

Janne Heikkinen

# Koneohjatun kaivinkoneen toteumamittausten käyttö infrarakennustyömaan määräseuranassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinööriytyö

21.11.2016

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Janne Heikkinen Koneohjatun kaivinkoneen toteumamittausten käyttö infrarakennustyömaan määräseurannassa 53 sivua + 1 liite 21.11.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	lehtori Jussi Laari työmaapäällikkö Jarmo Laiho
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena on toimia yleiskuvauksena koneohjauksen avulla toteutettavalle määräseurannalle. Tietomallinnus ja koneohjaus mahdollistavat uusien aikaisempaa helpompien ja nopeampien työmenetelmien käytön maanrakennuksessa. Määräseurannan toteutus koneohjauksella lukeutuu näihin uuden tekniikan tuomiin mahdollisuuksiin sujuvoittaa työtä käytännössä. Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Destia Oy:n kanssa.</p> <p>Opinnäytetyössä esitellään yleisesti, mitä koneohjaus on ja millaisia edellytyksiä koneohjauksen käyttö asettaa paikannustekniikalle ja rakennussuunnitelmien laatimiselle. Määräseurannasta opinnäytetyössä esitetään perusidea sekä kuinka se koneohjauksen avulla on mahdollista toteuttaa. Opinnäytetyössä käydään läpi tietomallipohjaisen rakennustyömaan tiedonsiirtoon ja työmaan hallintaan käytettävän Infrakitin ominaisuuksia sekä käyttömahdollisuuksia.</p> <p>Työkäytännöt koneohjauksen suhteen ovat eriäviä, eikä tietomallinnuksen kaikkea potentiaalia maanrakennuksessa ole vielä täysin hyödynnetty. Suunnittelijoilta saatavien aineistojen laatu koneohjauksen näkökulmasta on yleisesti heikkoa. Suunnitteluohjelmista ei ole mahdollista uloskirjoittaa suoraan koneohjausjärjestelmässä toimivaa toteutusmallia, joten suunnittelijoiden tekemiä aineistoja joudutaan muokkaamaan ennen kaivinkoneeseen siirtämistä ja pahimmissa tapauksissa tekemään lähes kokonaan uudelleen. Kuitenkin koneohjauksella tapahtuva rakentaminen on osoittautunut toimivaksi ja tehokkaaksi, jolloin työmenetelmien ja ohjelmistojen edelleen kehittäminen suunnittelusta toteutukseen on hyödyllistä ja mahdollistaa entistä parempia tuloksia.</p> <p>Koneohjauksen yleisesittely sekä koneohjaukseen liittyvien toimintatapojen esittely pohjautuu kirjallisuustutkimukseen, jonka pääasiallisina lähteinä ovat olleet koneohjauslaittevalmistajien oppaat, Pasi Laurilan Mittaus ja kartoitustekniikan perusteet -oppikirja sekä buildingSMART Finland -yhteistyöfoorumin Yleiset inframallivaatimukset 2015 -ohjeistuskoeelma. Määräseurannan esittely perustuu työmaalla tehtyihin asiantuntijahaastatteluihin, sekä omaan työssäoppimiseen. Infrakitin esittely pohjautuu töissä saatuihin kokemuksiin sovelluksesta. Opinnäytetyön menetelmien toimivuus on havaittu työharjoittelussa Destia Oy:llä.</p>	
Avainsanat	työkoneautomaatio, koneohjaus, määräseuranta

Author Title Number of Pages Date	Janne Heikkinen Measurements made by machine controlled excavator in the volume tracking 53 pages + 1 appendice 21 November 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Jussi Laari, Senior Lecturer Jarmo Laiho, Site manager
<p>The purpose of the bachelor's thesis was to create a general description of machine control based volume tracking. The goal of the thesis was to explain the methods of machine control based volume tracking, as well as the requirements there are for using machine control on a construction site.</p> <p>An overview of machine control and a presentation of machine control practices were based on literature research, especially guides by the manufacturers of machine control equipment manufacturers, a course book in surveying and mapping technology, and a collection of the general requirements for infrastructure modelling. The introduction to volume tracking was based on interviews made with specialists on construction sites, as well as on personal experience. The methods were tested during a training period.</p> <p>Since machine control practices in volume tracking are a fairly novel method, the thesis can be used as an introduction to the topic.</p>	
Keywords	Machine control, volume tracking

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Työkoneautomaatio rakentamisessa	2
2.1	Koneohjauksen toimintaperiaate	2
2.2	Koneohjauksen hyödyt infra-rakentamisessa	2
2.3	1D- ja 2D-koneohjausjärjestelmät	2
2.4	3D-koneohjausjärjestelmä	3
2.4.1	Takymetriapaikannus	4
2.4.2	Satelliittipaikannus	4
2.5	Toteutusmallit	6
3	BuildingSMART Finland Infra ja yleiset inframallivaatimukset 2015	8
3.1.1	Yleiset inframallivaatimukset 2015	9
3.1.2	Inframodel-tiedonsiirtoformaatti	10
3.1.3	InfraBIM-nimikkeistö	13
3.2	Mallipohjainen laadunvarmistus ja toteumamittaukset	14
3.2.1	Edellytykset	14
3.2.2	Päävaiheet	16
3.2.3	Toteutusmallin tarkastus ja dokumentointi	16
3.2.4	Työkoneautomaatiojärjestelmän ja tukiaseman tarkkuuden seuranta ja dokumentointi	19
3.2.5	Toteumamittaus kaivinkoneella	21
3.2.6	Kaivinkoneella tehtävä toteumamittaus tapahtumana	22
3.2.7	Toteumamittaukset osana toteumamallia	23
3.2.8	Mittaajan tarkemittaukset	24
3.2.9	Mallipohjaisen laadunvarmistusmenettelyn dokumentit	25
4	Infrakit	25
4.1	Infrakitin ominaisuuksia	26
4.1.1	Työn seuranta	28
4.1.2	Poikkileikkauskuvat väylältä	32
4.1.3	Tiedonsiirto Infrakitilla	33
4.1.4	Kaivinkoneiden toteumapisteiden lataus Infrakitistä	35
5	Määräseuranta	36

5.1	Määräseurannan periaate	36
5.2	Omat kokemukset määräseurannasta	37
5.3	Määräseurannan vaiheet	38
5.4	Tavoite maa-ainesmäärien määrälaskenta	38
5.5	Rakentamisen aikana tehtävä määräseuranta	40
5.5.1	Toteumien lataus ja käsittely	40
5.5.2	Laskenta	40
5.5.3	Aineiston käsittely ja laskenta	44
5.6	Määräseurantatulosten esittäminen	45
6	Päätelmät	46
6.1	Määräseurantamittaustapojen vertailu	46
6.2	Omia havaintoja työmaalta kaivinkoneiden toteumamittauksista ja määräseurannasta	47
6.3	Tulevaisuuden näkymiä	48
	Lähteet	50

## Liitteet

Liite 1. Julkisesta opinnäytetyöstä salattu osio.

## Lyhenteet ja käsitteet

3D-Win Mittausalan tietokoneohjelmisto mittausdatan käsittelyyn

automaatio-operaattori

Destia Oy:n nimitys koneohjatun työmaan mittaustyönjohtajasta.

BIM Building Information Model. Rakentamisen tietomallinnusta tarkoitettava käsite.

bSF Building SMART Finland

CSV-formaatti

Comma-separated values. Yksinkertainen tiedostomuoto taulukkomuotoisen datan tallennukseen tekstitiedostoon.

DXF-formaatti

Drawing Exchange Format. CAD-formaatti, joka otettiin alun perin käyttöön osana AutoCADia.

fix RTK-mittauksen termi. Fixed-ratkaisussa tuntemattomat parametrit satelliitivastaanottimen ja satelliittien välillä ovat ratkenneet ja sijainninmäärittämisessä päästään senttimetrin tarkkuuteen.

float RTK-mittauksen termi. Float-ratkaisussa tuntemattomia parametrejä satelliitivastaanottimen ja satelliittien välillä on ratkaisematta. Sijainninmäärittämisessä jäädytään metrin tarkkuuteen.

GALILEO Eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä

GLONASS Globalnaja Navigatsionnaja Sputnikovaja Sistema. Venäläisten ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä.

GNSS Global Navigate Satellite System. Satelliittijärjestelmä joka koostuu itsenäisistä satelliittijärjestelmistä, kuten GPS:stä, GLONASSista ja GALILEOsta.

GPS Global Position System. Yhdysvaltojen puolustusministeriön ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä.

GT-formaatti Yleinen suomalainen maanmittauksessa käytettävä tiedonsiirtoformaatti

inframalli Infra-alalla käytettävä digitaalinen tietomalli

InfraRYL Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset

Infrakit Tietomallipohjainen työmaanhallintajärjestelmä

koneohjausmalli

Koneohjauksessa käytettävä infrarakennuskohteen rakennussuunnitelmista laadittu malli, jonka perusteella rakentaminen tapahtuu. Koneohjausmalli voi koostua kolmioverkosta, viivoista ja pisteistä.

Landnova Novatronin koneohjausohjelmisto

maaleikkaus

Maarakentamisen termi, joka tarkoittaa kaivamista maanpinnan tason alapuolelle.

määräseuranta

Infratyömaalla tehtävä maa-ainesmäärien vastaanoton/poiston seuranta määritellyn massansiirtosuunnitelman mukaan

määrälaskenta

Maa-ainesmäärien tilavuuslaskenta

Novatron Koneohjausjärjestelmälaitevalmistaja

paaluluku Tiesuunnitelmissa esiintyvä luku, joka kertoo etäisyyden metreinä tielinjan alkupäästä.

## PRE-ohjelma

Built Environment Process Re-engineering on vuosina 2010–2014 toiminut hanke, jonka tavoitteena on ollut luoda uusia toimintatapoja ja liiketoimintamalleja kiinteistö-, rakennus- ja infra-alalle. Hanketta koordinoi RYM Oy. Hankkeen yhtenä työpakettina oli InfraFINBIM-työpaketti, jonka lopputuotoksia ovat YIV2015-ohjeet.

