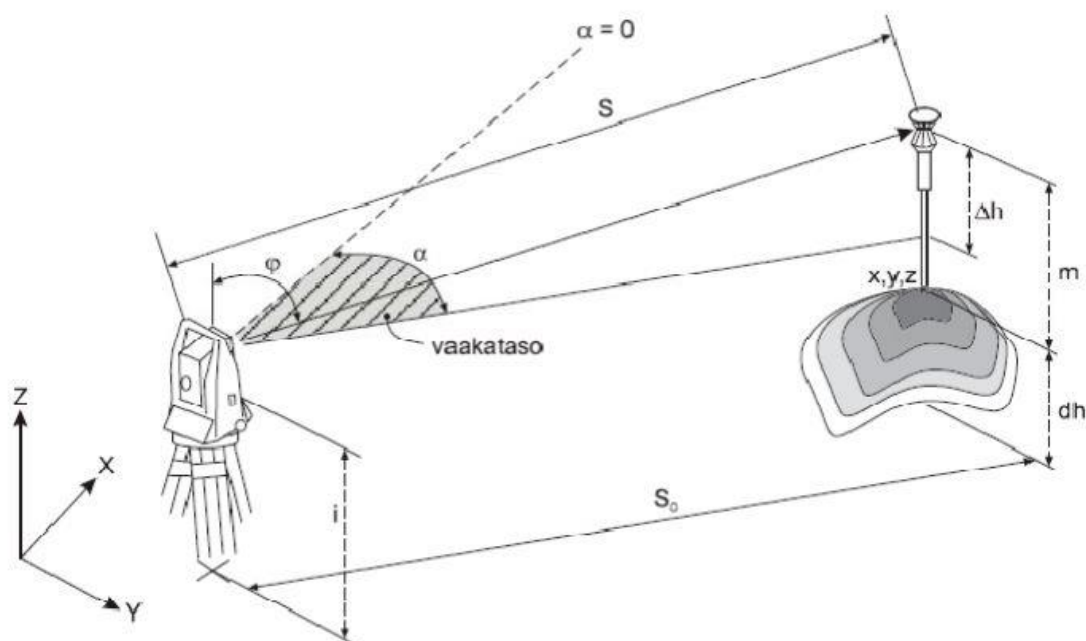
Sijaintikorjauksen hankinnalle on olemassa myös virtuaalinen vaihtoehto, jota kutsutaan verkko-RTK-menetelmäksi. Tällaisia palveluita Suomessa ovat Geotrim Oy:n Trimnet VRS-palvelu (Virtual Reference Station) sekä Leica Geosystems Oy:n SmartNet. Yritysten tarjoamat ratkaisut poikkeavat toisistaan, mutta molempien tarjoama virtuaalinen sijaintikorjaus pohjautuu yli sataan ympäri Suomea sijoitettuun kiinteään tukiasemaan, jotka välittävät saamansa sijaintitiedon laskentakeskukseen. VRS-palvelussa mittaja lähettää likimääräisen sijaintinsa GSM- tai GPRS-verkon kautta laskentakeskukselle, joka käsittelee kiinteiden tukiasemien lähettämää dataa, käyttää mittajan likimääräistä sijaintia virtuaaliturkiaseman muodostamiseen mittajan lähelle ja toimittaa korjausdatan mittajalle. Virtuaaliturkiasema on kuvitteellinen tukiasemapiste, joka määritetään erikseen jokaisessa mittaustilanteessa. Tavoite on tuottaa mahdollisimman vastaavaa dataa, kuin samaiseen sijaintiin pystytetty todellinen tukiasema tuottaisi. SmartNet ei muodosta erillistä tukiasemapistettä vaan välittää kiinteään tukiasemaverkkoon pohjautuvan korjauksen suoraan mittavaan vastaanottimeen. Verkko-RTK-menetelmällä saavutetaan perinteistä RTK-mittausta parempi tarkkuus, sillä etäisyydestä johtuva virhe häviää lähes olemattomiin. Lisäksi menetelmällä saavutetaan kustannus- ja aikasäästöä, sillä omasta tukiasemasta sekä sen pystyttämisestä ja ylläpidollisista toimita voidaan luopua. Verkko-RTK on kaupallinen menetelmä, jonka käyttöön voi palveluntarjoajilta hankkia lissenssin. (Maanmittauslaitos.fi.)



Kuva 9. RTK-GPS-mittaus (Novatron 2011)

3.3 Takymetriseurantaan perustuva koneohjaus

Takymetri on ensisijaisesti kulman- ja etäisyydenmittauskoje, jolla mitataan pysty- ja vaakakulmia sekä etäisyyksiä kojeen sijaintipisteen ja havaintokohteen välillä. (kuva 10). Havaintojen pohjalta voidaan laskea koordinaatteja, korkeuksia ja muita suureita sekä tallentaa mittaustulokset sähköisesti. Ennen takymetrimittauksen aloittamista on määritettävä kojeen sijaintipisteen koordinaatit ja korkeustaso. Takymetrin sijainnin määrittystä kutsutaan orientoinniksi ja se voidaan suorittaa joko tunnetulle- tai vapaalle asemapisteelle. Vapaalle asemapisteelle, eli sijainniltaan tuntemattomaan paikkaan orientoitaessa, tulee takymetrillä suorittaa etäisyys- ja kulmamittaukset vähintään kahdelle koordinaateiltaan tunnetuille pisteille. Tunnettujen pisteiden koordinaatit syötetään takymetriin, joiden pohjalta laite määrittää sijaintinsa. Toinen vaihtoehto on pystyttää takymetri sijainniltaan tunnetulle asemapisteelle, jolloin orientoinnissa suoritetaan kulmamittaus vähintään yhdelle liittospisteelle, jonka koordinaatit tunnetaan. Näin takymetri saadaan liitettyä työmaan koordinaatistoon ja sen antamaa sijaintitietoa voidaan välittää koneohjausjärjestelmälle. Takymetrillä mittaus tapahtuu tähtämällä havaintopisteelle sijoitettuun prismaan, joka heijastaa kojeen lähettämän lasersäteen takaisin takymetriin. Heijastuvasta paluusäteestä takymetri määrittää etäisyyden ja tallentaa kohteeseen mitatut pysty- ja vaaka-akselien asennot. Trigonometriaan perustuen, takymetri laskee sijaintikoordinaatit mittaushavaintojen perusteella. (Laurila 2010, 223 - 224.)



Kuva 10. Takymetrin toimintaperiaate (Nieminen 2011, 12)

Käytettäessä takymetriseurantaan koneohjauksen paikannustietoa välittävänä työkaluna, tulee mittalaitteen olla automaattisesti prismaa seuraava robottitakymetri. Koneohjaussovelluksissa havaintoprisma on kiinnitetty työkoneeseen. (kuva 11). Takymetrin ja työkoneen välillä on oltava esteetön näköyhteys. Takymetri seuraa automaattisesti prisman sijaintia kolmiulotteisessa koordinaatistossa ja välittää tiedon koneohjausjärjestelmälle. Koneohjausjärjestelmän tietokoneyksikkö yhdistää koneen elektronisten antureiden antamat tiedot puomiston asennoista sekä takymetrillä mitatun sijaintitiedon ja kykenee näin määrittämään työlaitteen tarkan sijainnin x, y, z -koordinaatistossa. Tunnet-

taessa työlaitteen tarkka sijainti, saadaan työkoneen näytölle kuljettajaa opastava malli, jossa näkyy työstöterän sijainti suunnitelman mukaiseen tavoitetasoon nähden. Takymetrimittaukseen perustuvalla koneohjauksella päästään GNSS-paikannusta suurempaan tarkkuuteen, etenkin korkeuden määrittämisessä. Z-koordinaattia havainnoitaessa mittaustarkkuus on noin 10 mm.

(Laurila 2010, 223 - 260.)



Kuva 11. Takymetriohjattu tiehöylä (Hannuksela 2008)

Esimerkiksi tierakenteen kantavaa kerrosta tehtäessä, Infra RYL:n asettamat tarkkuusvaatimukset ovat merkittäviä, jopa ± 20 mm korkeussuunnassa. Paikannustekniikalla ja 3D-malliin pohjautuvalla teränohjauksella on saavutettavissa tarkkuuden ja tehokkuuden osalta toleranssit, joihin ilman koneohjausta ei päästäisi. (Heikkilä ja Jaakkola 2004, 32.) Takymetriseurannan tarkkuuden ansiosta, se soveltuu erinomaisesti koneohjaukseen, silloinkin kun sitä hyödynnetään ns. ohjaavana järjestelmänä. Ohjaavalla koneohjauksella tarkoitetaan esimerkiksi tiehöylään asennettua järjestelmää, jossa koneautomaatio on yhteydessä työkoneen hydraulikkaan. Tällöin koneohjausjärjestelmä säätää tiehöylän työstöterää automaattisesti, 3D-mallin osoittamaan tavoitetasoon. Kuljettajan tehtäväksi jää koneen ohjaaminen, mutta terän säädöstä huolehtii tietokone.

3.4 3D-koneohjauksella saavutetut hyödyt

Maarakennustöissä on tärkeää, että työ saadaan tehtyä laadukkaasti, tarkasti ja aikataulun mukaisesti. Koneohjauksen tuomat hyödyt on pystytty osoittamaan kiistattomasti ja tehostuneet työsuoritukset sekä parantuneen tarkkuuden tuomat materiaalisäästöt ovat tuoneet huomattavia kustannussäästöjä. 3D-koneohjauksen ansiosta työmaalla ei tarvita erillistä maastoonmerkintää, sillä korko on jatkuvasti tiedossa työkoneen työlaitteessa.

Koneohjauksella saavutettuja hyötyjä (Novatron 2016.):

- Kuljettajan nähdessä reaaliaikaisesti koneen näytöltä, mitä hänen tulee tehdä, lisääntyy varsinaiseen tuottavaan työhön käytettävissä oleva aika. Työn tehostuminen ja nopeutuminen tuo säästöjä työvoima-, polttoaine- ja konekustannuksissa.
- 3D-koneohjaus mahdollistaa työskentelyn ilman mittaushenkilöstön suorittamaa maastoonmerkintää. Tämä tuo kustannussäästöjä, eikä mittapaaluja tarvitse väistellä työmaalla.
- Koneohjausjärjestelmän tarkat mittaustoleranssit parantavat työn tarkkuutta. Näin vältetään ylisuurilta leikkauksilta ja ylitäytöltä. Materiaali- ja kuljetuskustannuksissa saavutetaan merkittäviä säästöjä, ylimääräisen materiaalien käytön ja kuljetuksen jäädessä pois.
- Parantuneella työtarkkuudella päästään koko urakan kattavaan tasalaatuiseen työpäälkeen.
- Työturvallisuus paranee, sillä liikkuvan työkoneen lähistöllä eikä kaivannoissa tarvitse suorittaa mittauksia.
- Sääolosuhteiden vaikutus työn tekemiseen vähenee varsinkin sumussa, sateessa ja pimeässä työskenneltäessä.
- Koneohjausjärjestelmän saaman sijaintitiedon ansiosta, tasolaseria eikä korkomerkkejä tarvita enää vertailutasoksi. Työkoneen kuljettajan työ muuttuu itsenäisemmäksi, eikä mittausryhmää tarvitse odotella.
- Reaaliaikainen laatutieto auttaa havaitsemaan rakenteissa olevat poikkeamat mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Tällöin korjaustoimenpiteet voidaan aloittaa heti, työkoneiden ollessa yhä työmaalla.
- Olemassa olevat maanalaiset rakenteet voidaan lisätä koneohjausmalliin, jolloin ne ovat jatkuvasti kuljettajan nähtävillä, eikä erillisiä kaapeli- ja putkikuvia välttämättä tarvita. Malliin voidaan myös lisätä lähestymisvaroitusta, joka varoittaa kuljettajaa kauhan lähestyessä esimerkiksi kaapelilinjaa.
- 3D-järjestelmällä tehtyjen työsuoritteiden korot ja sijaintitiedot voidaan dokumentoida reaaliaikaisesti ottamalla toteumapisteitä. Näin työn todellinen toteumatieto on jatkuvasti myös tilaajan ja työnjohdon saatavilla.
- Konetyö muuttuu mielekkäämmäksi.