RTK Real Time Kinematic. Satelliittimittausmetodi.

rtr Rakenne-teoreettinen

RYM Oy Vuonna 2009 perustettu rakennetun ympäristön alan strategisen huippuosaamisen keskittymäyhtiö (SHOK-yhtiö), jonka osakkaina on kokonaisuudessaan 53 eri toimijaa, mm. eri yrityksiä, neljä kaupunkia, kuusi yliopistoa, tutkimuslaitosta tai ammattikorkeakoulua.

takymetri Elektroninen mittalaite

## toteumamalli

“Infrarakenteen tai -järjestelmän tuotemallin tietosisällön osajoukko (vaiheistus), joka kattaa suunnitelmien ja toteutuksen lopullisen toteuman.”  
[44]

## toteumapiste

Työkoneen mittaama tarkepiste valmiista rakenteesta

## toteutusmalli

“Infrarakenteen tai -järjestelmän tuotemallin tietosisällön osajoukko, joka kattaa toteutuksen näkökulman, eli rakentamisen tehtävät, resurssit, ajo-



ituksen, jne. Voi tarkoittaa myös suunnitelmamallista jalostettuja työkoneiden koneohjausmalleja tai mittauksia varten laadittuja paikalleenmittausmalleja.” [44]

#### XML-formaatti

Extensible Markup Language. Tiedonvälitys ja -siirtoformaatti, joka auttaa jäsentelemään suuria tietomääriä

YIV2015 Yleiset inframallivaatimukset 2015. Infra-alan tietomallinuskäytäntöjä ohjaamaan luotu ohjekokonaisuus.

## 1 Johdanto

Yleisen teknisen kehityksen johdosta voidaan maanrakentamisessa käyttää nykyisin enenevässä määrin hyödyksi tietotekniikkaa ja tietomallintamista. Tietokoneiden kehittyminen mahdollistaa tehokkaan ja käytännöllisen tietomallintamisen. Tietomallinnusta voidaan hyödyntää suunnitteluvaiheesta rakentamisen jälkeiseen aikaan. Tehokkaat tietokoneet mahdollistavat isojen infra- ja koneohjausmallien luomisen ja sujuvan visuaalisen tarkastelun suunnittelijalle ja työnjohdolle toimistolla, kun taas rakentamisvaiheessa toteutusmalleja voidaan tarkastella maastossa kaivinkoneen työkonemaatiojärjestelmän tietokoneelta. Digitaalinen tieto rakennetusta kohteesta voidaan säilyttää helposti saatavilla olevassa sähköisessä muodossa, isojen ja tilaa vievien paperimappien sijaan. Lisäksi nykyaikainen langaton tiedonsiirto mahdollistaa tehokkaan viestinnän, ja tiedosten siirto onnistuu pilvipalveluilla yhdellä hiiren klikkauksella. [1]

Tieto- ja 3D-mallinnus mahdollistavat uusien työmenetelmien käyttöönoton maanrakentamisessa. Määräseurannan tekeminen koneohjauksella hyödyntäen on yksi esimerkki näistä uusista työmenetelmistä. Ideana koneohjauksen hyödyntämisessä työn aikaisessa määräseurannassa on määrälaskentojen tekeminen koneohjattujen kaivinkoneiden toteutumamittauksia hyödyntäen ja rakenteen tavoitemateriaalimäärien laskeminen toteutusmalleista.

Perinteisessä menetelmässä massat lasketaan paperisista 20 metrin lukuvälein olevista poikkileikkauskuvista, ja mittaja käy määrälaskentoja varten mittaamassa työmaalla sen hetkisen toteutuneen rakenteen paaluluvun. Koneohjatussa rakentamisessa kaivinkoneet mittaavat toteumia toteutuneen rakenteen pinnasta, jolloin toteutunut valmis rakenne voidaan määrittää toteutumamittauksista ja määrälaskenta voidaan toteuttaa käyttämällä toteutusmalleja. Tällöin mittajan ei tarvitse käydä maastossa mittaamassa rakennetta määrälaskentoja varten, koska rakenteesta on jo olemassa aineistoa kaivinkoneiden mittaamina toteumina. Lisäksi rakenteen teoreettisten materiaalmäärien selvittäminen onnistuu tietokoneella toteutusmallista tarkasti massalaskentaohjelmalla. Toteutumamittauksia käytetään osana mallipohjaista laadunvarmistusta ja valmiin rakenteen toteutumamallia. [2, s. 20; 3, s. 7.]

Tässä opinnäytetyössä esitellään yleisesti koneohjausta ja siihen liittyviä asioita siten, että ne antavat pohjatietoa koneohjauksella toteutettavaan määrä seurantaan sekä itse määrä seurannasta. Opinnäytetyön luvut 5.6.1, 5.6.2 sekä luvun 6.1. viimeinen kappale on siirretty liitteeseen 1, joka on salattu opinnäytetyöstä Destia Oy:n vaatimuksesta. Salatun aineiston sisältävä liite 1 ei sisälly opinnäytetyön julkiseen versioon.

## **2 Työkoneautomaatio rakentamisessa**

### **2.1 Koneohjauksen toimintaperiaate**

Työkoneautomaatiossa eli koneohjauksessa rakentaminen tapahtuu käyttäen kolmiulotteisia digitaalisia toteutusmalleja sekä reaaliaikaista paikannusta työkoneissa. Työkoneessa on näyttö, josta koneenkuljettaja näkee reaaliaikaisella paikannuksella työkoneensa kauhan tai terän aseman koneohjausmalliin nähden. Perinteistä rakennussuunnitelman maastoon merkintää ei tarvitse tehdä, koska rakentaminen tehdään koneohjausmallin mukaisesti. Koneohjausta on mahdollista käyttää esimerkiksi kaivinkoneissa, tiehöylissä ja puskutraktoreissa. [4] Tässä opinnäytetyössä keskitytään kaivinkoneiden koneohjaukseen.

### **2.2 Koneohjauksen hyödyt infra-rakentamisessa**

Rakentaminen työkoneautomaatiota käyttäen tuo monia etuja verrattuna perinteiseen, mittajaan maastoon merkintöjen perusteella tapahtuvaan rakentamiseen. Työkoneautomaation käyttö parantaa työturvallisuutta, pienentää henkilöstö ja materiaalikuluja sekä nopeuttaa työn tekemistä. Työn teko helpottuu huonoissa sääolosuhteissa ja pimeässä, koska työkoneen kuljettajan ei tarvitse nähdä mittajaan maastoon merkintöjä. [4; 5, s. 33; 6.]

### **2.3 1D- ja 2D-koneohjausjärjestelmät**

Yksinkertaisimmillaan koneohjausjärjestelmä voi olla pelkistä antureista tai antureista ja työkoneeseen kiinnitetystä laservastaanottimesta koostuva 1D- tai 2D-järjestelmä. 1D-

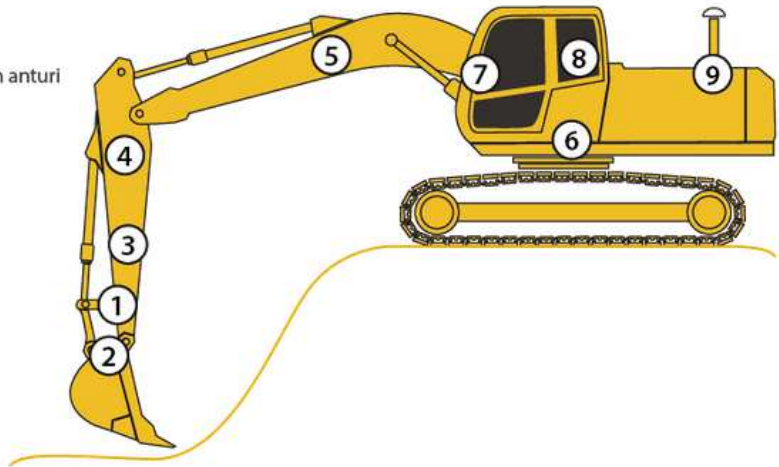
järjestelmällä voidaan seurata ainoastaan kaivurin kauhan suhteellista korkeutta tasolaseriin tai valittuun vertailupisteeseen. 2D-järjestelmissä voidaan seurata kauhan suhteellista korkeutta ja sijaintia kaivinkoneen puomin suunnassa. 1D- ja 2D järjestelmissä ei ole koordinaatistoon sidottua paikannusta, joten 1D- ja 2D-koneohjausjärjestelmät eivät sovi tietomallipohjaiseen rakentamiseen. Tietomallipohjainen rakentaminen edellyttää 3D-koneohjausta. [4; 7, s. 9; 8.]

## 2.4 3D-koneohjausjärjestelmä

Kaivinkoneen 3D-koneohjausjärjestelmä koostuu satelliittipaikannusjärjestelmästä, antureista, tietokoneesta ja tietokoneen näytöstä. Kuvassa 1 on havainnollistettu 3D-koneohjausjärjestelmän osia. Kaivinkoneen paikannus voidaan satelliittipaikannuksen lisäksi toteuttaa takymetripaikannuksena. [3;5.]

### 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 1. Havainnekuva laitevalmistaja Novatronin koneohjausjärjestelmästä [5].

3D-koneohjausjärjestelmässä työkonen kuljettajalla on saatavilla sijainti- ja korkeustieto kaivinkoneen kauhan huulilevystä, jolloin mittajaan tekemät maastoon merkinnät eivät ole tarpeellisia, vaan kaivinkoneen kuljettaja voi tehdä työnsä koneohjausmallien perusteella. 3D-koneohjausjärjestelmällä voidaan toteuttaa erityyppisiä maaleikkauksia

ja -penkereitä, luiskauksia, kaivantoja sekä esimerkiksi rumpujen ja valaisinpylväiden ja lustojen asennuksia. [5]

#### 2.4.1 Takymetriapaikannus

Tekniikan kehittyessä 3D-koneohjauksessa on enenevässä määrin siirrytty takymetriapaikannuksesta GNSS-paikannukseen. Takymetriapaikannuksella on mahdollista päästä hieman parempaan korkeustarkkuuteen verrattuna GNSS-paikannukseen, mutta takymetriapaikannukseen perustuva koneohjaus ei ole yhtä käytännöllistä kuin GNSS-paikannuksella toteutettu. Takymetriapaikannus edellyttää jatkuvan näköyhteyden takymetriltä kaivinkoneelle, mikä asettaa rajoituksia työkoneneen työskentelyalueelle. Kaivinkoneen työ keskeytyy aina, kun takymetrin ja kaivinkoneen väliin tulee jokin este, esim. toinen työkonene. Lisäksi takymetrin pystyttäminen vaatii mittaustekniikan tuntemista, jota työkoneneen kuljettajalla ei välttämättä ole. [3; 6, s. 13.]