3.5 3D-koneohjauksen tuomat haasteet:

- Tietomalleihin pohjautuva koneohjaus asettaa lähtötietojen ja suunnitelmamallien osalta liisää vaatimuksia, perinteisiin paperisiin työmaakuviin verrattuna. Tämä tuo osaltaan haasteita työntekijöiden ammattitaidon suhteen. Etenkin suunnittelijan vastuu kasvaa huomattavasti hankkeen onnistumisen kannalta.
- Vaikka koneohjausjärjestelmää hyödyntämällä saavutetaan säästöjä, on sen hankintahinta vielä verrattain kallis. Lisäksi laitteiston ylläpitokulut tulee huomioida investointia harkittaessa.
- Negatiivisista ennakoasenteista aiheutuvat hankaluudet vaikeuttavat koneohjauksen käyttöönottoa.
- Työnjohdon valvontatyö vaikeutuu, perinteisten mittapaalujen poistuessa maastosta. Tämä aiheuttaa vaikeuksia kokonaisuuksien hahmottamisessa, eikä tarkastusmittauksia voida suorittaa mittapaaluista.
- Takymetriseurannassa oleva työkone vaatii esteettömän näkymän robottitakymetrin ja havaintoprisman välillä, mikä saattaa olla työmaaolosuhteissa joskus vaikeasti järjestettävissä.
- Parhaimmillaan koneohjausjärjestelmillä voidaan päästä leikkauksessa ja pengerryksessä millimetrien tarkkuuteen, mutta tämmöisten toleranssien tavoittelu konetyönä ei käytännön tasolla ole tarpeellista ja aiheuttaa ainoastaan ylimääräisiä kustannuksia.
- Satelliiteista saatava sijaintitieto saattaa estyä tai häiriintyä paikallisten olosuhteiden vaikutuksesta. Perinteisen maastonmerkinnän puuttuessa, ei työtä voida suorittaa, mikäli koneohjausjärjestelmässä on toimintahäiriö.
- Vanhoja maanalaisia rakenteita ei ole kartoitettu sähköiseen muotoon, joten niiden sijaintitietoja ei voida lisätä koneohjausmalleihin. Toisaalta myös sähköisessä muodossa olevan kartoitustiedon absoluuttiseen paikkansapitävyyteen tulee suhtautua varauksella, sillä sijaintitiedoissa voi olla poikkeamia.
- 3D-koneohjauksen käyttöönotossa eletään nyt muutosvaihetta, siirryttäessä perinteisistä menetelmistä koneautomaation hyödyntämiseen. Vaikka yhtenäisiä toimintamalleja ja käytäntöjä tietomallinnuksen ja koneohjauksen osalta kehitetään jatkuvasti, on työ yhä kesken, mikä aiheuttaa ristiriitoja eri toimijoiden välillä.
- Koneohjausjärjestelmiä markkinoi useat eri laitevalmistajat ja kilpailijoiden järjestelmien yhteensopimattomuus aiheuttaa ongelmia. Ne eivät esimerkiksi välttämättä toimi toistensa pilvipalveluissa, jolloin työmaalla toimivien erimerkkisillä järjestelmillä varustettujen koneiden tiedostoja ei saada suoraan kootusti yhteen paikkaan.
- Eri laitevalmistajien koneohjausjärjestelmien vaatimissa koneohjausmalleissa on eroavaisuuksia, mikä lisää ammattitaidollisia vaatimuksia toteutusmalleja luovien henkilöiden osalta.

4 3D-KONEOHJAUKSEN SOVELLUKSIA

4.1 Sihtilapuista satelliitteihin

3D-järjestelmiä on tänä päivänä saatavilla lähes kaikkiin maarakennustyömailla tavattaviin kone-tyyppeihin. Seuraavissa kappaleissa on lyhyesti esitelty yleisimpiä 3D:n sovelluksia eri työkoneissa. 3D-ohjauksesta on variaatioita ainakin alla lueteltuihin koneyksiköihin:

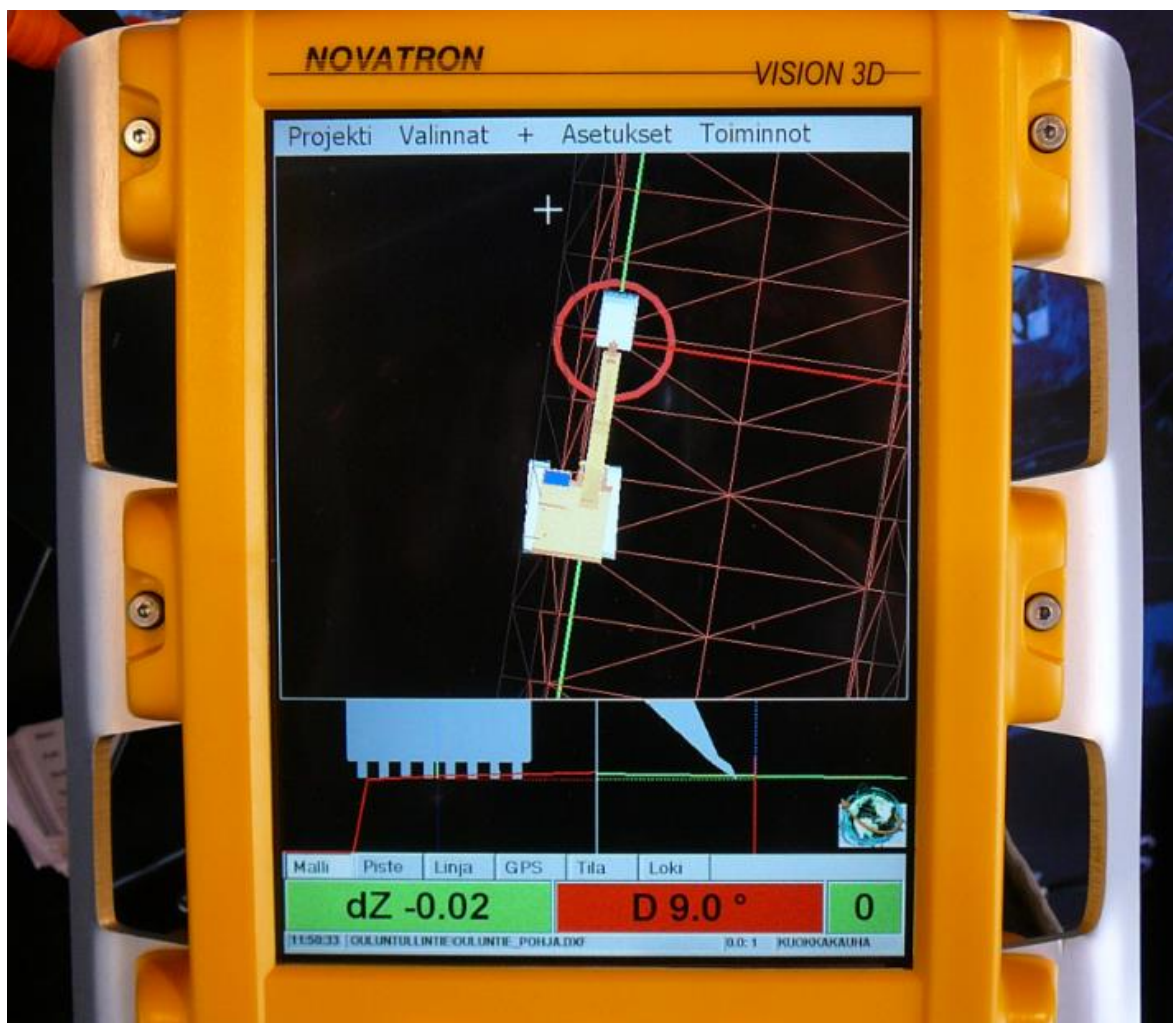
- kaivinkoneet
- tiehöylät
- puskukoneet
- valssijyrät
- maansiirtoautot
- pyöräkuormaajat
- asfaltinlevittimet
- asfaltinjyrsimet
- massastabilointikoneet
- paalutuskoneet
- poravaunut
- liukuvalukoneet
- kaatopaikkajyrät
- ruoppaajat.

4.2 3D-koneohjaus kaivinkoneessa

Kaivinkoneessa 3D-järjestelmän toimintaperiaate perustuu koneen puomiston liikkeiden seurannan osalta vanhoihin kaivussyvyysmittareihin. Erona perinteisiin kaivussyvyysmittareihin on kuitenkin paikannusominaisuus, jolloin kone tuntee jatkuvasti oman maantieteellisen sijaintinsa. Tämä on myös mahdollistanut sen, että konetyön vaatimat suunnitelmat on ladattu valmiina 3D-malleina koneen tietokoneyksikköön, jolloin työmaalle pystytettävistä mittapaaluista on päästy enimmäkseen eroon. Kaivinkone tuntee sijaintinsa mallissa ja vertaa kauhan huulilevyn/kynsien korkeutta koneohjausmallin osoittamaan tavoitepintaan. Kaivinkoneisiin on saatavilla yhdellä- ja kahdella GNSS-antennilla varustettuja järjestelmiä. Kahdella antennilla varustettu kaivinkone tuntee jatkuvasti oman sijaintinsa ja suunnan suhteessa karttapohjoiseen, mutta yhden antennin järjestelmässä on koneen ylävaunua pyöräytettävä jokaisen siirron jälkeen noin puoli kierrosta, jotta suuntatieto saadaan varmistettua. 3D-koneohjauksella varustetun kaivinkoneen tunnistaa jo kaukaa, sen takaosaan asennetuista GNSS-antenneista. (kuva 12). Kuten työssä jo aikaisemmin mainittiin, on kaivinkoneen koneohjaus aina opastava järjestelmä ja koneen kaikkia toimintoja ohjaa koneen kuljettaja.



Kuva 12. Bauman messuilla Saksassa esitteillä olleeseen kaivinkoneeseen asennettu Topconin kone-ohjausjärjestelmä. Ulkoisesti järjestelmä on helppo tunnistaa peräpuntin päällä olevista GNSS-antenneista. (Hannuksela 2007)



Kuva 13. Kaivinkoneenkuljettajan näkymä Novatronin koneohjausjärjestelmän näyttöpäätteeltä. Näkymä on näytöllä jaettu kolmeen osaan, joista ylimmässä työkonetta näkyy ylhäältä kuvattuna mallin päällä. Alapuolella koneen kauhan sijainti malliin nähden on havainnollistettu edestä ja sivulta. Kuljettaja voi halutessaan muuttaa työlaitteen esitystapaa näytöllä. (Hannuksela 2008)



Kuva 14. Kaivinkoneen sijaintitieto voidaan tarvittaessa toteuttaa myös robottitakymetrilla. Tällöin kaivinkoneen peräpuntin päälle asennetaan kuvassa vasemmalla näkyvä aktiiviprisma, jota takymetri seuraa. Kyseisessä järjestelyssä vaikeuksia aiheuttaa kaivinkoneen pyöriminen, sillä hytyn tai puomin tullessa prisman ja mittalaitteen väliin, yhteys katkeaa, eikä kone saa sijaintitietoa. Järjestelmää voidaan hyödyntää työkohteissa, missä yhteys GNSS-satelliitteihin on paikallisten olosuhteiden vuoksi heikko tai täysin estynyt. (Hannuksela 2014)

4.3 3D-koneohjaus tiehöylässä

Tiehöylässä 3D-koneohjauksessa on saavutettu työn tehostumisessa selkeästi kaikkein parhaat tulokset. Tiehöylän koneohjaus voidaan toteuttaa sekä GNSS-satelliittipaikannuksen että robottitakymetriseurannan avulla. Takymetriseurannassa olevan tiehöylän tulee työskennellä olosuhteista riippuen muutamien satojen metrien etäisyydellä takymetrista ja lisäksi mittalaitteen ja koneeseen asennetun havaintoprisman välillä tulee olla esteetön näköyhteys. Tämä voi aiheuttaa työmaolosuhteissa välillä vaikeuksia. Takymetri on myös orientoitava jokaisen työpäivän alussa sekä jokaisen siirron yhteydessä, työmaan edetessä. GNSS-seurannassa olevan höylän työskentelyssä ei näköyhteyden aiheuttamia rajoituksia ole ja siltä osin käyttö on joustavampaa. GNSS-seurantaa ei kuitenkaan voida hyödyntää esimerkiksi tunneleissa tai rakennusten sisällä työskenneltäessä, jolloin satelliitteihin ei saada yhteyttä. Satelliittipaikannus on myös altis paikallisten olosuhteiden aiheuttamille häiriöille, kuten puuston ja rakennusten aiheuttamille katveille ja heijastuksille. GNSS-höylä on tarkkuudeltaan takymetriohjausta heikompi, varsinkin korkeutta havainnoitaessa. Yleisin tiehöylissä käy-

tetty ratkaisu onkin takymetriseurantaan perustuva järjestelmä, jolloin mittaustarkkuus on riittävä kaikkiin maarakennustöissä vaadittuihin mittaustoleransseihin. (Tekninenkauppa.fi.)

Käytännössä 3D-koneohjattu tiehöylä on automaattikone, jossa koneohjaus ohjaa koneen hydraulikkaa. Koneen kuljettajan tulee ohjata konetta mallin päällä ja huolehtia, että työstöterän edessä on materiaalia, mutta terälevy seuraa automaattisesti koneohjausmallin suunnitelmapintaa. Järjestelmiin on myös erikseen saatavilla pääterän sivuttaissiirron ja terän leikkauskulman anturoinnit. Tällöin ohjausjärjestelmä kuljettaa terän reunaa automaattisesti pitkin valittua 3D-mallin taiteviivaa, jolloin kuljettajalta jää yksi keskittymistä vaativa tehtävä pois. (Tekninenkauppa.fi.)

Koneautomaatiota käyttämällä saavutetaan tavoitetaso vähemmällä työllä, mikä lisää tehokkuutta ja vähentää murskeen lajittumisen riskiä.



Kuva 15. Caterpillarin kehityskeskuksessa Malagassa esitteillä ollut GNSS-ohjattu tiehöylä. GNSS-vastaanottimet on asennettu pääterän molempiin päihin, jolloin koneeseen ei tarvita erillisiä työlaitteen asentoa seuraavia antureita. (Hannuksela 2015)



Kuva 16. Matti Saarinen Oy:n takymetriohjattu tiehöylä Altekin työmaalla Jyväskylän Palokassa. Pääterään on kiinnitetty aktiiviprisma, jota robottitakymetri seuraa. (Saarinen 2016)



Kuva 17. Näkymä tiehöylään asennetun koneohjausjärjestelmän näytöltä (Hannuksela 2008)



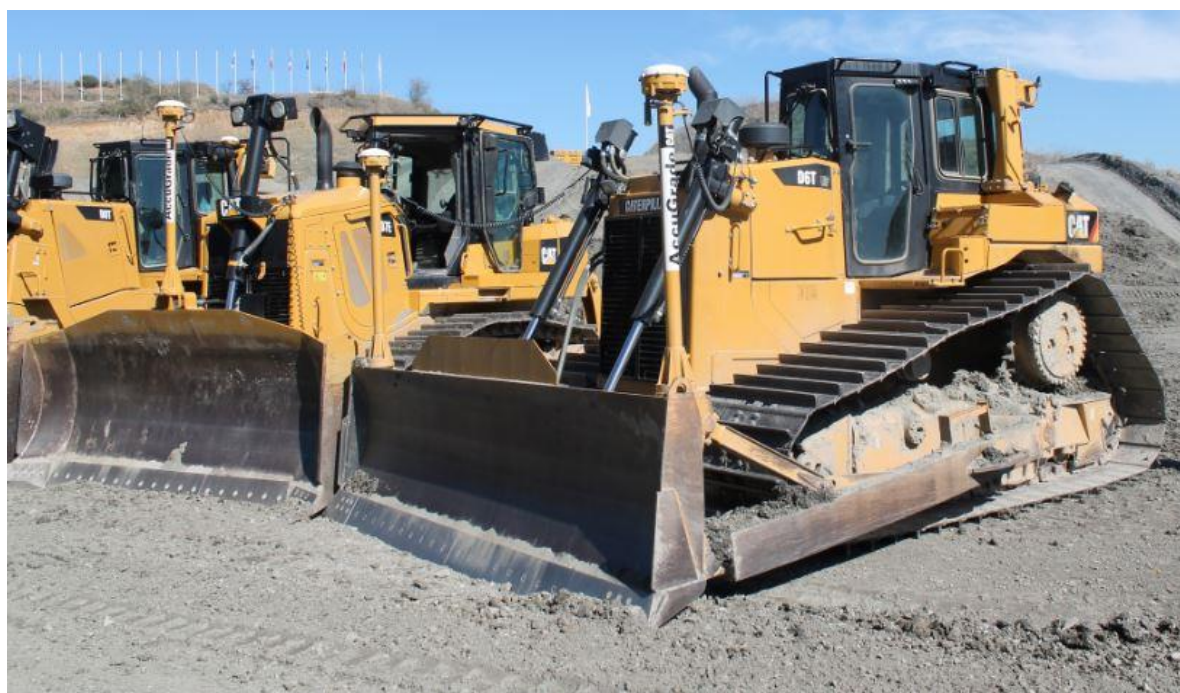
Kuva 18. Takymetriohjaus vaatii esteettömän näkymän seurannassa olevan työkoneen ja robottitakymetrin välille. Kuvassa työmaatieta ajava dumperi estää näköyhteyden, jolloin tiehöylän sijaintitieto katkeaa, eikä koneohjausta voida hyödyntää. Esteen poistuessa takymetri hakeutuu takaisin seurattavaan prismaan automaattisesti. Myös kuvassa oikealla näkyvän tiivistyskaluston on havaittu joissakin maaperäolosuhteissa aiheuttavan niin voimakasta värähtelyä, että takymetri lopettaa mittauksen, kojeen automatiikan havaitessa mittauservojen mahdollisen muutoksen. Esteiden ja tärinän aiheuttamia haittoja voidaan ehkäistä huolellisella työn suunnittelulla sekä hyvällä kojeaseman valinnalla. (Hannuksela 2008)



Kuva 19. Kuvassa tiehöylä työskentelee takymetrin seurannassa rakennuksen sisällä, jolloin GNSS-paikannuksen hyödyntäminen olisi mahdotonta. Takymetriohjaus mahdollistaa työskentelyn myös tunneleissa sekä alueilla, joilla katveet tai heijastukset heikentävät GNSS-signaalin tarkkuuta. (Hannuksela 2008)

4.4 3D-koneohjaus puskukoneessa

Puskukoneeseen koneohjaus voidaan toteuttaa joko opastavana- tai ohjaavana järjestelmänä. Opastavassa järjestelmässä kuljettaja työskentelee normaalisti, seuraten 3D-järjestelmän tuottamaa opastustietoa työkoneen näytöltä. Ohjaavassa järjestelmässä koneohjaus on tiehöylän tavoin kytköksissä suoraan työkoneen hydraulikkaan ja koneautomaatio säättää terän korkeuden ja kallistuksen itsenäisesti, 3D-mallin mukaisesti. Puskukoneen paikannus voidaan toteuttaa yhden tai kahden GNSS-antennin avulla. Kahdella antennilla varustettu järjestelmä ei tarvitse erillisiä koneeseen asennettavia antureita, eikä koneohjauksen toiminta ole riippuvainen koneen asennosta. Yhden antennin ratkaisussa tulee puskulevyyn asentaa kaltevuusanturit, jotka mittaavat levyn kallistusta. (Tekninenkauppa.fi.) Edistyneimmissä koneohjauksen sovelluksissa automatiikka huolehtii myös siitä, että puskulevyn kuorma pysyy jatkuvasti sellaisena, etteivät telat lyö tyhjää. Järjestelmä huolehtii myös etenemisnopeuden pysymisestä mahdollisimman optimaalisena. Puskukoneet ovat olleet tietyömailla vähenemään päin, mutta koneohjausjärjestelmien ansiosta niiden käyttö on viime vuosina yleistynyt uudelleen.



Kuva 20. Yhdellä- ja kahdella antennilla varustetut puskukoneet Caterpillarin Malagan tuotekehityskeskuksessa. Myös puskukoneelle sijaintitieto voidaan tarvittaessa toteuttaa robottitakymetrin avulla. (Hannuksela 2015)

4.5 3D-koneohjaus tiivistyskoneessa

Tiivistyskoneeseen asennettu 3D-koneohjaus mahdollistaa huomattavan parannuksen tiivistystarkkuudessa ja etenkin sen seurannassa. Jyrään asennetussa järjestelmässä on yhdistetty koneen sijaintitieto jyrän omaan tiiveyttä mittaavaan laitteistoon. Koneohjaus helpottaa jyrän kuljettajan työtä huomattavasti, sillä koneeseen asennetulta tietokoneelta voi reaaliaikaisesti nähdä yliajokerrat sekä rakenteen tiiveyden. Asfalttia jyrättäessä myös valmiin pinnan lämpötilaa voidaan seurata koneen näytöltä, jolloin kuljettaja tietää, mikä alue on optimaalisin tiivistettäväksi. Lisäksi kaikki tieto tallentuu laadunvalvontaa varten ja ne voidaan siirtää projektikohtaiseen pilvipalveluun. Yliajokerrat auttaa välttämään turhat ajokerrat sekä liian vähäisen tiivistämisen. Koneessa oleva suhteellisen tiiveyden mittaus on kalibroitu referenssilaitteen avulla myös kantavuustiedoksi. (Tekninenkauppa.fi.) Jyrien kehittyneimmissä versioissa, laitteisto seuraa maaperän tiiveyttä jatkuvasti ja muuttaa valssin sisällä olevien epäkeskojen asentoa. Kuljettaja valitsee tavoitteellisen tiiveysarvon ja jyrä asettaa automaattisesti optimaalisimman iskun suunnan ja voiman. Näin jyrätyn alueen tiiveys saadaan mahdollisimman tasalaatuiseksi.



Kuva 21. Koneohjatun jyrän voi tunnistaa hytin ylänurkkaan asennetusta GNSS-antennista (Hannuksela 2007)

4.6 3D-koneohjauksen tulevaisuus

3D-koneohjauksen kehittynein variaatio on täysin autonominen järjestelmä, missä työkone suorittaa työtehtävät automaattisesti, ilman kuljettajaa. Täysin automatisoitu työkone on tähän asti ollut teknisesti ja taloudellisesti kannattamaton ajatus. Vuonna 2016 Komatsu kuitenkin julkisti autonomisesti toimivan maansiirtoauton prototyypin ja pyrkivät saamaan sen tuotantoon mahdollisimman pian. Komatsun maansiirtoauton prototyypissä ei ole kuljettajalle tarkoitettua hyttiä, mikä on mahdollistanut lavakapasiteetin kasvattamisen koko ajoneuvon alustan alalle. Hytittömällä ratkaisulla on myös pystytty jakamaan painopiste tasan kaikille neljälle renkaalle, oli ajoneuvo sitten lastattu tai tyhjä. Koska ajoneuvo havainnoi ympäristöään anturitekniikkaa apuna käyttäen, ei sen tarvitse suorittaa käännöksiä lastauskoneen alle ajaessa tai purkupaikalle kipattaessa. Autonomisesti toimiva maansiirtoauto ajaa etuperin lastattavaksi ja lähtee takaperin kohti kippausaluetta. Varsinaista kulkusuuntaa ei siis ole määritetty laisinkaan. Näillä toimilla on pystytty vaikuttamaan ajallisiin-, polttoaine- ja renkas kustannuksiin. Lisäksi kuljettajaan kohdistuvia kustannuksia ei luonnollisesti synny laisinkaan. Komatsun maansiirtoauto toimii esimerkkinä tulevaisuuden mahdollisuuksista ja nähtäväksi jää, milloin muiden työkoneiden automatisointi tulee ajankohtaiseksi. (Komatsu.com) Tulevaisuudessa on myös mahdollista, että yksittäisten koneiden ohjauksesta siirryttäisiin tekniikkaan, jossa kaikki työmaalla työskentelevät koneet ”keskustelevat” keskenään. Esimerkiksi kuormaaja saisi automaattisesti tiedon, kun uusi lasti on noudettavissa. Lisäksi kaivinkoneen puoliautomaattinen ohjaus voi olla lähitulevaisuudessa nähtävissä. Tällöin kaivinkoneen kuljettajan ei tarvitsisi kaatoa tai tasoa kaivettaessa ohjata puomiston liikkeitä niin tarkasti, vaan työkoneen tietokoneyksikkö määrittäisi puomiston oikean liikekulman ja kuljettajan tehtäväksi jäisi vain vetää vivusta. (Novatron.fi.)



Kuva 22. Komatsun autonominen maansiirtoauto esitteillä Las Vegasissa 2016 (Equipment-world.com)

3D-koneohjausjärjestelmät ovat jo vakiinnuttaneet asemaansa suurissa infrahankeissa ja niiden käyttö yleistyy hiljalleen myös pienemmissä työkohteissa. Koneohjausjärjestelmien lisääntynyt käyttö selittyy 3D-mittalaitteilla varustettujen koneiden yleistymisellä sekä mallipohjaisten suunnitelmien parantuneella saatavuudella, mikä on mahdollistanut järjestelmien käytön myös pienemmissä hankkeissa. Perinteisellä mallilla toteutetut työmaat jäänevätkin lähitulevaisuudessa suurimmilta osin historiaan.

Tulevaisuuden kannalta on äärimmäisen tärkeää, että tietomallipohjaisen rakentamisen hyödyntämistä infrahankeissa tullaan huomioimaan alan koulutusta tarjoavissa oppilaitoksissa. Esimerkiksi koneenkuljettajaksi opiskelevan henkilön olisi hyvä ymmärtää tietomallipohjaisen rakentamisen kokonaisuus ja hallita aiheeseen liittyvä terminologia. Myös koneohjausjärjestelmien käyttö tulisi olla osana koneen käsittelyä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta niiden käyttäminen työskentelyn ohessa tulisi mahdollisimman rutiininomaiseksi. Koulutuksen tulisi tarjota valmiudet koneohjausjärjestelmien sujuvan käytön lisäksi tunnistamaan järjestelmien toimintahäiriöt ja valmentaa oikeisiin toimenpiteisiin ongelmia kohdattaessa. Esimerkiksi koneohjausjärjestelmällä varustetun koneen työlaitteiden kalibrointi sekä säännölliset tarkastukset ovat asioita, jotka kuljettajan on hallittava. Myös työmaalta kerättävän toteumatiedon tallentaminen oikeille pintatunnuksille on tärkeä osa-alue, jotta kerätty data on jatkokäsittelyssä mahdollisimman tehokkaasti hyödynnettävissä.

Myös ylemmissä koulutusasteissa tietomallipohjaiseen rakentamiseen tulee panostaa, jotta toimihenkilöinä ja suunnittelijoina toimivat henkilöt ymmärtävät tietomallintamisen muodostaman kokonaisuuden, eivätkä perehdy ainoastaan omassa työssään tarvitsemaansa osakokonaisuuteen. Esimerkiksi koneohjausmalleja tekevän suunnittelijan tulisi ymmärtää, mikä tieto on koneenkuljettajan kannalta tarpeellista ja tulee näin ollen sisällyttää malliin. Toisaalta koneohjausmalliin lisätty ylimääräinen tieto voi aiheuttaa väärinkäsityksiä, joten malli tulisi pitää mahdollisimman yksiselitteisenä. Toimihenkilön puolestaan tulisi ymmärtää koneohjausjärjestelmien käytön suomat mahdollisuudet, jolloin niiden käyttö olisi mahdollisimman monipuolista ja järjestelmien ominaisuuksista saataisiin kaikki hyöty irti. Tietomallintamisen ympärillä työskentelevien henkilöiden tulisi myös ymmärtää osamallien eroavaisuudet ja ymmärtää esimerkiksi suunnitelma-, toteutus- ja toteumamallien ero. Myös aiheeseen liittyvä ammattisanasto tulisi opetella, jotta työmaalla aiheen piirissä toimivat henkilöt ymmärtäisivät toisiaan.