#### 2.4.2 Satelliittipaikannus

Satelliittipaikannus koneohjatuissa kaivinkoneissa tapahtuu suhteelliseen paikanmäärittäykseen perustuvalla RTK-mittauksella. RTK-mittauksen periaatteena on paikanmäärittäminen kiinteään ja liikkuvan satelliittivastaanottimen välillä, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. RTK-mittauksessa sijaintitieto lasketaan toisen vastaanottimen suhteen, kun perinteisissä navigoinnissa käytettävissä satelliittipaikannuksissa paikanmäärittäminen tapahtuu yhden vastaanottimen ja satelliittien välillä. RTK-menetelmää käyttäen koneohjausjärjestelmällä päästään paikannuksessa senttimetrin tarkkuuteen, jolloin kaivinkone itsessään toimii mittalaitteena. [5; 9, s. 294–319.]

Kiinteä vastaanotin eli ns. tukiasema on asemoitu koordinaateiltaan tunnetulle pisteelle. Tukiasema mittaa satelliittien lähettämän paikannussignaalin kantoaallon aallonpituuksia eli vaihehavaintoja. Satelliittivastaanottimen ja satelliitin välillä olevien paikannussignaalin kokonaisten aallonpituuksien lukumäärästä käytetään nimitystä alkutuntematon. Tukiasema lähettää ns. korjausdataa eli omaa sijaintiaan ja satelliiteilta vastaanottamiinsa vaihehavaintoja liikkuvalla vastaanottimelle. Liikkuva vastaanotin mittaa tukiaseman

tapaan satelliittien paikannussignaalin vaihehavaintoja sekä vastaanottaa tukiaseman korjausdataa.

Kun liikkuva vastaanotin vastaanottaa tukiaseman korjausdataa, se alkaa määrittämään omaa sijaintiaan. Tästä sijainninmäärittystä edeltävästä prosessista käytetään nimitystä mittauksen alustus. Mittaus on alustettu, kun liikkuva vastaanotin on saanut omansa sekä tukiaseman alkutuntemattomat ratkaistua. Onnistuneesta alkutuntemattomien ratkaisusta käytetään nimitystä fixed-ratkaisu. Kun liikkuva vastaanotin on alustanut mittauksen ja on fixed-tilassa, vastaanotin määrittää senttimetrin tarkasti sijaintiaan reaaliajassa. Jos alkutuntemattomia ei saada ratkaistua, saadaan vastaanottimen sijainnin ratkaisu epätarkkana float-ratkaisuna. Tarkkaa paikannusta edellyttävien mittausten teko ei ole mahdollista float-tilassa. Tarkka fixed-perusteinen sijainninmäärittäminen RTK-mittauksessa edellyttää, että tukiasema ja liikkuva vastaanotin havainnoivat yhtä aikaa vähintään viittä samaa satelliittia. [9, s. 294–309.]

Tukiaseman ja liikkuvan vastaanottimen välille korjausdatan välitykseen tarvitaan tiedon siirtoyhteys. Tämä on toteutettavissa radiomodeemilla, internetin välityksellä tai matkapuhelinverkon välityksellä. Radiomodeemilla korjausdata välittyy maaston peitteisyydestä riippuen 1–10 km päähän tukiasemasta. Käytettäessä matkapuhelinverkkoa tai internetiä korjausdatan välitykseen etäisyys tukiasemasta ei korjausdatan siirron osalta muodostu ongelmaksi, vaan pitkä välimatka vastaanottimen ja tukiaseman välillä yleisesti heikentää mittaustarkkuutta yläilmakehän häiriöiden johdosta ja rajoittaa maksimi välimatkan tukiaseman ja vastaanottimen välillä 20 kilometriin. [9, s. 286, s. 294–319; 12; 15.]

Käytännössä edellä kuvattu liikkuva vastaanotin tarkoittaa rakennustyömaalla joko mittaajan satelliittivastaanotinta tai koneohjatun työkoneneen satelliittivastaanottimia. Työmaalle perustetun, radiomodeemilla korjaustietoa välittävän tukiaseman korjaustietoja voi käyttää useampi liikkuva vastaanotin. [9, s. 302–319.]

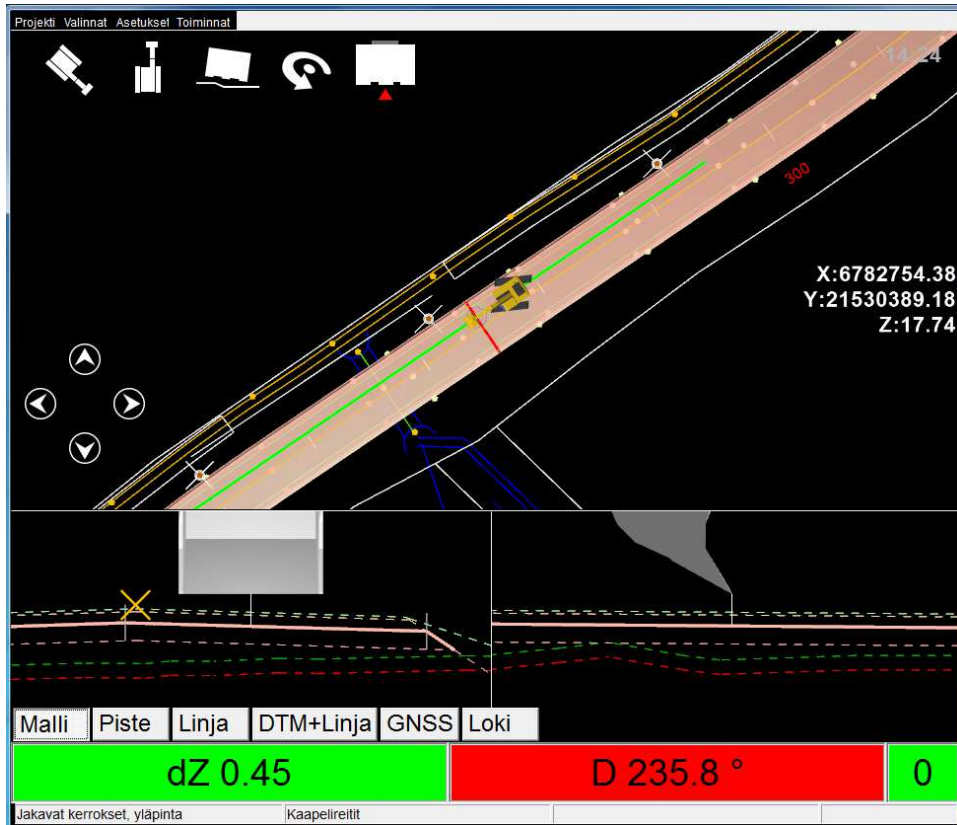
Nykyisin paljon maanmittauksessa käytetty GNSS-mittausmenetelmä on verkko-RTK-mittaus. Verkko-RTK-menetelmässä tukiasemakorjaus saadaan kaupalliselta palveluntarjoajalta. Verkko-RTK -palveluja tarjoavat esimerkiksi Geotrim ja Leica. Verkko-RTK-menetelmässä palveluntarjoajalla on kiinteä tukiasemaverkko, josta lähetetään korjaus-

dataa mobiiliverkon välityksellä mittalaitteeseen. Verkko-RTK-menetelmällä paikannus-tarkkuus korkeuden osalta on noin 4–5 senttimetriä, jolloin verkko-RTK:lla ei päästä yhtä hyvään korkeustarkkuuteen kuin RTK-menetelmällä. RTK-menetelmällä korkeustarkkuus on muutama senttimetri. Tarkkaa korkeustarkkuutta edellyttävissä koneohjauksissa RTK-menetelmä on luotettavampi vaihtoehto kuin verkko-RTK-menetelmä. [9, s. 314, s. 322; 20.]

## 2.5 Toteutusmallit

Rakentaminen koneohjauksella tapahtuu suunnitelma-aineistosta laadituista toteutusmalleista. Toteutusmalli voi olla tasomainen kolmioverkosta muodostuva pinta, viivamainen taiteviivoista muodostuva malli, pistemäinen kohde tai kolmioverkon, taiteviivojen ja pisteiden yhdistelmä. Kolmioverkkomalleja käytetään kohteissa, joissa voidaan muodostaa yhtenäisiä rakennepintoja, esimerkiksi väylärakentamisessa mallinnettaessa väylän rakennepintoja. Taiteviivoja käytetään mallinnettaessa viivamaisia kohteita, esimerkiksi rumpuja tai kaapelilinjoja. Pisteistä muodostuvia mallinnuksia käytetään kuvatessa pistemäisiä kohteita, esimerkiksi kaivoja tai valaisinpylväiden jalustoja. Koneohjauksella rakennettaessa kaikki rakennettavat rakennuskohteen osat ja rakennekerrokset mallinnetaan erikseen. [10; 11.]

Ongelmana rakentamisessa ovat olleet suunnittelijoilta saadut toteutusmallit. Millään suunnitteluohjelmistolla ei voi tällä hetkellä uloskirjoittaa suoraan koneohjauksjärjestelmään käyttökelpoista toteutusmallia. Tästä aiheutuu se, että suunnittelijalta saatu aineisto joudutaan aina ennen käyttöä tarkastamaan ja korjaamaan työmaalla. Rakentaminen tapahtuu mallien perusteella, joten on tärkeää, että malleista on korjattu virheet. [13]



Kuva 2. Toteutusmallin näkymä koneohjausjärjestelmän näytöltä. Kuva Novatronin LandNova-ohjelmistosta

Kuvassa 2 on esitetty näkymä Novatron-koneohjausjärjestelmän käyttöliittymästä. Kuvassa 2 näkyy keskimmaisissa poikkileikkausruduissa vaaleanpunaisella paksummalla yhtenäisellä viivalla aktiivinen malli ja poikkiviivoin rakenteen muut mallit. Kohteen kaikki mallit eli esim. eri rakennekerrokset ja maastomallit näkyvät näytössä poikkileikkauskuvassa yhtä aikaa, mutta vertailu tapahtuu yhteen pintamalliin kerrallaan. Kuvan esimerkissä kauhan kärki on 45 senttimetriä aktiivisen mallin ”*jakavat kerrokset, yläpinta*” pinnan yläpuolella. Järjestelmästä voidaan valita vertailuun pintojen lisäksi pistemäisiä kohteita kuten kaivoja, tai viivamaisia kohteita kuten rumpuja. Novatronin koneohjausjärjestelmässä kuljettaja voi jakaa kaivuunäkymän useampaan erilliseen näkymään. Esimerkiksi yhteen pienempään näkymään voi valita kohteen poikkileikkauksen, jossa näkyy taustalla poikkileikkauskohdan muiden rakennepintojen toteutusmalli tai kuten kuvassa 2 on valittuna jaettu poikkileikkaus, jossa on kuvattuna poikkileikkaukset kohtisuoraan kauhaan nähden sekä kauhan suuntaisesti.