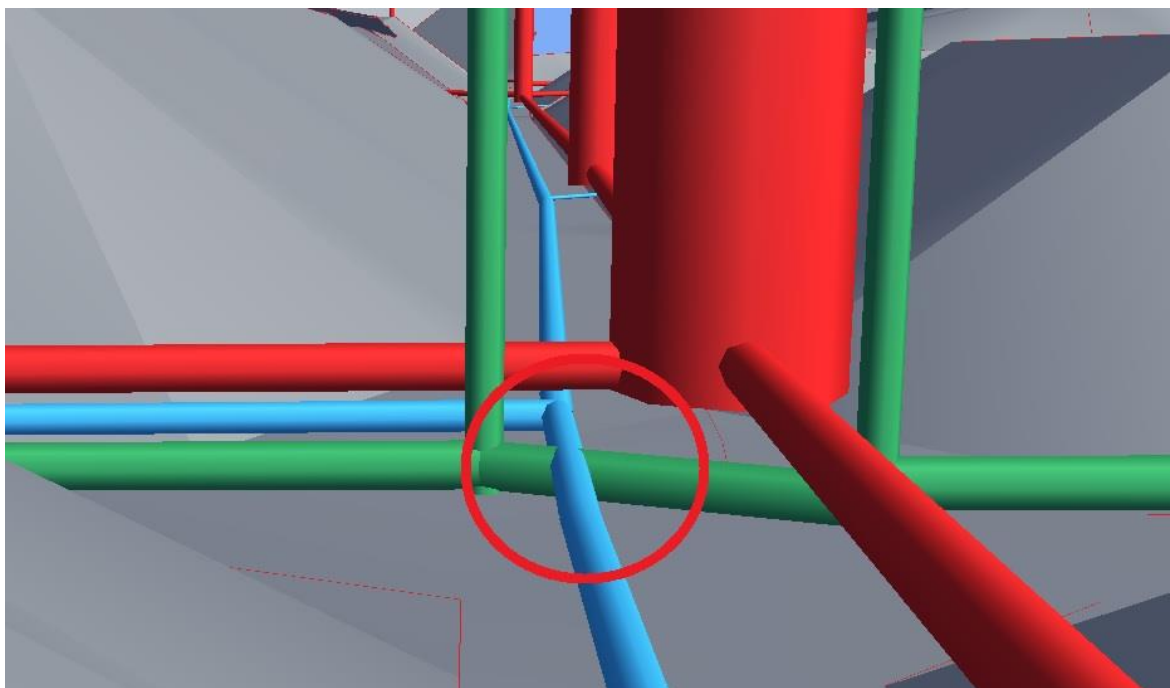
5 TIETOMALLINNUS

5.1 Inframalli

3D-koneohjaus käsitetään usein omana itsenäisenä järjestelmänä. Nykyaikainen koneohjaus on kuitenkin paljon muutakin kuin pelkät koneeseen asennetut anturit ja antennit. Todellisuudessa koneohjaus on vain pieni osa tietomallinnukseksi kutsuttua kokonaisuutta. Infrahankkeissa tietomallista käytetään myös nimitystä inframalli. Lyhyesti sanottuna tietomalli on rakennus- tai maarakennushankkeen tiedot digitaalisessa muodossa. Tietomallinnuksessa kaikki hankkeen suunnitelmat pystytään hakemaan yhteisestä sähköisestä tietokannasta. Konkreettisesti nämä tiedot löytyvät joltakin palvelimelta, johon kaikilla hankkeen osapuolilla on pääsy. Palvelimelle päivittyy välittömästi suunnittelijalta tulevat mahdolliset muutokset, jolloin ajantasaisimmat tiedot ovat jatkuvasti saatavilla. Jokainen suunnitelma ja niiden osakokonaisuudet on nimetty siten, että tietyn työvaiheen edellyttämä tieto on saatavilla valikosta halutulla nimikkeellä. Työkoneeseen asennettu koneohjausjärjestelmä on langattomasti yhteydessä kyseiseen palvelimeen. Palvelinta voikin ajatella projektikohtaisena kirjastona, josta kuljettaja voi noutaa kulloisessakin työvaiheessa tarvitsemansa suunnitelmat, joista käytetään nimitystä koneohjausmalli. Palvelimelta noudetut koneohjausmallit toimivat pohjana, johon työkoneiden koneohjausjärjestelmät vertaavat koneen ja sen työlaitteen sijaintia. (Laukkanen 2017-01-12.)

Tietomalli pitää sisällään useita 3D-mallin osakokonaisuuksia. Kaikki erilliset mallit sisältävät tarkat mitta- ja sijaintitiedot pituus- (X), leveys- (Y) ja korkeussuunnassa (Z), mikä mahdollistaa kaikkien mallien tarkastelun kolmiulotteisina kuvina. 3D-formaatissa olevia kuvia tarkasteltaessa, voidaan suunnitelmien onnistumista tutkia jo projektin alkuvaiheessa. Esimerkiksi törmäystarkastelussa eri osamallit kootaan yhteen ja kaikkia niihin kuuluvien rakenteiden sijoittumista voidaan tarkkailla törmäysten varalta. Käytännössä tällä tarkastelulla tarkoitetaan varmistumista siitä, ettei esimerkiksi sadevesiviemäri katkaise suunniteltua vesijohtolinjaa. (kuva 23). Tällöin havaittuihin virheisiin osataan puuttua jo suunnitteluvaiheessa, eivätkä päällekkäisyyksistä aiheutuvat muutokset aiheuta ongelmia rakennusvaiheessa. (Laukkanen 2017-01-12.)

Inframalleja tuotetaan hankkeen eri vaiheissa erilaisiin tarkoituksiin. Suunnittelun lähtötiedoiksi tuotetaan lähtötietomalli, suunnittelun lopputuloksena tuotetaan suunnittelumalli. Rakentamista ja toteutusta varten työmaalle toteutetaan toteutusmalli, josta käytetään myös nimitystä koneohjausmalli. Lisäksi toteutuksen jälkeen rakennuskohteesta koostetaan mittaustietojen perusteella toteutusmalli. Edelleen jo toteutuneet mallit toimivat ylläpidon apuvälineenä (ylläpitomallit) ja seuraavien hankkeiden lähtötietoina. (Yleiset inframallivaatimukset 2015, osa 8, 3 a)



Kuva 23. VDC Explorer-ohjelmistolla löydetty virhe törmäystarkastelussa. Vesijohtolinja törmää mallissa hulevesiviemäriin. (Hannuksela 2017)

5.2 Inframallin sisältö

Inframallissa hankkeen rakenteet esitetään kolmiulotteisina malleina ominaisuuustietoineen. Inframalli on jaettu osamalleihin, joita voidaan hyödyntää yksittäin tai yhdistelmämallina. Inframalli sisältää useita osamalleja, joista jokainen sisältää useita tiedostoja. Tästä syystä inframallin kansiorakenne on toteutettava mahdollisimman selkeästi, jotta mallista haettavat tiedot löytyvät helposti. Inframallin jako osamalleihin on YIV2015:ssä esitetty seuraavasti (Yleiset inframallivaihtimukset 2015, osa 4, 16 - 19 b):

- hallinnolliset rajat
- väylämalli
- pohjarakennus
- vesien hallinta
- johdot ja laitteet
- väyläympäristö
- työnaikaiset rakenteet ja liikennejärjestelyt
- sillat
- muut taitorakenteet
- valaistus
- liikenteenohjaus
- tunnelit.

5.3 InfraBim

Infrahankkeen inframalli sisältää useita mallikokonaisuuksia, aina esisuunnitteluvaiheesta hankkeen ylläpitoon asti. (kuva 24). Tietomallinnuksessa käytettävien mallien ja määritteiden suuren lukumäärän vuoksi, on niiden mallinnus-, numerointi- ja nimeämiskäytäntöjä pyritty yhtenäistämään. Suomessa tätä kehitystä varten on kehitetty InfraBIM (BIM = Building Information Model), joka on inframallintamisen yhteistyöfoorumi. InfraBIM-foorumi on vastannut yleisten infravaatimusten kehittämisestä. InfraBIM on RYM Oy:n (kiinteistö- ja rakennusalan huippuosaamisen pääomasijoitusyhtiö) kehityshanke, jonka yhteistyökumppaneina on suuria rakennusliikkeitä, kaupunkeja ja oppilaitoksia. InfraBIM:n myötä on syntynyt Yleiset inframallivaatimukset 2015 (YIV-2015), jonka tarkoituksena on ollut helpottaa alan toimijoiden yhteistyötä tietomallintamisen hyödyntämisessä. Yleiset inframallivaatimukset koostuvat 12 osasta teknisiä ohjeita, joissa selvitetään miten mallit tulee laatia ja miten malleja hyödynnetään eri käyttötapauksissa. Mallivaatimukset on tarkoitettu hankkeen eri osapuolien kuten suunnittelijan, tilaajan ja tuottajan välille, tarjoamaan yhteiset pelisäännöt tietomallintamiseen, sitä hyödyntävissä projekteissa. Ohjeistukset perustuvat tämän hetkisiin parhaisiin käytäntöihin ja ohjeita kehitetään jatkuvasti, ammattitaidon ja työvälineiden kehittyessä. 3D-mallien yhtenäistämistä varten on laadittu myös InfraBIM-nimikkeistö, jossa infrarakenteiden ja -mallien elinkaarren kattavat numerointi- ja nimeämiskäytännöt on esitetty. Tavoitteena on luoda hankkeen kaikissa vaiheissa yhtenäisillä menettelytavoilla toteutettuja 3D-malleja, joita voidaan hyödyntää suoraan koneohjausjärjestelmissä. Tulevaisuudessa ohjeistusten ylläpitovastuu on buildingSMART Finland infra-toimialaryhmällä.

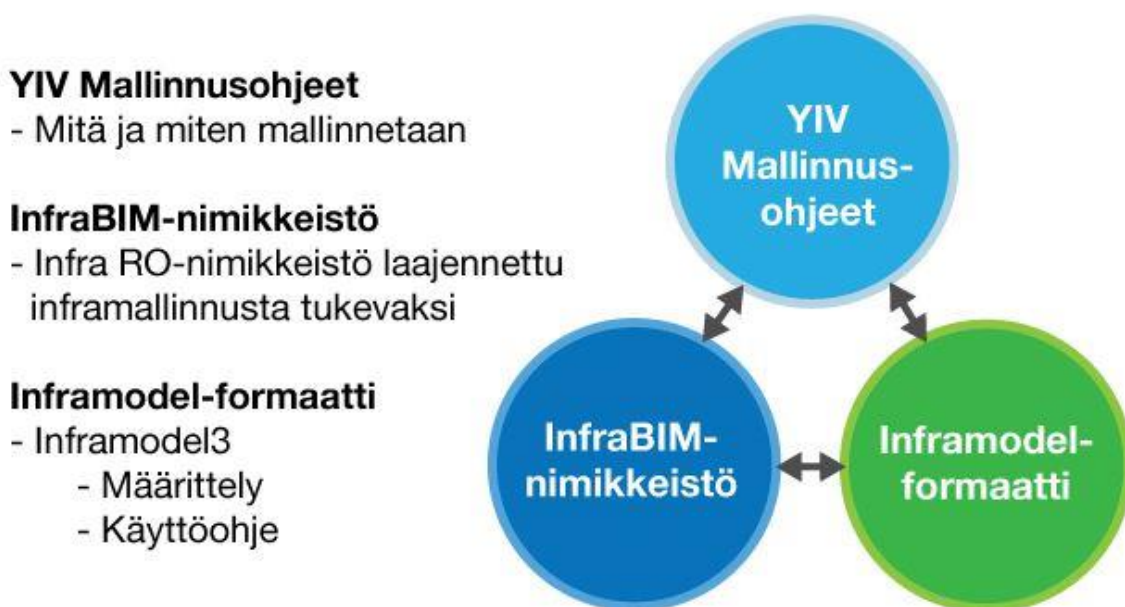
(Rts.fi. a)



Kuva 24. Tiehankkeen eri vaiheiden mallit (Yleiset inframallivaatimukset 2015)

5.4 Inframodel-formaatti

Koneohjausjärjestelmiä ja niihin mallisisältöä tuottavia ohjelmistoja on saatavilla lukuisia, mistä syystä myös ohjelmistojen tuottaman tiedon, sekä koneohjausjärjestelmien tukemien tiedostomuotojen välillä on eroavaisuuksia. Inframodel on InfraBIM-hankkeen yhteydessä kehitetty avoin tiedonsiirtoformaatti, jonka tarkoituksena on koneohjausmallien käytettävyyden ja yhdenmukaisuuden parantaminen eri ohjelmistojen välillä. Formaatin on tarkoitus olla käytettävissä Suomessa koko infra-alalla niin suunnitteluohjelmissa kuin mittaus- ja koneohjaussovelluksissa. Inframodel perustuu kansainväliseen LandXML-standardiin, joka on Infrabim-hankkeessa määritelty tavoitteelliseksi tiedostojen tallennusformaatiksi kaikkien tietomalliin sisällytettyjen mallien osalta. Näin pystytään varmistamaan, että kaikki tieto on saatavilla ohjelmistoriippumattomassa avoimessa muodossa hankkeen jatkosuunnittelun ja rakentamiseen osallistuvien käytössä. (Rts.fi. b)

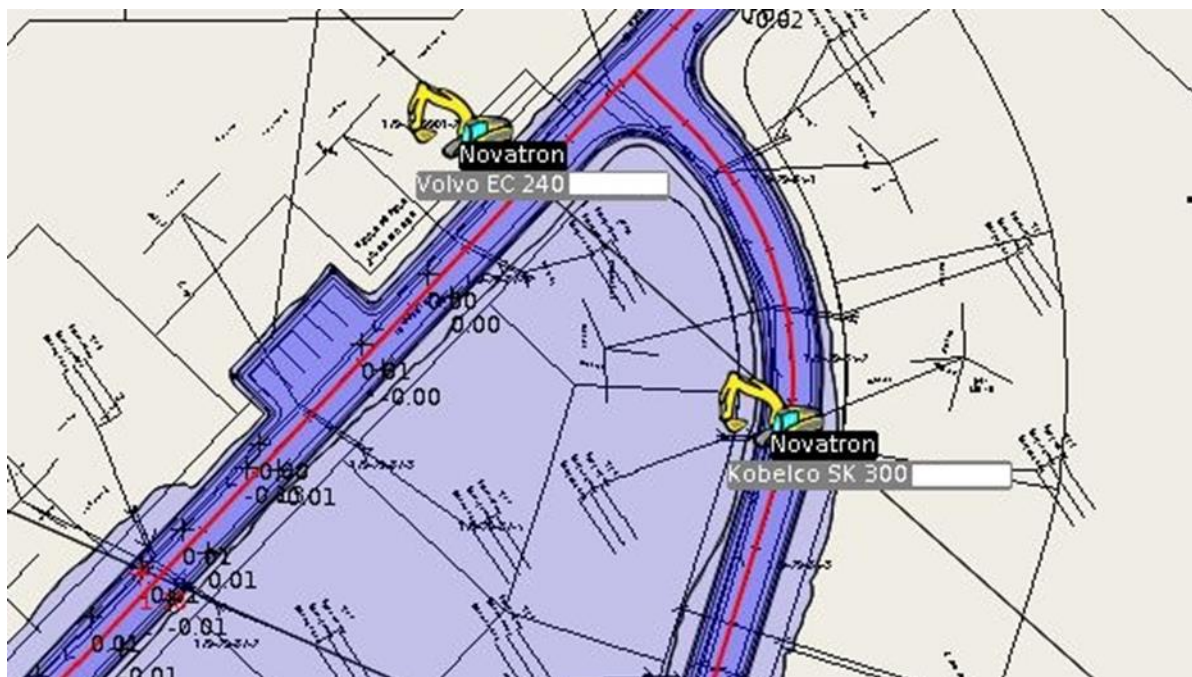


Kuva 25. Tietomallien sisällön yhtenäistämiseen luotuja työkaluja (Yleiset inframallivaatimukset 2015)