Toteutusmallien laadintaan on kehitetty ohjeistuksia osana laajempaa inframallintamiseen liittyvää työpakettia - YIV2015 ohjeistuksia. Toteutusmalleihin liittyvän ohjeistuksen tavoitteena on ollut suunnittelijoilta saatavien toteutusmallien yhtenäistäminen ja mahdollisimman hyvä yhteensopivuus koneohjausjärjestelmien kanssa. [14, s. 3–4.] Seuraavassa luvussa esittellään näitä tietomallinnukseen ja koneohjaukseen liittyviä ohjeistuksia. Ohjeistusten periaatteista käy ilmi koneohjaukseen liittyviä toimintatapoja, jotka auttavat hahmottamaan paremmin toimivan koneohjauksen edellytyksiä. Ohjeistusten mukaiseen rakentamiseen on tutustuttu työharjoittelussa.

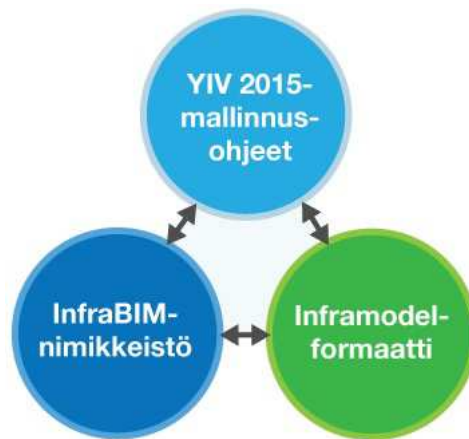
### **3 BuildingSMART Finland Infra ja yleiset inframallivaatimukset 2015**

Tehokasta tietomallinnuksen hyödyntämistä Suomen infrarakentamisessa on ajanut eteenpäin vuosina 2010–2014 toiminut InfraFINBIM-hanke. Ennen tätä hanketta Suomessa ei ole ollut eri toimijoiden välillä yhteisiä ennalta sovittuja käytäntöjä tietomallinnukseen liittyen. InfraFINBIM-hankkeen pohjalta saatiin aikaan perusta tietomallinnuksen tehokkaampaan hyödyntämiseen. [22, s.4.] Seuraavaksi esitellään hieman hankkeen taustoja sekä lopputuotoksia niiltä osin, kuinka ne koskettavat ja vaikuttavat koneohjauksen käyttöön.

InfraFINBIM-hanke oli osa RYM Oy:n PRE-tutkimusohjelmaa. InfraFINBIM-hankkeen visiona oli, että suuret infranhaltijat tilaavat vuodesta 2014 lähtien tietomalleihin pohjautuvaa palvelua. Hankkeeseen kuului 17 yritystä, keskeisiä infranhaltijoita ja kolme tutkimuslaitosta. InfraFINBIM-hanke tuli päätökseen huhtikuussa 2014. [1]

2014 vuoden tammikuussa pidettiin buildingSMART Finland Infra -toimialaryhmän perustamiskokous. Silloin päätymässä olevan InfraFINBIM-hankkeen tulokset siirrettiin bSF Infralle, joka edelleen jatkaa tietomallinnuksen edistämistä ja kehittämistä infra-alalla Suomessa. [1; 21.]

InfraFINBIM-hankkeen ja hankkeen seuraajan bSF Infran keskeiset konkreettiset tuotokset tietomallinnuksen käytön edistämiseen infra-alalla ovat yleiset inframallivaatimukset ja -ohjeet, Inframodel-tiedonsiirtoformaatti ja InfraBIM-nimikkeistö. Kuvassa 3 havainnollistettujen kolmen tuotepaketin tarkoituksena on yhtenäistää infra-alan eri toimijoiden tietomallinnuksen käytäntöjä. [22, s. 4; 23.]



Kuva 3. Tietomallinnuksen tehokkaan hyödyntämisen kulmakivet [23].

### 3.1.1 Yleiset inframallivaatimukset 2015

YIV 2015 -mallinnusohjeiden tarkoituksena on ollut luoda yhtenäinen pohja ja käytäntö tietomallinnuksen käytössä tilaajien ja palveluntarjoajien välillä. Ohjeissa on kuvattu, mitä mallinnetaan ja miten mallinnusta tehdään hankkeiden eri vaiheissa. Kuitenkin tulee tiedostaa, että jokainen rakennushanke on erilainen ja jokaisella hankkeella on omat erityispiirteensä, jotka tulee ottaa huomioon tietomallinnuksessa. [22, s. 6–7; 24; 43.]

Erityisesti työkoneautomaatiota ja työmaan mittaushenkilöstöä koskettavat seuraavat YIV 2015 -ohjeiden osat:

- 5.2 Maarakennustöiden toteutusmallin (koneohjausmalli) laadintaohje
- 5.3 Maarakennustöiden toteumamallin laadintaohje
- 6 Järjestelmät
- 12.1 Maarakentamisen mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä.

Näiden ohjeiden sisällöt liittyvät myös tämän opinnäytetyön aiheeseen, joten näitä esitellään vielä myöhemmin lisää.

### 3.1.2 Inframodel-tiedonsiirtoformaatti

Inframodel-tiedonsiirtoformaatti on avoin LandXML-standardiin perustuva infratietojen tiedonsiirtoformaatti. InfraFINBIM-hankkeen tarkoituksena oli luoda yhtenäinen tiedonsiirtoformaatti infra-alalle, jota voi käyttää suunnitteluohjelmissa sekä mittaus- ja koneohjaussovelluksissa. Eri ohjelmistojen toimiessa omilla formaateillaan joudutaan aineistoja muuntamaan formaatista toiseen hankkeen aikana. Nämä formaattimuunnokset eri järjestelmiin voivat muuttaa tai hävittää lähtötietoja. Tähän tiedonsiirtoon liittyvään ongelmaan muodostui ratkaisuksi kehittää yhtenäinen tiedonsiirtoformaatti. InfraFINBIM-hankkeessa suunniteltu Inframodel 3 -formaatti otettiin käyttöön vuonna 2014 ja esimerkiksi Liikennevirasto edellyttää kaikissa 1.5.2014 jälkeen aloitetuissa hankkeissaan Inframodel 3 -formaatin käyttöä. [22, s. 5; 25; 27, s. 37.]

Inframodel-tiedonsiirron etuina ovat tiedonsiirtokäytäntöjen yhdenmukaistaminen, virheiden ja tiedon hukan väheneminen, sekä mahdollisuus sisällyttää itse tiedostoon tiedoston metatietoja. Inframodel 3 -formaattia voidaan käyttää maastomittaustietojen siirrossa, suunnitteluohjelmien välisissä tiedonsiirroissa, suunnitelmamallien arkistoinnissa sekä toteutusmallien tuottamiseen koneohjausta varten. Taulukossa 1 on esitetty kohteet sekä kohteiden osat, joita voidaan esittää ja tallentaa Inframodel 3 -formaattissa. [18, s. 3.]

Taulukko 1. Inframodel-formaatilla kuvattavat kohteet ja rakennusosat [18, s. 6.]

<b>Tietokokonaisuus</b>	<b>Mitä tietoja voidaan esittää</b>
Suunnitelman yleistiedot	Projekti Suunnitelma Ohjelmisto Yksiköt Koordinaattijärjestelmät
Perusaineisto	Maastomallin ja maaperämallin pinnat Pisteet ja viivat, sekä näiden lajikooodaus Kolmiopinnat
Liikenneväylät (tie, rata, katu, vesiväylä)	Geometrialinjat Rakenne taiteviivoina pinnoittain ryhmiteltyinä sekä kolmiopintoina Mitoitusparametritietoa informaationa
Vesihuoltoverkostot	Kaivot (laitteet) Putket Ominaisuudet Rummut
Aluesuunnittelu	Pintamaiset rakenteet Maisemoinnit, läjitykset
Pohjanvahvistus	Pintamaiset rakenteet Vastapenger, ylipenger, massanvaihto
Rata	Kilometripaalulukku Kallistus Vaihteet
Varusteet	Kaiteet, aidat, jalustat (valaisinpylväät, liikennemerkkit)
InfraBIM-nimikkeistö / Rakennusosanimikkeistö	Kaikki pinnat, viivat ja muut kohteet

Inframodel 3 -formaatin tiedostoja voidaan käyttää suoraan koneohjausjärjestelmissä toteutusmallien tiedostoformaattina. Vaihtoehtona olisi käyttää esimerkiksi vanhempaa DXF-formaattia, mutta käytettäessä Inframodel 3 -formaatin toteutusmalleja voidaan hyödyntää formaatin ominaisuuksia sisällyttää itseensä metatietoja. Näin voidaan toteutusmalleista tarkastella mm. aineiston tekijän tietoja, aineiston koordinaatti- ja korkeus-

järjestelmätiedot, kolmioverkkoaineistossa kolmioverkon muodostamiseen käytetyt pisteet ja viivat, aineiston koodauksen selitysosa sekä tiedot itse aineistosta: Mitä aineisto kuvaa ja mistä osista aineisto koostuu? Kuvassa 4 on havainnollistettuna tiedostoon tallennettavia metatietoja. XML-tiedostoja voi tarkastella Internet-selaimessa tai tekstieditorissa. Kuvassa 4 on Internet-selaimessa avattu Inframodel 3 -formaatin toteutusmalli.

Tiedoston alussa näkyy seuraavia metatietoja:

1. Inframodelin XML-versionumero ja aikaleima aineiston kirjoitushetkeltä
2. Aineiston yksiköiden laatu
3. Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä
4. Tietoa projektista, josta aineisto on, sekä projektin aineiston koodausperusteet
5. Tietoa ohjelmasta, jolla aineisto on kirjoitettu, sekä aineiston tekijän tiedot.