5.5 Infrakit

Jyväskylän kaupunki on ottanut katuhankkeidensa keskitettyä hallintaa varten käyttöönsä Infrakit-ohjelmiston. Ajatus Infrakitista on saanut alkunsa Oulun Yliopiston rakentamisen automaation tutkimuksesta ja vuonna 2010 idea kehittyi firman perustamisen tasolle. Infrakit on infrarakentamisen tarpeisiin luotu selainpohjainen pilvipalvelu, jonka avulla kaikilla hankkeessa toimivilla osapuolilla on käytössään ajantasainen tieto. Infrakitiin tallennetaan rakennushankkeen kaava, kartoitusmittaukset, suunnitelmat sekä muut lähtötiedot. Projektin aikana tietokantaan lisätty aineisto muodostaa hankkeesta täydellisen tietomallin lähtötietoineen, suunnitelma-aineistoineen ja toteumatietoineen. Infrakit käsittelee sähköisessä muodossa olevia suunnitelma- ja toteumatietoja yhdistelmämallina avoimissa formaateissa ja sen ansiosta tietojen hallinta, näyttäminen ja jakaminen on yksinkertaista ja tehokasta. Pilvipalvelu mahdollistaa niin suunnittelijan, tilaajan, urakoitsijan kuin valvojan pääsyn samaan ajantasaiseen aineistoon. Suunnitelmamallit ja toteumatiedot esitetään karttapohjalla, työmaakoordinaatistossa. Näin kaikki hankkeen osapuolet pystyvät seuraamaan hankkeen etenemistä suunnittelun ja rakentamisen aikana reaaliaikaisesti. Kaikki tarvittava tieto on tarkasteltavissa omalta tietokoneelta ja tarvittaessa omia aineistoja voi lisätä yhteiseen malliin. Kaikki Infrakitiin ladattu aineisto on tarkasteltavissa myös Android-pohjaisilla mobiililaitteilla, mikä mahdollistaa sisällön tarkastelun paikan päällä työkohteessa. GNSS-paikannustoiminto paikantaa käyttäjän ohjelmistossa näkyvälle karttanäytölle, jolloin käyttäjän sijainti näkyy projektisuunnitelman päällä. Tämä ominaisuus helpottaa kokonaisuuksien hahmottamista, perinteisen maastonmerkinnän poistuessa.

(Infrakit.com.)



Kuva 26. Näkymä Infrakitin suunnitelmakartasta. Kartalta voi tarkastella hankkeessa työskentelevien työkonien sijaintia. Koneiden suorittamat toteumamittaukset näkyvät mustina risteinä kuvan vasemmassa alakulmassa. (Hannuksela 2017)

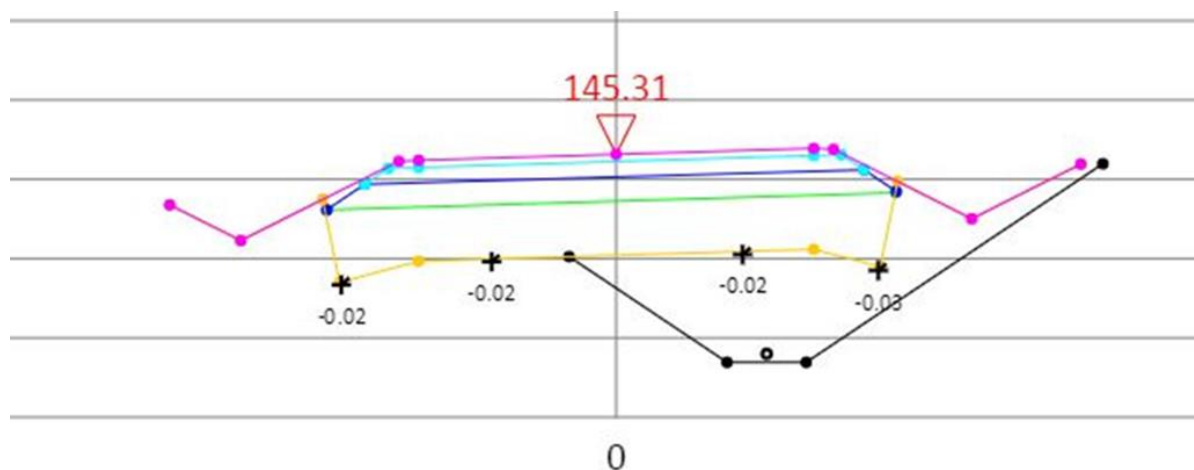
Infrahankkeen tietomallipohjainen suunnittelu edellyttää pintamallit kaikista rakennekerroksista. Infrakit-ohjelmistoa voidaan hyödyntää mallien suunnittelussa, käyttämällä sähköisessä muodossa olevaa mittaus- ja suunnitelma-aineistoa, muokkaamalla niitä eri tiedostoformaattien välillä. Suunnittelija pystyy tarkastelemaan luomiaan malleja työmaan koordinaatistossa. Lisäksi Infrakitissa voidaan suorittaa myös mallien törmäystarkastelu. Näin voidaan varmistua kaikkien tietomallin sisältämien osakokonaisuuksien rakennettavuudesta. Tilaaja pystyy seuraamaan hankkeen etenemistä suunnittelun ja toteutuksen aikana reaaliaikaisesti. Tilaaja voi myös myöntää kilpailutusvaiheessa tarjoaville osapuolille pääsyoikeuden suunnitelma-aineistoon, jolloin urakkatarjousten laskeminen helpottuu ja tarkentuu. Hankkeen päätoteuttaja pystyy määrittämään tietokannassa olevan materiaalin käyttöoikeuksia ja rajaamaan tietyn aineiston ainoastaan omaan käyttöön. (Infrakit.com.)



Kuva 27. Infrakit-palvelun projektikohtainen sisältö (Infrakit.com)

Hankkeessa toimivat työkoneet liitetään Infrakit-pilvipalveluun, jolloin ne saavat projektiin ladatut koneohjausmallit käyttöönsä. Tällöin kaikilla koneilla on varmasti keskenään yhteensopivat ja ajantasaiset mallit käytettävissään. Projektinhallinnan kannalta Infrakit tarjoaa monia käyttökelpoisia työkaluja. Infrakit-ohjelmistosta työnjohto voi seurata työkoneiden tarkastusmittausten ajankohtaa ja tuloksia. Infrakit seuraa myös siihen liitettyjen työkoneiden toiminta-astetta, jota voidaan tarkastella prosentteina tai viivadiagrammina palvelun kautta. Infrakitissa työmaan toteumatiedot esitetään visuaalisesti karttanäkymässä, mikä mahdollistaa työmaan laadun ja etenemän tarkastelun läpinäkyvässä muodossa. Projektinhallinta muuttuu reaaliaikaiseksi ja kaikkien hankkeen sidosryhmien tietoisuus paranee huomattavasti. Tilaajan sekä valvojen toimenkuva helpottuu ja urakoitsijan suorittamat raportoinnit voidaan toteuttaa reaaliaikaisella tilannekatsauksella työmaan edistymisestä. (Infrakit.com.)

Työmaan toteumatietoa voidaan kerätä mittaushenkilöiden takymetri- tai GNSS-laitteilla suorittamista tarkemittauksista, mutta niiden lisäksi toteumatietoa voidaan kerätä myös koneohjausjärjestelmällä varustetun työkonteen avulla. Esimerkiksi katulinjaa leikattaessa kaivinkoneen kuljettaja suorittaa toteumamittaukset sovituilta paaluväleiltä, tietyiltä kohdilta rakennetta. Tällöin mitattujen toteumapisteiden sijaintia voidaan verrata suunnitelmien mukaiseen tavoitetasoon. Työmaalta mitatut toteumapisteet vertautuvat automaattisesti suunnitelma-aineistoon ja niitä voidaan tutkia sekä karttapohjalla (kuva 26), että poikkileikkauksissa. (kuva 28). Toteumatietoa voidaan seurata reaaliaikaisesti, jolloin suoritekohtaisen valmiusasteen määrittäminen on helppoa.



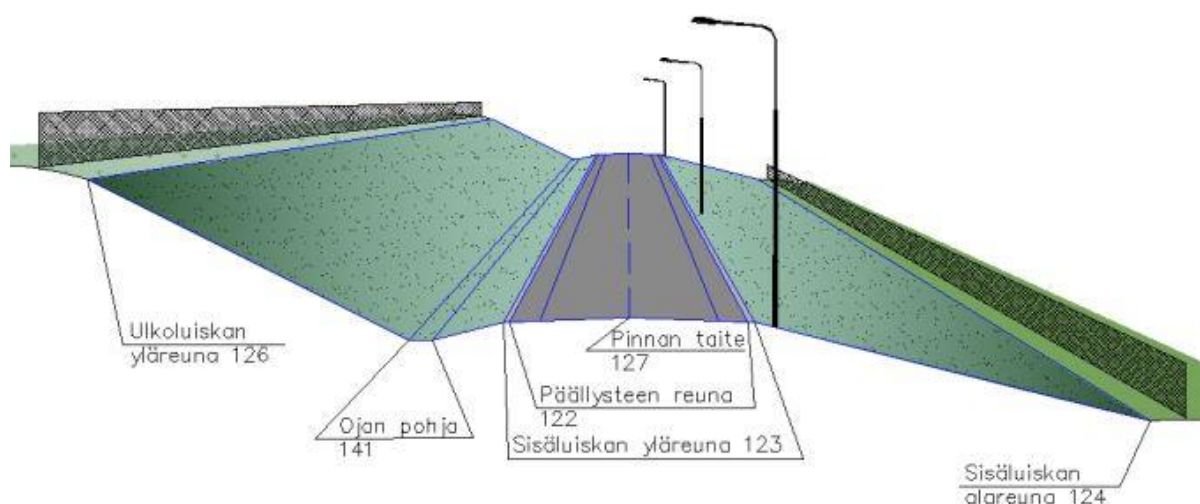
Kuva 28. Infrakit-ohjelmistosta poimittu kadun poikkileikkaus. Toteumapisteet näkyvät mustina risteinä, joiden alapuolinen lukema kertoo erotuksen mallin mukaiseen korkotasoon. Mikäli erotus ylittää sallitun toleranssin, näkyvät toteumapisteet leikkauksessa punaisella. Kuvassa toteumapisteet on mitattu alimmasta yhdistelmäpinnasta. (Hannuksela 2017)

5.6 Koneohjausmalli

Koneohjausmallista käytetään myös nimitystä toteutusmalli ja sillä tarkoitetaan koneohjausjärjestelmälle oikeaan tiedostomuotoon muokattua suunnitelmaa. Suunnittelijoiden toimittama aineisto on harvoin koneohjausjärjestelmille valmiiksi soveltuvassa muodossa, joten suunnitelmista on tehtävä koneohjausmallit ennen kuin aineistoa pystytään hyödyntämään koneohjausjärjestelmissä työmaalla. Koneohjausmallissa taso- ja poikkileikkauskuvien sisällöt yhdistetään, antamalla suunnitelmissa esitetyille tiedoille x-, y- ja z-koordinaatit. (3D-koppi.fi.)

Koneohjausmalli voi olla pintamalli, viivamalli tai pistetietoa. Pintamallia käytetään esimerkiksi mallinnettaessa tiealueen rakennekerroksia, viheralueita, luiskia tai perustuskaivantoja. Pintamallit luodaan käyttämällä taiteviivoja tai kolmiointia. Viivamalleja voidaan hyödyntää esimerkiksi putkirakenteita mallinnettaessa, jolloin kaikilta sijaintikoordinaateiltaan tunnettu viiva on riittävä osoittamaan rakennettavan putken sijainnin. Pistetietona malleissa voidaan esittää esimerkiksi kaivoja, valaisimia ja liikennemerkkejä. (3D-koppi.fi.)

Jokaisesta yksittäisestä rakennettavasta rakennepinnasta on oma toteutusmalli, johon lähtökohtaisesti mallinnetaan ainoastaan ne viivat, joiden kohdalla rakenteen pinnassa on taite tai viiva on muulla tapaa merkittävä. (kuva 29). Taiteviivalla tarkoitetaan useiden suorien muodostamaa jatkuvaa ketjua, joilla kaikilla on keskenään samat x-, y- ja z-koordinaatit edellisen viivan loppupisteen ja seuraavan viivan aloituspisteen kanssa. Rakennettavan väylän mittalinjan taiteviiva mallinnetaan aina, vaikka väylä olisi yksipuoleisesti kallistettu. (Snellman 2013, 13 - 16.)