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" standalone="true"?>
1 <LandXML language="finnish" readOnly="false" time="11:35:18" date="2016-05-28" version="1.2" xsi:schemaLocation="http://www.inframodel.fi/inframodel http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns="http://www.inframodel.fi/inframodel">
  - <Units>
2.   <Metric elevationUnit="meter" directionUnit="grads" angularUnit="grads" velocityUnit="kilometersPerHour" heightUnit="meter" widthUnit="meter" diameterUnit="meter" linearUnit="meter" areaUnit="squareMeter"/>
3. </Units>
  <CoordinateSystem verticalCoordinateSystemName="N2000" rotationAngle="0" epsgCode="3875" name="GK21"/>
  - <FeatureDictionary version="1.2" name="inframodel">
    <DocFileRef name="inframodel_tiedonsiirron_sovellusohje_v1.2.pdf" location="http://www.rts.fi/inframodel2010"/>
  </FeatureDictionary>
4. - <Project name="VT8 parantaminen" desc="">
  - <Feature name="IM_1" source="inframodel" code="IM_codings">
    <Property value="DestiaRAK" label="terrainCoding"/>
    <Property value="Livi" label="surfaceCoding"/>
    <Property value="InfraBIM" label="infraCoding"/>
  </Feature>
  </Project>
5. - <Application version="6.2.1" name="3D-Win" timeStamp="2016-05-28T11:35:18" manufacturerURL="http://www.3d-system.fi" manufacturer="3D-system Oy">
  <Author companyURL="www.destia.fi" company="Destia Oy" createdByEmail="janne.heikkinen@destia.fi" createdBy="Janne Heikkinen"/>

```

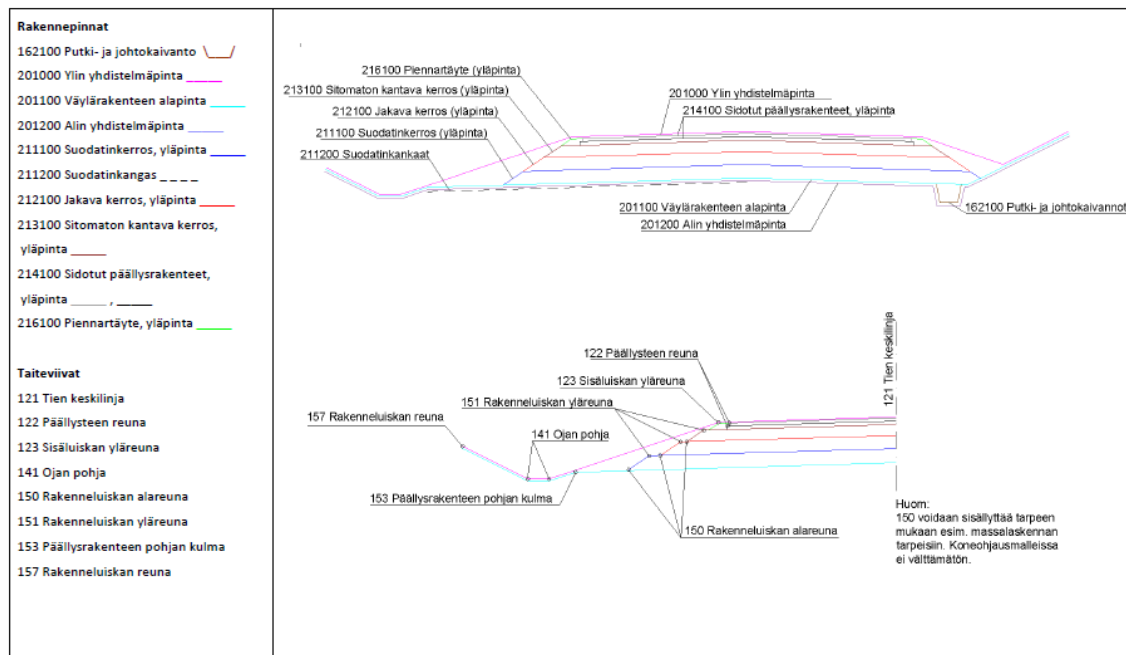
Kuva 4. 3D-Winillä kirjoitetun Inframodel 3 -toteutusmallin metatietoja. Kuva Janne Heikkinen.

Inframodel-formaattia kehitetään edelleen, ja uusi versio Inframodel 4 on jo kehitteillä ja formaatin sisällön määrittely valmistui helmikuussa 2016. Uuteen Inframodel 4:ään on lisätty uusia osia ja ominaisuustietoja mm. koordinaattijärjestelmiin, aineiston metatietoihin, toteumatiedon käsittelyyn ja väylän pintarakenteisiin. [26; 39, s. 2.]

### 3.1.3 InfraBIM-nimikkeistö

InfraBIM-nimikkeistön tarkoituksena on ollut luoda yhtenäinen infrarakenteiden nimeämis- ja numerointikäytäntö, jota käytetään koko infrahankkeen ajan suunnitteluvaiheesta ylläpitovaiheeseen. InfraBIM-nimikkeistö perustuu Infra-rakennusosanimikkeistöön ja Liikenneviraston *Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot* -mittausohjeeseen. [38]

InfraBIM-nimikkeistössä on määritelty nimeämis- ja koodauskäytännöt infrarakenteiden rakennepinnoille ja taiteviivoille, joista rakennepinnat koostuvat. Nimikkeistössä on esimerkkikuvoin esitetty tyypillisimmät tie-, katu-, rata-, vesiväylä- sekä vesihuolto ja kuivatusrakenteiden tyypilliset rakennepinnat. Kuva 5 on esimerkkikuva InfraBIM-nimikkeistöstä yksiajorataisen tien rakennepinnoista ja taiteviivoista.



Kuva 5. Yksiajorataisen tien rakennepinnat ja taiteviivat [38, s. 7.]

Käyttämällä InfraBIM-nimikkeistön mukaisia rakennepintojen ja taiteviivojen nimeämis- ja numerointikäytäntöjä ja Inframodel 3 -tiedostoformaattia toteutusmalleissa saadaan yhtenäistettyä ja selkeytettyä nimeämis- ja numerointikäytäntöjä infrarakenteiden osalta [38].

## 3.2 Mallipohjainen laadunvarmistus ja toteumamittaukset

Osana YIV 2015 -ohjeita on laadittu ohjeistus (YIV 2015 osa 12.1) maanrakentamisen mallipohjaiseen laadunvarmistukseen. Ohjeiden taustalla on inframallinnuksen ja kone-ohjauksen hyödyntäminen laadunvarmistuksessa. Ohjeessa on kuvattu mallipohjaisen laadunvarmistuksen käyttöönoton edellytykset, päävaiheet ja dokumentoitava aineisto. [2, s. 3.]

Kaivinkoneiden toteumamittaukset ovat osa mallipohjaisen laadunvarmistuksen työnaikaista laadunvarmistusta sekä osa valmiin hankkeen lopputietomallia – toteumamallia. Toteumamittausten käytöllä laadunvarmistuksessa voidaan vähentää mittaajan mittauksien tarkkeiden määrää ja sähköisellä toteumamallilla vähentää paperisten tarketus- ja mittausvaatimusten määrää. [2, s. 9; 15, s. 4.]

### 3.2.1 Edellytykset

Mallipohjaisen laadunvarmistuksen käyttö rakentamisessa edellyttää seuraavaa:

- Toteutusmalli on laadittu YIV 2015:n osan 5.2 mukaan.
- Rakennuskohteen rakenneosien geometriaa toteuttavissa työkoneissa käytetään työkoneautomaatiota.
- Työkoneautomaation paikannusjärjestelmä täyttää taulukossa 2 esitetyt tarkkuusvaatimukset.
- Työkoneautomaatiolla toteutettu työ täyttää taulukossa 2 esitetyt maarakenteiden mittavaatimukset.
- Lopputuote täyttää InfraRYL-vaatimukset.

Taulukko 2. Maarakenteiden mittavaatimukset ja työkoneautomaatiojärjestelmältä vaadittava paikannustarkkuus [2, s. 4].

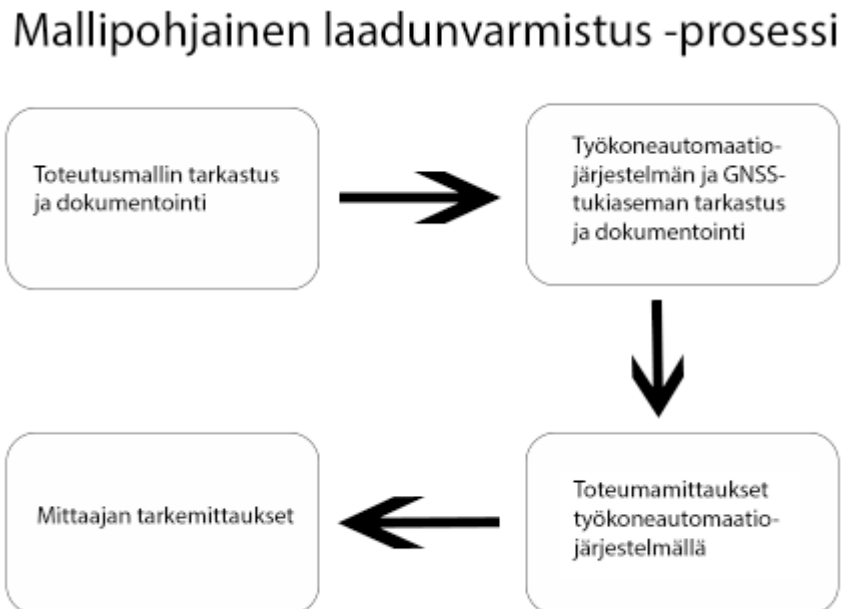
Rakenneosa	Suurin sallittu yksittäinen sijainnin poikkeama (InfraRYL)	Suurin sallittu yksittäinen korkeuden poikkeama (InfraRYL)	Työkoneautomaatiojärjestelmältä vaadittava tarkkuus XY;Z
	mm	mm	mm
Maaleikkaus, maapenger (tie/rata)	- 0 / + 150	+ 0 / - 100	+ - 100; + - 30
Louhepenger (tie/rata)	- 0 / +200	+ 0 / - 100	+ - 100; + - 30
Suodatinkerros (tie/rata)	- 0 / + 150	+ - 40	+ - 100; + - 30
Jakava kerros (tie)	- 0 / + 150	+ - 30	+ - 50; + - 30
Kantava kerros (tie)	- 0 / + 150	+ - 20	+ - 50; + - 20
Eristyskerros yläpinta (rata)	- 0 / + 100	+ 0 / - 50	+ - 50; + - 30
Välikerros yläpinta (rata)	- 0 / + 50	+ 0 / - 20	+ - 50; + - 15

Taulukossa on esitetty vasemman reunan pystysarakkeessa rakenneosa ja suluissa väylätyyppi. Jokaiselle rakenneosalle on määritetty omat tarkkuusvaatimukset lopputuotteen suhteen sekä käytettävän työkoneautomaation tarkkuuden suhteen. Lopputuotteen tulee täyttää InfraRYL:n mukaiset vaatimukset. Pelkästään se, että työkoneautomaatiojärjestelmä täyttää sille asetetun työaikaisen tarkkuusvaatimuksen, ei vielä riitä. [2, s. 4.]



### 3.2.2 Päävaiheet

Kuvassa 6 on havainnollistettu mallipohjaisen laadunvarmistusprosessin vaiheet.



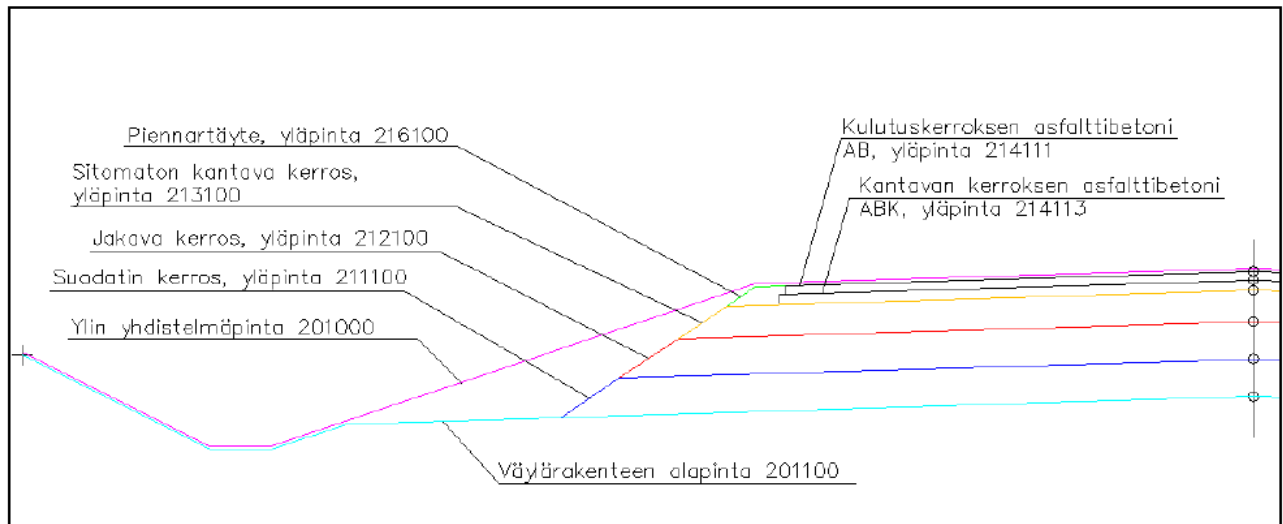
Kuva 6. Mallipohjaisen laadunvarmistuksen päävaiheet. Kuva Janne Heikkinen

### 3.2.3 Toteutusmallin tarkastus ja dokumentointi

YIV 2015:n osassa 5.2 on ohjeistus toteutusmallin sisällöstä ja tarkkuusvaatimuksista. Ohjeessa käsitellään tie-, katu- ja rataväylien sekä -alueiden rakennusosia. Ohjeessa on selostettu mallinnettavat rakennepinnat sekä taiteviivojen, joista rakennepinnat koostuvat, ja itse rakennepintojen nimeämis- ja koodauskäytännöt. Toteutusmalliaineistojen luovutuksissa suunnittelijalta tiedostoformaattina käytetään Inframodel-tiedonsiirtoformaattia.

Lähtökohtana on, että kaikki koneohjauksella rakennettavat rakennepinnat mallinnetaan. Jokainen rakennepinta on oma itsenäinen malli, mutta eri rakennepintojen mallien tulee olla yhteensopivia. Rakennepintojen nimeämiseen käytetään InfraBIM-nimikkeistön mukaisia nimiä ja koodeja. Rakennepintojen nimeämiseen on olemassa myös InfraBIM-ni-

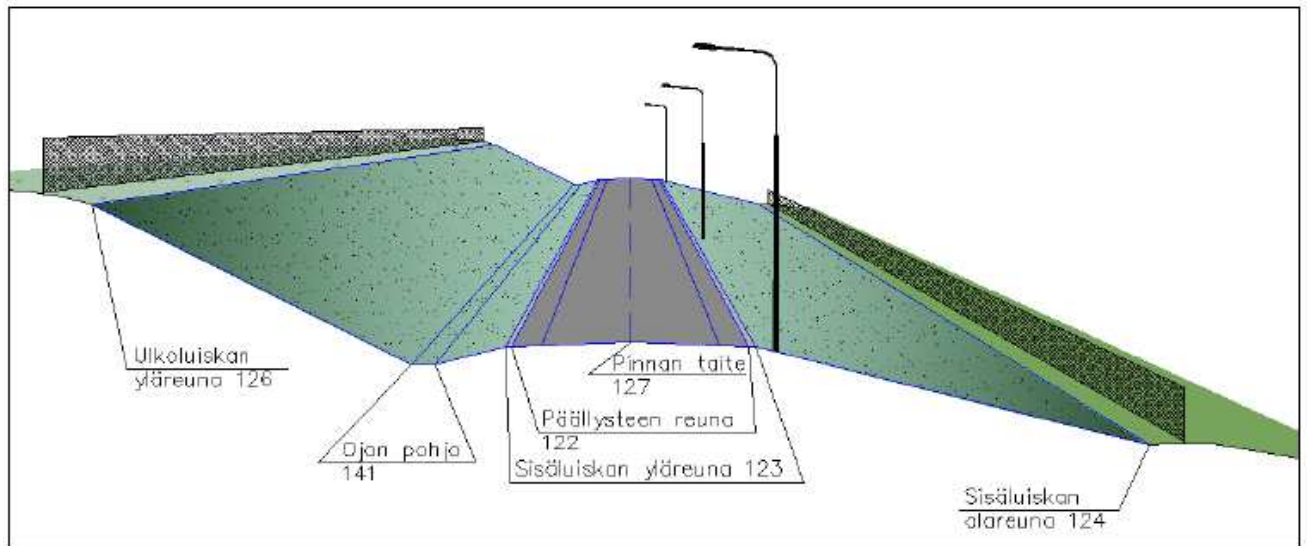
mikkeistöön perustuva laajennettu nimikkeistö, jonka käytöstä voidaan sopia hankekoh-  
 taisesti tilaajan kanssa. Kuvassa 7 on havainnollistettu rakennepintojen nimeämistä ja  
 koodausta. [10; 14.]



Kuva 7. Poikkileikkaukkuva tiestä, jossa jokainen rakennepinta on mallinnettu itsenäisesti, sekä nimetty ja koodattu InfraBIM-nimikkeistön mukaan [14, s. 9.]

Rakennepinnat muodostuvat yhtenäisistä taiteviivoista, joiden nimeämiseen käytetään InfraBIM-nimikkeistön mukaisia nimiä ja koodeja. Lähtökohtaisesti toteutusmalli koostuu vain sellaisista taiteviivoista, joiden kohdalla pinnan kaltevuus muuttuu, eikä mallissa ole päällekkäisiä tai risteäviä taiteviivoja. Tavoitteena on, että mallissa on vain välttämättömät taiteviivat, jolloin mallin tiedostokoko pysyy maltillisena ja koneohjausjärjestelmän tietokoneen kapasiteetti riittää mallin käyttöön. [14; 28, s. 21.]

Mallinnettujen taiteviivojen tulee sijaita alle 3 mm:n päässä teoreettisesti lasketusta geometrialinjasta. Eroja laskennalliseen geometriaan toteutusmalleissa syntyy ympyräkaar-teissa, joissa tien vaaka- ja/tai pystygeometria muuttuu. 3 mm:n tarkkuus on riittävän tarkka mallinnus suunnitelman toteuttamiseen, mutta toteutusmallin koko ei kasva liian suureksi koneohjausjärjestelmän tietokoneelle. Taiteviivojen nimikkeistön pohjana InfraBIM-nimikkeistössä on Liikenneviraston *Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot (2011)* -mitausohje. Kuvassa 8 on havainnollistettu ylimmän yhdistelmäpinnan taiteviivat ja taiteviivojen nimeäminen ja koodaus. [14]



Kuva 8. Toteutusmallin ylimmän yhdistelmäpinnan InfraBIM-nimikkeistön mukaiset taiteviivat ja koodit. [14, s. 8.]

Kuten opinnäytetyön alussa todettiin, ei suunnitteluohjelmista saa suoraan kaivinkoneeseen käyttökelpoisia toteutusmalleja. YIV 2015 -ohjeiden osassa 5.2 on esitetty lopuksi kootusti keskeiset huomioon otettavat toteutusmallin käytettävyyteen liittyvät tekijät jotka on myös syytä käydä läpi tarkistuksessa ennen toteutusmallin käyttöönottoa:

- *Kaikki pyydetyt rakennusosat on mallinnettu.*
- *Kaikki taiteviivat ovat yhtenäisiä ja jatkuvia (vaatimusten sallitut poikkeamat huomioiden).*
- *Päällekkäisiä taiteviivoja ei ole samassa pinnassa.*
- *Aineistossa ei ole ylimääräisiä viivoja tai pisteitä*
- *Pinnoissa ei ole epäjatkuvuuskohtia (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. [YIV 2015, osa 5.2]*

Osana laadunvarmistusprosessia toteutusmallista tarkastetaan sen laatu ja käytettävyys rakentamisessa. Tarkastus dokumentoidaan kirjaamalla havaitut suunnitelmavirheet ja tehdyt oleelliset muutokset tarkastusraporttiin. Tarkastettu, korjattu ja dokumentoitu toteutusmalli voidaan siirtää kaivinkoneen koneohjausjärjestelmään ja ottaa käyttöön. [2, s. 5.]

Huomioitavaa on, että toteutusmalli voi koostua kolmioverkkopintojen lisäksi myös taiteviivoista ja pisteistä. Näiden tarkastamisesta tai laatimisesta ei YIV 2015:n osassa 5.2 ole erikseen mainintaa, mutta myös tällaisten viiva- ja pistemäisten mallien tarkastaminen on tärkeää. [11] Esimerkiksi osa kuivatuksen toimivuuden varmistamista on rumpujen, sekä sadevesikaivojen ja -linjojen sijainnin ja vesijuoksujen oikeellisuuden varmistaminen. Muiden rakennusosien kuin väylän rakennekerrospintojen mallinnusohjeita löytyy YIV 2015:n osasta 6. YIV2015 osa 6 käsittelee pääasiassa INFRA 2015 .rakennusosaja hankenimikkeistön luvun 3000 JÄRJESTELMÄT mukaisia rakenneosia, joita ovat vesihuollon järjestelmät, turvallisuusrakenteet ja opastusjärjestelmät, sähkö-, tele- ja kone- tekniset järjestelmät sekä lämmön- ja kaasunsiirtojärjestelmät. [19]