Kuva 29. Toteutusmallin ylimmän yhdistelmäpinnan taiteviivojen nimet ja koodit InfraBIM-nimikkeistön mukaisesti (Infrabim.fi)

6 VERTAILU KONEOHJAUKSEN JA PERINTEISEN MENETELMÄN VÄLILLÄ

6.1 Koneohjauksen yleistyminen

3D-koneohjausjärjestelmät ovat mullistaneet maarakennusalan toimintatavat ja niiden käyttö on yleistymässä jatkuvasti. Etenkin vanhemman sukupolven negatiivinen suhtautuminen uutta tekniikkaa kohtaan on jarruttanut 3D:n käyttöönottoa pitkään. Ajatusmallissa on kuitenkin ollut havaittavissa viime vuosina myöntymisen merkkejä ja etenkin nuoremmat koneenkuljettajat ovat ottaneet uudet laitteet hyvin vastaan. Työmailla kuulemani mukaan, kuljettaja on kykenevä oppimaan 3D-järjestelmän käytön, mikäli älypuhelimien käyttöön vaadittava tietotekninen sivistys on olemassa. Koneohjauksen yleistymistä on jarruttanut myös järjestelmien hinta. Esimerkiksi kaivinkoneeseen asennettavan kahdella GNSS-antennilla varustetun koneohjausjärjestelmän hinta on noin 30 000 €, mikä on huomattava investointi konekaluston arvoon suhteutettuna. Tarjolla on myös koneohjausjärjestelmiä vuokralle tarjoavia yrityksiä. Tällöin koneohjauksen tuomia todellisia hyötyjä päästään kokeilemaan käytännössä ja vuokrasuhteen jälkeen laitteet on mahdollista hankkia itselleen, mikäli järjestelmään investoinnin katsoo kannattavaksi. Jotkin suurimmat tilaajat ovat määrittäneet jo nyt koneohjausjärjestelmien hyödyntämisen pakolliseksi tarjottavissa työkohteissaan ja tämä suunta on ollut selkeästi yleistymään päin.

6.2 Vaikutus päätoteuttajan ja suunnittelijan tehtäviin

Hankkeen päätoteuttajan kannalta 3D-koneohjauksen hyödyntäminen hankkeessa tuo monenlaisia hyötyjä. Parantunut työtarkkuus tuo kustannussäästöjä materiaalien osalta ja lisäksi työkoneiden tehostuneet työsuoritteet tuovat parannusta sekä projektin taloudelliseen että ajalliseen kokonaisuuden hallintaan. Kustannusten ja aikataulutuksen ennakointi helpottuu, mallipohjaisten lähtötietojen ansiosta. Massoittelut voidaan laskea tarkasti malleista ja toteutuneet työsuoritteet ovat parantuneen tarkkuuden ansiosta lähempänä teoreettisia määriä. Työmaan tilanne on paremmin hahmotettavissa, ajantasaisten toteumatietojen ansiosta. Myöskään merkittävien mittalinjojen tilaamisesta ei työmaan aikana tarvitse enää huolehtia, tarvittavien linja- sekä korkeustietojen ollessa tiedossa koneohjausmalleissa.

Työnjohdon tulee kiinnittää työsuunnittelussa huomiota siihen, että koneohjausjärjestelmillä varustetut koneet tekevät mahdollisimman paljon sellaisia työsuoritteita, joissa järjestelmiä päästään hyödyntämään. Koneohjaus kasvattaa työkoneen tuntihintaa, joten 3D-järjestelmällä varustettua kaivinkonetta ei kannata käyttää pitkäaikaisesti esimerkiksi kivien iskuvasarointiin.

Kuten työssä jo aiemmin mainittiin, on suunnittelijan vastuu kasvanut 3D-mallinnuksen myötä. Suunnitelmien tulisi olla toimivia koneohjausmalleja, eivätkä ne saisi sisältää epäjatkuvuuskohtia. Tämä lisää ammattitaidollisia vaatimuksia suunnittelijan työssä, mikä saattaa aiheuttaa osaavan työvoiman löytämisen osalta haasteita. Ammattitaidon ja mallien kehittyessä, ne tarjoavat entistä laadukkaampaa suunnitelma-aineistoa, joista mahdolliset virheet on helpompi havaita jo ennen varsinaisen rakennustyön aloittamista. Etuna tietomallipohjaisessa rakentamisessa on myös, että kaikki

suunnitelmat löytyvät nyt digitaalisessa muodossa yhdestä paikasta. Lisäksi mahdolliset suunnitelmamuutokset on helposti lisättävissä projektipankkiin, jolloin muutoskuvat päivittyvät välittömästi kaikille osapuolille. Paperisilla kuvilla rakennettaessa on olemassa riski, ettei suunnitelma ole uusin muutoskuva ja tällöin turhan työn tekemisen riski on olemassa.

Tietomallipohjainen suunnittelu vaatii ammattitaitoa myös suunnittelutyön tilaajalta. Tilaajalla tulee olla selkeä käsitys, mitä toteutusmallien tulee sisältää, jotta niistä löytyy kaikki tarpeellinen tieto, mutta toisaalta ei mitään ylimääräistä. Suunnitteluaineisto tulee myös tarkastaa, jotta se on varmasti vaatimusten mukaista ja hyödynnettävissä koneohjausmallina. Ennen aineiston käyttöönottoa, on siitä tarkistettava seuraavat asiat (Yleiset inframallivaatimukset 2015 c, osa 8, 15 - 16):

- Kaikki pyydetyt rakenneosat on mallinnettu.
- Kaikki taiteviivat ovat yhtenäisiä ja jatkuvia (YIV-vaatimusten sallitut poikkeamat huomioiden).
- Päällekkäisiä taiteviivoja ei ole samassa pinnassa.
- Aineistossa ei ole ylimääräisiä viivoja tai pisteitä.
- Pinnoissa ei ole epäjatkuvuuskohtia (YIV-vaatimusten sallitut poikkeamat huomioiden).
- Pintojen kaltevuudet ovat suunnitelmamallin mukaiset. (esim. korkeuskäyrien avulla tarkastelemalla).
- Kolmioverkko on riittävän säännönmukainen.
- Toteutusmalli vastaa suunnitelmamallia ohjeen tarkkuusvaatimuksen mukaisesti.
- Aineisto on oikeassa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä.
- Aineisto on oikeassa formaatissa.

6.3 Vaikutus mittaushenkilön tehtäviin

Mittamies on tavallisesti aikaisemmin ollut ensimmäinen työmaalla työskentelevä henkilö. Esimerkiksi katulinjan maastoonmerkintä on varsinkin talviaikaan erittäin työläs tehtävä, mikä uuden tekniikan ansiosta voidaan nyt jättää tekemättä. Koneenkuljettajalla on tiedossaan katualueen- sekä tonttien rajat, joten jo työmaan perustaminen ja pintojen raivaus voidaan toteuttaa ilman opastavia mittapaaluja. Perinteisen mittapaaluilla suoritettun maastoonmerkinnän poistuessa, päästään myös eroon niiden väistelemisestä ja uudelleen pystyttämisestä aiheutuvista kuluista. Perinteisesti sihtilapuun merkittyyn korkotietoon on myös saattanut tulla virheitä, esimerkiksi jyräämisen tai roudan aiheuttamasta mittapaalujen liikehinnästä johtuen. Mittapaaluja on joskus kaadettu ja poistettu myös ilki-vallan seurauksena.

Koneohjausjärjestelmien käyttöönotto vähentää perinteisen mittaustyön määrää huomattavasti. Se ei kuitenkaan tee mittaushenkilöistä tarpeettomia, vaan muuttaa totuttua työnkuvaa merkittävästi. Suunnittelijalta tulevia malleja joudutaan usein jalostamaan tarvittavaa käyttöä varten. Mallien tuottaminen ja tarkastaminen on vaativaa ja aikaa vievää puuhaa, mutta myös välttämätöntä, jotta mallit ovat varmasti toimivia. Järjestelmien käyttö vaatii myös ylläpidollisia toimia. Mikäli käytössä on siirrettävä- tai kiinteä tukiasema, tulee niiden sijaintitiedot tarkastaa tasaisin väliajoin. Lisäksi ko-

neissa olevien laitteiden tarkastamista varten tulee työmaalle mitata työkoneen tarkastuspisteitä, joihin työkoneen antamia mittatietoja verrataan. Työkoneiden tarkastuspisteitä seurataan ja tarvittaessa kalibroidaan. Myös toteutuneen työn tarkemittaukset työllistävät mittaushenkilöitä.

6.4 Vaikutus työkoneenkuljettajan tehtäviin

Tavoitetason ja kaivualueen rajojen ollessa jatkuvasti kuljettajan tiedossa, vältetään niin sanotulta ryöstöön kaivamiselta, eli esimerkiksi katulinjan pohjausta tehtäessä sitä ei kaiveta ylisyväksi eikä leveäksi. Perinteisellä maastonmerkinnällä korkotieto on merkitty sihtilappujen avulla esimerkiksi 10 metrin välein leikattavan alueen reunoille. Käytännössä kaivinkoneen kuljettaja on siis kaivanut mittapaalujen välin silmämääräisesti, jolloin kaivutasossa on kuljettajasta riippuen ollut aina enemmän tai vähemmän virhettä. Nyt korkotiedon ollessa tiedossa katulinjan jokaisessa kohdassa, vältetään ylikavulta ja vastavuoroisesti rakennekerroksia vastaanottaessa on materiaalimenekki huomattavasti pienempi. Mittapaalujen poistuessa, koneenkuljettajan ei tarvitse nousta ulos koneesta tarkistamaan korkoa, eikä koneen ympärille tarvita apumiestä vahtimaan kaivutasoa. Tämä tekee koneustyöstä mielekkäämpää ja parantaa työturvallisuutta, kun koneen välittömässä läheisyydessä ei työskentele ihmisiä. Myös kuljettajan kompastumis- / liukastumisriski pienenee, kun koneesta ei tarvitse tulla jatkuvasti ulos. Työsuunnitelmien ollessa mallipohjaisesti tarkasteltavissa koneen näytöltä ja suunnitelmien mukaisten tavoitetasojen ollessa jatkuvasti kuljettajan tiedossa, saavutetaan koneen työtehossa selkeästi paremmat tulokset. Myös mittaryhmän odottelusta aiheutuvat ventat jäävät pois.

Perinteisesti työmaan alussa kaapelioperaattoreilta on tilattu kaapelimerkinnot työalueelle, joissa kaivutöitä on tarkoitus suorittaa. Kaapelimerkinnot kaapelitutkalla havaitut sähkö- ja tietoliikennekaapelit paikannetaan ja niiden kulkureitille piirretään tasaisin välimatkoin merkkusmaalilla viivoja. Ongelmana on ollut, että ajan kuluessa vesisateet ja työmaaliikenne kuluttavat maalimerkinnot näkymättömiin, jolloin kaapelien sijainti on ollut tiedossa ainoastaan paperisissa kaapelikartoissa. Koneohjatuissa kaivinkoneissa kartoitetut maanalaiset rakenteet voidaan lisätä koneohjausaineistoon, jolloin varottavat kaapelit ja putket saadaan näkymään koneen näytöllä olevaan suunnitelmakarttaan. Joidenkin laitevalmistajien järjestelmiin voidaan varottaviin rakenteisiin lisätä malliin myös erillinen lähestymisvaroitin, jolloin kone hälyttää esimerkiksi lähestyvistä kaapelilinjasta. Tämä pienentää olemassa olevien rakenteiden vaurioitumisriskiä, eikä sijaintitieto ole sää- eikä työmaaolosuhteiden armoilla. Olemassa olevien kaapeleiden lisääminen malliin toimii hyvänä apuvälineenä kuljettajalle, mutta ei poista kaapelinäyttöjen tarpeellisuutta mahdollisten kaapelivaurioiden vastuukysymysten vuoksi. Sääolosuhteet ovat aikaisemmin vaikuttaneet muuhunkin kuin kaapelimerkintöjen pysyvyyteen. Perinteisistä mittapaaluista koron havainnointi on ollut pimeällä ja sumussa käytännössä mahdotonta, mutta tämäkin ongelma poistuu koneohjauksen myötä.



Kuva 30. Perinteisellä mallilla suoritettu tielinjan maastoonmerkintä (Hannuksela 2013)



Kuva 31. Altekin koneohjattu katurakennuskohde Jyväskylän Palokassa. Katualueen reunoilla ei ole ainuttakaan mittapaalua. Kuvassa näkyvät lankut on pystytetty tonttihaaroihin merkitsemään vesijohtojen ja jätevesiviemärien päiden sijaintia. (Hannuksela 2017)

7 KYSELYTUTKIMUS KONEAUTOMAATION KÄYTTÖKOKEMUKSISTA

7.1 Tutkimuksen taustat

Jyväskylän kaupungin Altek aluetekniikka -liikelaitos kokeili pilottiluonteisesti koneohjauksen käyttöönottoa muutamissa työkohteissaan vuoden 2016 aikana. Saadut kokemukset olivat siinä määrin positiivisia, että Altek hankki myös itselleen pyörälustaisen Volvo EW 180 kaivinkoneen ja siihen Novatron Oy:n koneohjausjärjestelmän. Koneohjatuissa kohteissa 3D-järjestelmiä päästiin kokeilemaan aliurakoitsijoiden koneisiin asennettujen järjestelmien tiimoilta sekä kaivinkoneiden että tiehöylän osalta ja nyt koneautomaatio olisi tarkoitus ottaa käyttöön laajemmassa mittakaavassa.

Opinnäytetyön osana haastateltiin, sähköpostin välityksellä, Espoon ja Oulun kaupunkeja koneohjausjärjestelmien käyttöönotosta ja hyödyntämisestä. Molemmat kaupungit ovat toteuttaneet koneohjattuja hankkeita jo vuosia ja tavoitteena oli selvittää kummankin kaupungin toimintamalleja koneautomaatioon liittyen. Tarkoitus oli myös kartoittaa odotettavissa olevia vaikeuksia ja pyrkiä välttämään samoihin ongelmatilanteisiin ajautumisen. Saatujen haastattelutietojen sekä omien kokemusten pohjalta suunniteltiin Jyväskylän kaupungin käyttöön parhaiten soveltuvat toimintamallit, joiden pohjalta laadittiin myös lyhennetyt toimintaohjeet suunnittelijoiden, mittaushenkilöiden, työnohjaajien sekä koneenkuljettajien käyttötarpeisiin.

7.2 Espoon ja Oulun kaupunkien edustajien haastattelut

7.2.1 Koneohjauksesta yleisesti

Espoon kaupungin tietomallikoordinaattori Jari Kainuvaara (2017-02-06) kertoi, että Espoon kaupunki on hyödyntänyt koneohjausta jo vuodesta 2013 alkaen ja uskoo, että koneohjausjärjestelmät ovat tulleet jäädäkseen ja aiheen tiimoilta kehitys jatkuu. Järjestelmiä käyttöönotettaessa Kainuvaara olisi toivonut parempaa perehdytystä uuden tekniikan toiminnasta sekä sillä tavoiteltavista hyödyistä. Työmaalla järjestelmien käytön opetteluun kului paljon tehokasta työaika, joten koulutuksesta olisi ollut suuri apu. Koneohjausjärjestelmien käytössä suurimmat ongelmat ovatkin olleet käyttäjien osaamisen ja uuden tekniikan käyttöönottoon liittyvät ongelmat. Näiden alkukankeuksien jälkeen järjestelmien käyttö on tullut rutiininomaiseksi ja alkanut sujua. Espoon kaupungilla koneohjauksen ympärillä toimii tietomallikoordinaattori Kainuvaaran lisäksi kaksi mittaryhmää, jotka hoitavat operatiivisen puolen ja tarkastukset.

Projektipäällikkö Mikko Ukkola, Oulun kaupungin katu- ja viherpalveluista (2017-03-08) kertoo, että Oulussa kaupungin työmailla ollaan oltu tyytyväisiä järjestelmien käytöstä saatuihin hyötyihin ja jatkossa kaikki infra-hankkeet tullaan toteuttamaan tietomallipohjaisen rakentamisen kautta.

7.2.2 Korjausdatan hankintamuoto

Koordinaattori Jari Kainuvaaran mukaan heillä on hankkeissaan käytössä verkko-RTK-korjauspalvelu ja sen toimintaan on pääsääntöisesti oltu tyytyväisiä. Suurimmat ongelmat ovat liittyneet lähinnä katvealueisiin. Espoon kaupungilla on kokemusta myös kiinteän tukiaseman käytöstä, jolla korjausdatan suhteen on päästy hieman tasalaatuisempaan ja parempaan tarkkuuteen, mutta verkko-RTK on käytettävyytensä, kustannustehokkuutensa ja asiallisen tarkkuutensa ansiosta vakiinnuttanut roolinsa Kaupungin työmailla. Kainuvaara kuitenkin korostaa, että mikäli koneohjattuja työmaita on lähialueilla useita, voi kiinteä tukiasema tulla tällöin myös taloudellisesti kannattavammaksi vaihtoehdoksi.

7.2.3 Työmaamittaukset

Kainuvaaran mukaan koneohjatuilla työmailla perinteistä mittaustapaa ja merkintää hyödynnetään yhä lähinnä vesihuollon ja siihen liittyvien varusteiden ja laitteiden merkinnässä. Myös asfaltoinnissa ja reunakivien asennuksissa käytetään yhä perinteistä merkintää, mutta muilta osin mittapaalut ovat työmaan reunoilta pääosin hävinneet. Kaupungin oma mittaosasto suorittaa urakoiden valmistuttua kantakarttaan mittaamisen, jolloin ylin yhdistelmäpinta saadaan kartoitettua. Tarkemittaukset suoritetaan käsityönä ainoastaan vesihuollosta, kaapeloinneista ja niihin liittyvistä varusteista sekä kallion irtilouhintaan liittyvistä pisteistä. Muilta osin työkoneiden suorittamat toteumamittaukset ovat riittäneet myös tilaajalle toteuma-aineiston dokumentointiin. Päämääränä kaupungin hankkeissa on ollut, että tietomallipohjaisessa rakentamisessa laadukkaat mallit mahdollistavat rakentamisen niin tarkasti, että mittaukseen perustuvaa tarketiedon keräämistä ei enää tarvita. Toteutusmalli toimisi siis toteumamallina niiltä osin, kun rakentaminen vastaa mallia.

Oulun kaupungilla on projektipäällikkö Ukkolan mukaan koekäytössä tietomallihankkeisiin suunniteltu ohjeistus, jossa on määritelty koneohjauksen hyödyntämiseen liittyviä toimintatapoja. Ohjeistuksessa on määritelty toteumamittaukset suoritettavaksi työkoneella taiteviivojen kohdilta n. 20 m:n välein, jolloin rakenteen asema ja muoto käyvät mittauksesta ilmi. Ohjeistuksen mukaisesti, työkoneautomaatiolla toteutetuista rakenteista suoritetaan tarkemittaukset takymetrillä 50 - 100 m:n välein, kohteen ominaisuudet huomioiden. Jokaisesta rakennekerroksesta mitataan vähintään kaksi poikkileikkausta.

7.2.4 Koneohjausjärjestelmien ylläpito

Espoon kaupungin ohjeistus on, että käytössä olevat järjestelmät tulee tarkastaa viikoittain. Työmaalle rakennetaan kiinteitä tarkastuspisteitä, joilla on tarkat x-, y- ja z-koordinaatit. Koneenkuljettaja käy suorittamassa toteumamittauksen pisteellä ja mittauksen erotuksen perusteella joko jatkaa työtä tai kalibroi kauhat uudestaan. Urakoissa tarkastus on hyvin vakioitunut tapa ja dokumentoituja tarkastuksia tehdään hyvin, Kainuvaara toteaa.

Ukkola kertoo, että myös järjestelmien ylläpitoon liittyvissä mittauksissa Oulun kaupunki hyödyntää tietomallihankkeisiin luotua koekäytössä olevaa ohjeistusta. Ohjeen mukaisesti tulee työkoneiden mittatarkkuus tarkastaa aina, kun työkone otetaan käyttöön ensimmäistä kertaa uudessa työkohteessa. Lisäksi koneen paikannustarkkuutta tarkastetaan koneenkuljettajan toimesta vähintään kerran päivässä, toimenpiteitä varten mitatuilla kontrollipisteillä. Lisäksi työkoneen mittatarkkuus tulee tarkastaa tunnetulta korkopisteeltä aina kun työkoneen kauha tai terä vaihdetaan.

7.2.5 Suunnitelmat

Jari Kainuvaara kertoo, että toistaiseksi melko pieni osa suunnitelmista tulee valmiina koneohjausmalleina. Ajatuksena on ollut, että suunnitelmamallit ja toteutusmallit sopisivat koneohjaukseen semmoisenaan. Ongelmia on kuitenkin ilmennyt putki- ja johtokaivantojen sovittamisessa koneohjausmalliin. Suunnittelussa huomioidaan mm. maalajit ja kaivannon tukemisen tarve. Harvoin kuitenkaan esimerkiksi kallionpinta on siellä missä ennustettu, joten mallit eivät sovellu semmoisenaan työmaakäyttöön. Periaatteessa mallit toimivat työmaalla hyvin, mutta tulkinta oikeasta rakennustavasta tulisi tehdä maastossa todellisista maalajeista, eikä mallista. Siirtymäkiiloja ei koneohjausmalleihin tule laittaa, sillä ne eivät koskaan osu oikeaan paikkaan ja kiilojen mallinnus sopiikin ainoastaan kustannuslaskentaan.

Mikko Ukkolan mukaan Oulun kaupunki saa kaikki katusuunnitelmat valmiina koneohjausmalleina.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada lukijalle käsitys 3D-koneohjausjärjestelmien toiminnasta eri koneyksiköissä, koneohjauksen mahdollistavista paikannusmenetelmistä sekä suhteellisen GNSS-paikannuksen vaatimista korjauspalveluista. Lisäksi tavoitteena oli muodostaa helposti omaksuttava osio tietomallin osakokonaisuuksista sekä niiden yhtenäistämiseen luoduista työkaluista. Opinnäytetyön kehitysosassa Jyväskylän kaupungille luotiin koneohjauksen laadunvarmistusohjeet. Käytännössä suunnittelijoiden, maastomittauksen, koneenkuljettajien ja työnjohdon käyttöön tehtiin lyhennetyt toimintaohjeet koneohjauksen hyödyntämisessä. Ohjeet luotiin osin YIV2015-ohjeistuksen ja osittain työmailla havaittujen käytännön kokemusten pohjalta. (Liitteet 1 - 4).

Toinen osakokonaisuus oli suunnitella taloudellisesti ja toiminnallisesti järkevin ratkaisu koneohjausjärjestelmien vaatiman korjausdatan hankintaan, vertailemalla kertyviä kustannuksia tapauksissa, joissa kaupunki tarjoaa korjauspalvelun urakoitsijoiden käyttöön virtuaalitukiasemiin hankittavilla tunnuksilla tai hankkimalla oman kiinteän tukiaseman. Toisena vertailukohtana käytettiin mallia, jossa urakoitsijat hankkivat itse korjauspalvelun parhaaksi katsomallaan tavalla. Lisäksi mietittiin erilaisia vaihtoehtoja kaupungin työmailla toimivien työkoneiden liittämiseksi Infrakit-palveluun. Käytönoton aikana ongelmia ilmeni eri laitevalmistajien palvelintunnusten kanssa, joiden kautta koneet saadaan liitettyä Infrakitiin. Vielä on epäselvää kuinka kyseisten palvelimien tunnusten kustannukset kohdentuvat päätoteuttajan ja urakoitsijan välillä ja voidaanko kyseisiä lisenssejä ylipäättään edellyttää, sillä niitä ei ole konekohtaisissa tarjouksissa erikseen vaadittu. Mikäli urakoitsija kieltäytyy hankkimasta tunnuksia, estyy koneen liittäminen Infrakitiin ja suunnitelmat on toimitettava koneeseen manuaalisesti. Vastaavasti koneen mittaamat toteumatiedot on haettava koneohjausjärjestelmän tietokoneyksiköstä muistitikulla ja siirrettävä erikseen projektikohtaiseen pilvipalveluun.

Opinnäytetyön ohessa tehtyjen laskelmien pohjalta päädyttiin harkitsemaan ratkaisua, jossa kaupunki hankkisi kiinteän tukiaseman ja tarjoaisi korjauspalvelun urakoitsijoiden käyttöön. Lisäksi seuraavaan konetarjouskierrokseen sisällytettäisiin vaatimus koneohjausjärjestelmien yhteensopivuudesta kaupungin käytössä olevan projektikohtaisen pilvipalvelun kanssa. Kyseisellä ratkaisulla kyettäisiin takaamaan mahdollisimman käyttökelpoinen ja taloudellinen kokonaisuus järjestelmiä hyödynnettäessä. Tällä hetkellä korjauspalveluita tarjoavilta yrityksiltä on pyydetty tarjouksia erilaisista toteutusmalleista ja niiden käyttövarmuutta sekä hintoja vertaillaan. Selvityksessä on myös, miten keskitettyyn projektinhallintaan edellytetyt tunnuksia voidaan hankintalain puitteissa vaatia. Järjestelmät mahdollistavat lukuisia työtä tehostavia osakokonaisuuksia, mutta kaupunkiorganisaatiossa, jossa toimii useiden eri laitevalmistajien järjestelmiä, on yhteensovittamisessa vielä paljon pohdittavaa, joten työtä aiheen parissa riittää.

Tein ammattikoulun päättötyön koneohjausjärjestelmistä vuonna 2007 ja tuolloin kyseisiä järjestelmiä oli Suomessa käytössä yksittäisiä. Arvelin tuolloin koneohjauksen yleistyvän lähivuosina, ja nyt 10 vuotta myöhemmin, työskentelee parhaillaan pelkästään Jyväskylän kaupungin työkohteissa 11 koneohjausjärjestelmällä varustettua kaivinkonetta. Koneohjausjärjestelmät ovat vakiinnuttaneet roolinsa maarakennustyömailla, enkä usko että perinteiseen rakennusmalliin on paluuta. Mielenkiinnolla jään odottamaan, mikä on koneohjauksen tuomien mahdollisuuksien seuraava kehityssuunta. Jää nähtäväksi onko seuraavan 10 vuoden aikana työmailla nähtävissä ensimmäiset ilman kuljettajaa työskentelevät työkoneet, jotka toimivat autonomisesti niihin ladatun toteutusmallin mukaisesti.

LÄHTEET

Fgi.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-01-04]

Saatavissa: <http://www.fgi.fi> Polku: Fgi.fi. Teematietoa. Paikannussatelliittijärjestelmät.

Equipmentworld.com. [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-01-15]

Saatavissa: <http://www.equipmentworld.com/komatsu-autonomous-haul-truck-no-cab/>

HEIKKILÄ, Rauno ja JAAKKOLA, Mika. 2004. Johdatus tienrakentamisen automaatioon.

Helsinki: Edita Prima Oy

Infrabim.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-01-16]

Saatavissa: <http://infrabim.fi> Polku: Infrabim.fi. Mallinnusohjeet. Inframallin laadunvarmistus.

Infrakit.com [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-01-20]

Saatavissa: <http://infrakit.com> Polku: infrakit.com. Urakoitsija. Wiki-sivumme.

Jyväskylä.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-01-04]

Saatavissa: <http://jyväskylä.fi> Polku: jyväskylä.fi. Altek.

KAINUVAARA, Jari 2017-02-06. Tietomallikoordinaattori. [haastattelu] Espoon kaupunki.

Komatsu.com [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-01-26]

Saatavissa: <http://komatsu.com> Polku: komatsu.com. Press Release. 2017. Komatsu Develops Innovative Autonomous Haulage Vehicle.