#### 3.2.4 Työkoneautomaatiojärjestelmän ja tukiaseman tarkkuuden seuranta ja dokumentointi

Työkoneen käyttö tietomallipohjaisessa rakentamisessa edellyttää toimivaa paikannusta työkoneessa. Työkoneen paikannusjärjestelmä toimivuus tarkastetaan ennen kuin työkone otetaan käyttöön uudessa työkohteessa. Lisäksi työkoneiden paikannusjärjestel-

mien toimivuutta seurataan työmaalla viikoittaisilla tarkastuksilla. Tarkastukset dokumentoidaan ja näillä dokumenteilla voidaan tarvittaessa osoittaa tilaajalle työkohteessa toimivien työkoneiden paikannusjärjestelmien toimivuus. Tarkastus suoritetaan mittaajan toimesta GNSS-mittalaitteella tai takymetrillä. Tarkastusta varten voidaan tehdä myös kiinteitä tarkistuspisteitä, joilla työkonen kuljettaja käy itsenäisesti suorittamassa tarkistuksen. [2, s. 6.]



Kuva 9. Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän viikotarkastus. Kauhan keskipiste asetettu GNSS-mittalaitteella mitatulle pisteelle. Kuva Janne Heikkinen

Tarkistettaessa kaivinkoneen paikannusjärjestelmää, kaivinkoneen kuljettaja asettaa kauhan mittapisteen mittaajan mittaamalle pisteelle, kuten kuvassa 9. Kaivinkoneen tietokone näyttää kauhan mittapisteen koordinaatit, jolloin kaivinkoneen paikannusjärjestelmän antamia koordinaatteja voidaan verrata mittaajan mittaamiin koordinaatteihin. [2, s. 6.]

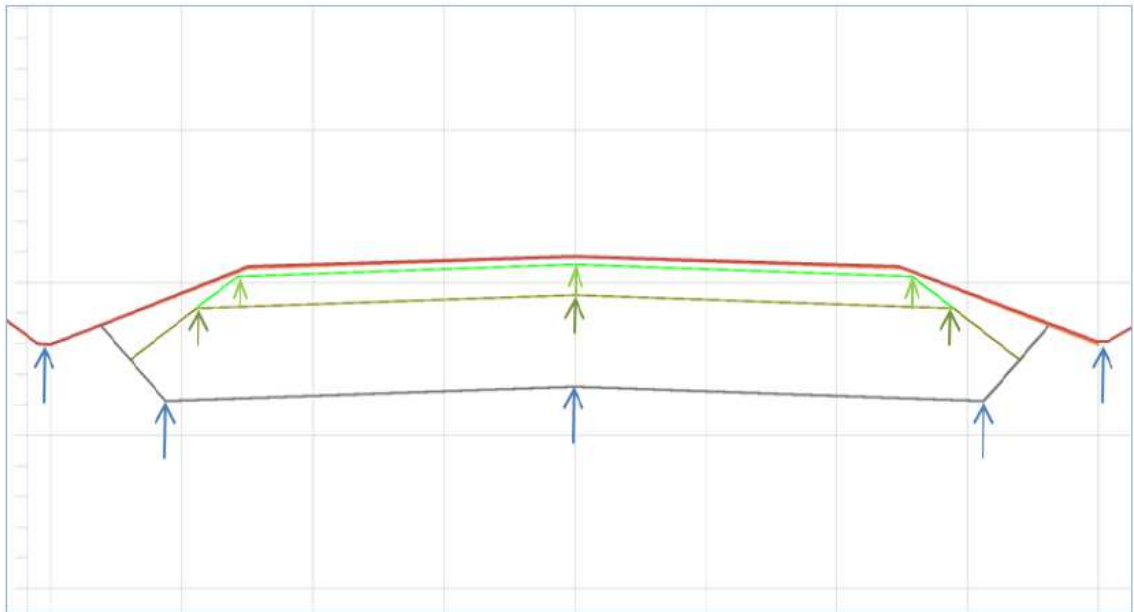
Suorittaessa tarkistus kiinteästi maastossa olevalla tarkistuspisteellä kaivinkoneen kuljettaja valitsee koneohjausjärjestelmästä tarkkuuden tarkistus -toiminnon ja asettaa kauhan mittapisteen tarkistuspisteen päälle. Järjestelmä suorittaa itse vertailun ja ilmoittaa kuljettajalle, onko tarkkuus hyvä vai onko tarvetta ryhtyä korjaustoimenpiteisiin paikannustarkkuuden suhteen. [17]

Eri työvaiheille on asetettu erilaiset tarkkuusvaatimukset. Jos työkone ei täytä paikannusvaatimuksia, sitä ei voida käyttää tietomallipohjaiseen rakentamiseen. Työkoneen koneohjausjärjestelmän tulee täyttää toteuttamalleen rakenteelle asetetut tarkkuusvaatimukset. Nämä tarkkuusvaatimukset ovat nähtävillä taulukossa 2 sivulla 15. Jos viikkotarkastuksessa ilmenee, ettei paikannusjärjestelmä täytä työvaiheelle asetettuja tarkkuusvaatimuksia, tulee paikannusjärjestelmälle tehdä tarpeelliset korjaus- ja kalibrointitoimenpiteet tarkkuuden parantamiseksi. Esimerkki tällaisesta kalibrointitoimenpiteestä on kaivinkoneen kauhan kalibrointi. Kauhan huulilevy kuuluu käytössä, millä on vaikutusta etenkin työkoneen paikannusjärjestelmän korkeustarkkuuteen. Kauhan kalibroinnissa kauhan pituus mitataan uudelleen ja määritetään koneohjausjärjestelmän parametreihin. [2, s. 6; 16.]

GNSS-tukiasema tarkistetaan kerran kuukaudessa tai useammin käymällä GNSS-mittalaitteella tunnetulla pisteellä. Maastossa olevien kiinteiden pisteiden sijainti ja koordinaatit ovat vakiot, mutta jos tukiasema on liikkunut, saadaan tunnetulle pisteelle virheelliset koordinaatit. Tukiaseman tarkastuksen seuranta dokumentoidaan. [2, s. 6.]

### 3.2.5 Toteumamittaus kaivinkoneella

Toteumamittaukset ovat osa mallipohjaisen laadunvarmistuksen työnaikaista laadunvalvontaa ja työn seurantaa, sekä osa valmiin lopputuotteen toteumamallia. Toteumamittauksessa kaivinkoneen kuljettaja mittaa kaivinkoneen kauhalla kaivinkoneen koneohjausjärjestelmällä toteuman valmiista rakennepinnasta sitä mukaa, kuin työ edistyy. Toteumapisteitä verrataan toteutusmalliin, jolloin voidaan seurata rakentamisen laatua. Vertailussa nähdään kuinka hyvin rakennettu rakenne vastaa suunniteltua rakennetta. Toteumia mitataan vähintään 20 metrin välein väylärakenteen poikkileikkauksen merkittävistä taitekohdista eli kohdista, joissa pinnan kaltevuus muuttuu, sekä keskilinjalta. Kuvassa 10 on esimerkkinä poikkileikkauskuva tiestä ja pinnan taitteista, joista toteumia mitataan. [2, s. 7–8.]



Kuva 10. Ohjeellinen poikkileikkauskuvasta, joista toteumia mitataan [2 s.8]

### 3.2.6 Kaivinkoneella tehtävä toteumamittaus tapahtumana

Toteumia mittaavalla kaivinkoneen kuljettajalla ei tyypillisesti ole mittausalan koulutusta. Kuljettajan perehdyttäminen oikeaoppiseen toteumien mittaamiseen on ensiarvoisen tärkeää. Toteumia mitatessa tulee kiinnittää huomiota seuraaviin seikkoihin.

Työkoneen GNSS-järjestelmän tulee olla fix-tilassa. Jos toteuma mitataan float-tilassa, mittauksen tarkkuus heikkenee oleellisesti, eikä mittausta voi pitää luotettavana. Toteutuneen rakenteen oikein kuvautumiseksi toteumat tulee mitata rakenteen taitekohdista. Kauhan tulee olla mittauksen aikana liikkumattomana maata vasten.

Kauhan mittauspisteen tulee olla valittuna koneohjausjärjestelmästä siihen kohtaa kauhaa, jolla toteuma mitataan. Mittapiste voidaan valita kauhan keskelle tai kauhan reunoille. Jos mittapiste on valittuna väärin, tulee toteumamittauksessa xy-tasossa virhettä puolesta kauhan leveydestä kauhan koko leveyteen. Tämä antaa väärän kuvan toteutuneesta rakenteesta. [2, s. 7–8.]



Kuva 11. Kauhan mittapisteen valinta Novatronin koneohjausjärjestelmässä. Kuva Novatronin LandNova -ohjelmistosta.