LAUKKANEN, Jussi. 2017-01-12. Kuinka koneohjaus auttaa maarakennuksen käytännön töissä?

Koneviesti. [viitattu 2017-01-12]

Laurila, P. 2010. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet
Jyväskylä: Kopijyvä Oy

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. Uudistettu painos.
Jyväskylä: Kopijyvä Oy.

Maanmittauslaitos.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-01-10]

Saatavissa: <http://www.maanmittauslaitos.fi> Polku: Maanmittauslaitos.fi. Ammattilaisille. Maastotiedot. Koordinaatti-korkeusjärjestelmät. Etrs89. Satelliittimittaus.

NIEMINEN, Juha-Matti 2011. Koneohjaus maarakennustyössä.

Saimaan ammattikorkeakoulu. Tekniikan ala. Opinnäytetyö. [viitattu 2017-01-10].

Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27378/Nieminen_Juha-Matti.pdf?sequence=1

Novatron.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-01-12]

Saatavissa: <http://www.novatron.fi> Polku: Novatron.fi. Mitä on koneohjaus.

Rts.fi. a. [verkkoaineisto]. [viitattu 0217-02-16]

Saatavissa: <http://www.rts.fi> Polku: Rts.fi. Infrabim. Infrabim_uusi. Työpaketti.

Rts.fi. b. [verkkoaineisto]. [viitattu 0217-01-23]

Saatavissa: <http://www.rts.fi> Polku: Rts.fi. Infrabim. Infrabim_uusi.Inframodel_3.

SAARINEN, Matti 2017-03-03. [valokuva] Matti Saarinen Oy

Tekninenkauppa.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-01-18]

Saatavissa: <http://tekninenkauppa.fi> Polku: Tekninenkauppa.fi. Tuoteryhmät. Koneohjaus-ja-infra- alan-ratkaisut. Koneohjausratkaisut.

Tiehallinto.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-01-12]

Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi> Polku: Tiehallinto.fi. Johdatus tienrakentamisen automaatioon.

UKKOLA, Mikko 2017-03-08. Projektipäällikkö. [haastattelu] Oulun kaupunki.

Yleiset inframallivaatimukset 2015 a. [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-01-13]

Saatavissa: <http://www.buildingsmart.fi> Polku: Buildingsmart.fi. YIV2015. Inframallin laadunvarmistus.

Yleiset inframallivaatimukset 2015 b. [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-01-18]

Saatavissa: <http://www.buildingsmart.fi> Polku: Buildingsmart.fi. YIV2015. Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa.

Yleiset inframallivaatimukset 2015 c. [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-03-03]

Saatavissa: <http://www.buildingsmart.fi> Polku: Buildingsmart.fi. YIV2015. Inframallin laadunvarmistus.

3dkoppi.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2017-01-17]

Saatavissa: <http://3dkoppi.fi> Polku: 3dkoppi.fi. Koneohjausmalli.

LIITE 1: KONEOHJAUKSEN LAADUNVARMISTUSOHJE SUUNNITTELIJALLE

KONEOHJAUSMALLIN LUOMINEN

- ✓ Aineiston tulee olla oikeassa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä
- ✓ Mallitiedostot ja – kansiot tulee nimetä kuvaavasti siten, että tiedostoista käy selvästi ilmi, mistä aineistosta on kyse.
- ✓ Kaikki ne rakennettavan kohteen rakennusosat on mallinnettava, joiden toteutuksessa hyödynnetään työkoneohjausta.
- ✓ Luotavan koneohjausmallin tulee olla LandXML – tiedostoformaattissa.
- ✓ Taiteviivat tulee nimetä InfraBIM – nimikkeistön mukaisesti.
- ✓ Samalla pinnalla ei saa olla päällekkäisiä taiteviivoja, eikä malli saa sisältää ylimääräisiä pisteitä tai viivoja.
- ✓ Taiteviiva ei saa poiketa yli 3 millimetriä laskennallisesta geometrialinjasta.
- ✓ Vain koneohjauksessa tarvittavat taiteviivat mallinnetaan, eikä niiden pituus saa olla yli 10 metriä. Taiteviivojen tulee päättyä tasapaaluluville.
- ✓ Kolmioverkkomallissa kolmioinnin tulee olla mahdollisimman säännöllinen ja kiinnittyä taiteviivoihin tasaisin välimatkoin.
- ✓ Kaikki malliin liitettävät rakenneosat tulee mallintaa YIV-2015-ohjeistuksen mukaisesti.
- ✓ Mallit eivät saa sisältää epäjatkuvuuskohtia eivätkä virheitä.
- ✓ Mikäli toteutusmalliin kuitenkin jää poikkeamia, on ne hyväksyttävä tilaajalla ja kirjattava toteutusmalliselostukseen perusteluineen.
- ✓ Rakennettavat putket mallinnetaan suunnitelmamalliin, jotta törmäystarkastelu voidaan suorittaa.
- ✓ Toteutusmalliin rakennettavat putkilinjat mallinnetaan viivatiedostoina.
- ✓ Mallille tulee suorittaa törmäystarkastelu.
- ✓ Muutoskuvat tulee nimetä selkeästi aakkosilla tai versionumeroilla, jotta toteumatiedosta käy ilmi minkä mallin mukaan on rakennettu.

✓ Väylärakenteen toteutusmalli koostuu pääsääntöisesti seuraavista INFRA 2006 rakennusosa- ja hankenimikkeistön mukaisista rakennusosista:

- 1400 Pohjarakenteet
- 1600 Maaleikkaukset ja – kaivannot
- 1800 Penkereet, maapadot ja täytöt
- 2100 Päällysrakenteen osat

✓ Rakennusosista 1400, 1600, 1800 ja 2100 yleisimmin mallinnettavia pintoja ovat InfraBIM - nimikkeistön mukaisesti:

- Ylin yhdistelmäpinta
- Kulutuskerroksen asfalttibetoni AB, yläpinta
- Sitomaton kantavakerros, yläpinta
- Jakava kerros, yläpinta
- Suodatinkerros, yläpinta
- Väylärakenteen alapinta (alin yhdistelmäpinta)
- Massanvaihtoon kuuluva kaivanto
- Putki- ja johtokaivanto
- Maapenger, yläpinta
- Roudaneristys, alapinta
- Avo-ojat ja uomat

✓ Lisäksi valmiista koneohjausmallista tulee löytyä:

- Kaiteet (linja)
- Rummut (linja)
- Kaivot (piste) + alimman virtauspinnan korko
- Valaisinjalustojen sijainti (piste) + yläpinnan korko

LIITE 2: KONEOHJAUKSEN LAADUNVARMISTUSOHJE MITTAJALLE

TYÖKONEAUTOMAATION TARKKUUDEN SEURANTA

- ✓ Suunnittelijan luomat koneohjausmallit tarkastetaan.
- ✓ Tarkastuksen läpäissyt toteutusmalli tallennetaan projektikohtaiseen työkansioon sekä Infrakit-pilvipalveluun.
- ✓ Mittaosasto toimittaa työkohteeseen takymetri-mittauksena työkoneiden tarkastuspisteet. Merkityt pisteet tallennetaan koneohjausjärjestelmään. Tarkastuspisteiden ylläpitäminen kuuluu pisteen toimittajan vastuulle.
- ✓ Työkoneille suoritetaan tarvittaessa tarkastukset takymetri-mittauksena. Tarkastuksesta saadut tulokset dokumentoidaan.
- ✓ Tarkastuksesta dokumentoidaan: työkone, ajankohta, koordinaattien x-,y-,z- poikkeamat sekä mittausmenetelmä, tarkkuustiedot ja tarkastuksen tekijä.
- ✓ Mittauksesta vastaava toteuttaa tarkastuksen yhteistyössä työkoneen kuljettajan kanssa. Työnjohdon tulee olla tietoinen tarkastusten tuloksista.
- ✓ Mikäli tarkastusmittauksessa saadut tulokset ylittävät oheisessa taulukossa esitetyt tarkkuusvaatimukset, suoritetaan ohjausjärjestelmälle kalibrointi. Kalibroinnin jälkeen suoritetaan työkoneelle uusintatarkastus.
- ✓ Valmiiden rakenneosien työjälki tulee tarkastaa satunnaisin pistokokein, takymetri- tai GNSS-mittauksella.
- ✓ Tarvittaessa työmaan tai uuden rakenneosan aloitusvaiheessa voidaan työn tarkkuutta seurata esim. viikon kestäväällä todentamisjaksolla, jolloin tarkemittauksia tehdään päivittäin.
- ✓ Muutoskuvat tulee nimetä selkeästi aakkosilla tai versionumeroilla, jotta toteumatiedoista käy ilmi minkä mallin mukaan on rakennettu.

TYÖKONEAUTOMAATIOLTA VAADITTAVA MITTATARKKUUS TOTEUMAMITTAUKSISSA:

RAKENNEOSA	SIJAINTI	KORKEUS
MAALEIKKAUS	± 100 mm	± 30 mm
MAAPENGER	± 100 mm	± 30 mm
LOUHEPENGER	± 100 mm	± 30 mm
SUODATINKERROS	± 100 mm	± 30 mm
JAKAVA KERROS	± 100 mm	± 30 mm
KANTAVA KERROS	± 50 mm	± 20 mm

LIITE 3: KONEOHJAUKSEN LAADUNVARMISTUSOHJE KULJETTAJALLE

LAITTEISTON TARKASTAMINEN

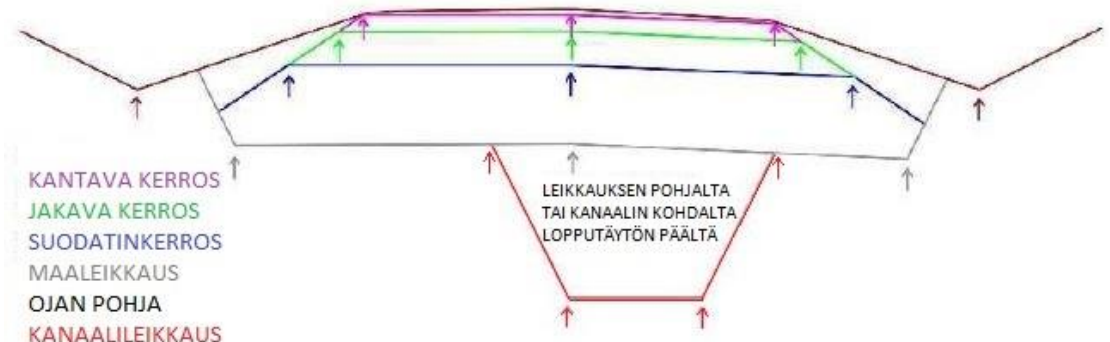
- ✓ Koneen vastaanottotarkastus tarkastuspisteeltä ennen töiden aloittamista.
- ✓ Koneen viikoittainen tarkastus tarkastuspisteeltä.
- ✓ Koneen päivittäinen tarkastus tarkastuspisteeltä, tehtäessä taulukossa 1 mainittuja rakenneosia.
- ✓ Tulokset tallennetaan Infrakitiin tai koneen omaan aineistoon aikatiedon kanssa, muodossa vuosikkpv, eli esim. 20160520
- ✓ Kauhan vaihdon yhteydessä, muista vaihtaa valittu kauha myös mittalaitteeseen.

TOTEUMAMITTAUKSET

- ✓ Poikkileikkauksen toteumamittaukset 20 m:n välein, työmaakohtaisesti sovituilta paalulukemilta. Toteumat mitataan taitteiden kohdilta, alla olevan kuvan mukaisesti.
- ✓ Toteumamittauskohdat voidaan tarvittaessa lisätä koneohjausaineistoon.
- ✓ Toteumamittaus tehdään välittömästi valmiilta pinnalta.
- ✓ Toteumamitat on tallennettava käytössä olevan koodiston mukaisilla pintatunnuksilla tai nimeämällä tiedosto pintatunnuksen mukaan.
- ✓ Huomioi mille kohdalle kauhaa mittapiste on valittuna.

TAULUKKO 1, SUURIN SALLITTU YKSITTÄINEN POIKKEAMA:

RAKENNEOSA	SIJAINTI	KORKEUS
MAALEIKKAUS	± 100 mm	± 30 mm
MAAPENGER	± 100 mm	± 30 mm
LOUHEPENGER	± 100 mm	± 30 mm
SUODATINKERROS	± 100 mm	± 30 mm
JAKAVA KERROS	± 100 mm	± 30 mm
KANTAVA KERROS	± 50 mm	± 20 mm



LIITE 4: KONEOHJAUKSEN LAADUNVARMISTUSOHJE TYÖNJOHDOLLE

TYÖNJOHTO

- ✓ Mittausosastolta tulee tilata työmaalle koneohjausjärjestelmien tarkastuspisteet.
- ✓ Koneohjausjärjestelmien käyttöönotto- ja viikkotarkastusten suorittamisesta tulee huolehtia. Suoritetut tarkastukset löytyvät Infrakitista.
- ✓ Putkilinjalla työskentelevää konetta ei vaihdeta kesken työsuoritteen, jotta työkoneen sijaintitiedon poikkeamien vaikutus jäisi mahdollisimman pieneksi.
- ✓ Reunakiven viereen tulevat kaivot tulee tarkemittaa mittaryhmän toimesta.
- ✓ Valvo säännöllisesti, että toteumamittaukset on suoritettu kaikilta tarvittavilta rakenneosilta n. 20 m:n välein jokaisen taiteviivan kohdalta.
- ✓ Ota työmaalta valokuvia säännöllisesti ja lisää ne tietomallin aineistoon. (Pilvipalveluun liitetyillä työmailla suoraan Infrakitiin.)
- ✓ Huolehdi, että toteumamittaukset on tallennettu oikeille pintatunnuksille. (tunnukset alla olevassa kuvassa)



Kuva (buildingsmart.fi)