Kuvassa 11 on näkymä Novatronin koneohjausjärjestelmän LandNova-kaivuuohjelmiston päänäkymästä. Kauhan mittapisteen sijainnin paikkaa voidaan vaihtaa kuvassa vaalean vihreällä ympyröidystä kauhan kuvakkeesta. Mittapisteen paikan valintaa osoittaa kauhan kuvan alapuolella oleva punainen kolmio. Tällä hetkellä kauhan mittapiste on valittuna kauhan keskelle. Mittapisteen paikka voidaan vaihtaa myös kauhan reunaan.

### 3.2.7 Toteumamittaukset osana toteumamallia

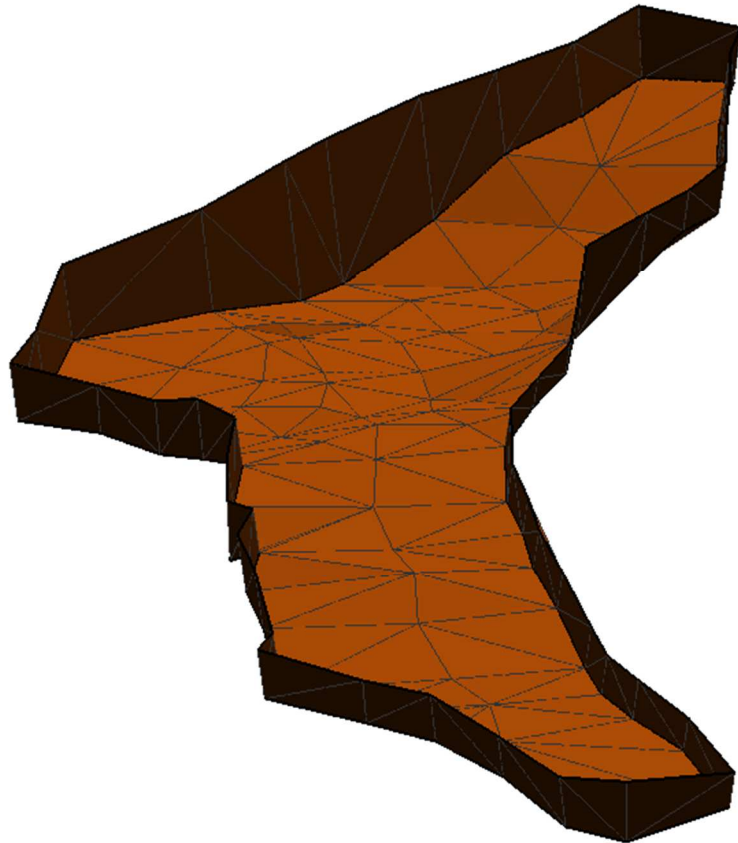
Osana YIV 2015 -ohjeistuksia on ohjeet toteumamallin laatimiseen. Toteumamalli on tietomalli, johon kootaan infrahankkeen suunnitelmien ja toteutuksen lopulliset toteumamallit, tarkemittaukset, toteumamittaukset ja tarpeelliset kartoitustiedot. [15, s. 4.]

Väylähankkeen rakennepinnat ovat väylärakenteen itsenäinen toteumamalli ja kaikkien rakennepintojen toteumamallit yhdessä muodostavat koko hankkeen toteumamallin. Toteumamalli muodostuu toteutusmallista, kun rakentaminen on tehty toteutusmallilla laatuvaatimusten mukaan. Jos lopputuote ei ole tarkkuusvaatimusten mukainen, rakennusosa mallinnetaan toteumamittausten pohjalta toteutuksen mukaiseksi. [15, s. 5–8.]

Kaivinkoneiden tekemiä toteumamittauksia käytetään tarpeen mukaan työnaikaisen laadunvarmistuksen lisäksi myös toteutuneen rakenteen mallintamiseen. Esimerkkinä tästä ovat massanvaihtokaivannot, joiden mittaaminen kaivinkoneen kauhalla on nopeampaa ja turvallisempaa kuin mittaajan toimesta. Mittaajan ei tarvitse mennä kaivantoon, joka on jo työturvallisuus riski itsessään, ja kaivannon täyttö voidaan suorittaa heti, kun kaivinkoneella kaivannon mittausta voidaan tehdä sitä mukaa, kun vaihdettava maa-aines



on kaivettu kaivannosta. Massanvaihtokaivannosta mitataan koneohjausjärjestelmällä kaivannon ala- ja yläreuna, sekä tarpeen mukaan hajapisteitä siten, että massanvaihtokaivannon pohjan muodot tulevat esiin. Kuvassa 12 on toteumista mallinnettu massanvaihtokaivanto. [15, s. 16.]



Kuva 12. Toteumamittauksista mallinnettu massanvaihtokaivanto 3D-Winissä.

### 3.2.8 Mittaajan tarkemittaukset

Mallipohjaisessa laadunvarmistusmenettelyssä laadunvarmistus painottuu enemmän kaivinkoneiden tekemiin toteumamittauksiin perinteisistä mitaajan suorittamista tarkemittauksista. Mittaajan suorittamilla tarkemittauksilla varmistetaan rakenteen toteutuminen laatuvaatimusten mukaan. Tarkemittaukset suoritetaan InfraRYL:n mukaisesti, mutta harvemmalla pistevälillä. Väylän suorilla osuuksilla tarkkeita mitataan 200 metrin välein ja kaarteissa väylän vaakageometrian kaarresäteen ollessa alle 3 000 mitataan

tarkkeita 100 metrin välein. Tarkkeet mitataan poikkileikkauksen taitteiden kohdalta, sekä alusrakenteen rakennetyypin tai kerrospaksuuden muutoskohdista. Mikäli mittauksissa ilmenee, ettei rakenne täytä sivun 15 taulukossa 2 esitettyjä InfraRYL-vaatimuksia, tihennetään mittausväliä 50:n metriin ja selvitetään tarvittavin mittauksia poikkeamien sijainti sekä tehdään rakenteeseen tarpeelliset korjaustoimenpiteet.

### 3.2.9 Mallipohjaisen laadunvarmistusmenettelyn dokumentit

Mallipohjaisen laadunvarmistusprosessin tuloksena syntyy seuraavat dokumentit, jotka urakoitsija arkistoi itselleen sekä luovuttaa tilaajalle

- toteutusmallien tarkastusraportit
- työkonemaatiojärjestelmien ja GNSS-tukiasemien tarkastusraportit
- työkonemaatiojärjestelmillä tehdyt toteumamittaukset
- mittaajan suorittamat tarkemittaukset.

Toteuma- ja tarkemittaukset esitetään karttapohjalla, johon kirjataan teoreettisen rakennepinnan ja mittaustulosten poikkeamat.

Tässä esiteltynä kootusti ohjeistuksia koneohjauksen käytöstä rakentamisessa. Seuraavaksi opinnäytetyössä esitellään tietomallipohjaisen rakentamisen apuväline – Infrakit-sovellus. Infrakitin avulla voidaan paremmin hyödyntää koneohjauksen käyttöä rakentamisessa. Infrakitin käyttöön on perehdytty työharjoittelussa.

## 4 Infrakit

Infrakit on suomalainen tietomallipohjainen työmaanhallintajärjestelmä, jonka kehitys alkoi 2010. Infrakit toimii pilvipalveluperiaatteella verkkoselaimessa sekä älypuheliimeen tai tablettiin ladattavana mobiilisovelluksena, ja sen avulla pystytään jakamaan tietoa

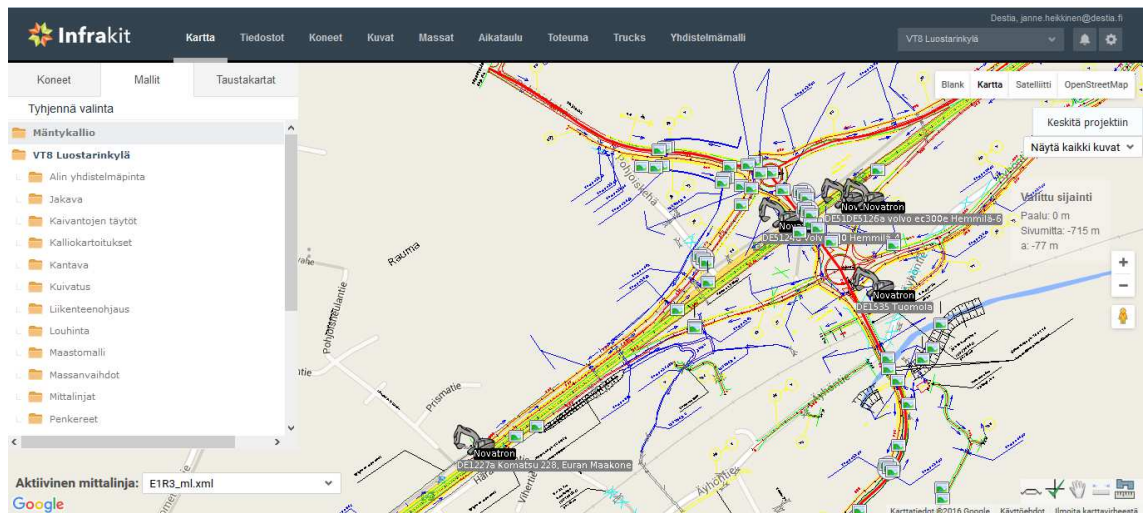
hankkeella suunnittelijan, urakoitsijan ja tilaajan välillä. Ohjelmiston tarkoituksena on toimia rakennushankkeen eri osapuolten välisenä tietojenjakokanavana. Kaikki hankkeen osapuolet voivat Infrakitista tarkastella Infrakittiin hankkeelle ladattuja aineistoja.

Infrakitista ei pääse kuka tahansa katselemaan rakennusprojekteja, vaan sovellus vaatii käyttäjälisenssin, jonka käyttäjätunnuksella ja salasanalla sovellukseen kirjaututaan. [31, s. 13; 32; 33.]

Infrakittiin voidaan liittää rakennustyömaan koneohjausjärjestelmillä varustetut kaivinkoneet, jolloin Infrakilla voidaan hoitaa koneohjausmallien siirto kaivinkoneiden koneohjausjärjestelmiin, kaivinkoneiden mittaamien toteumapisteiden siirto työmaan mittaushenkilöstölle sekä hoitaa työnaikaista laadunvarmistusta seuraamalla kaivinkoneiden toteutumamittauksia. Infrakitin kanssa yhteensopivia koneohjausjärjestelmiä ovat mm. Novatronin, DigPilotin ja Prolecin koneohjausjärjestelmät. [41]

#### 4.1 Infrakitin ominaisuuksia

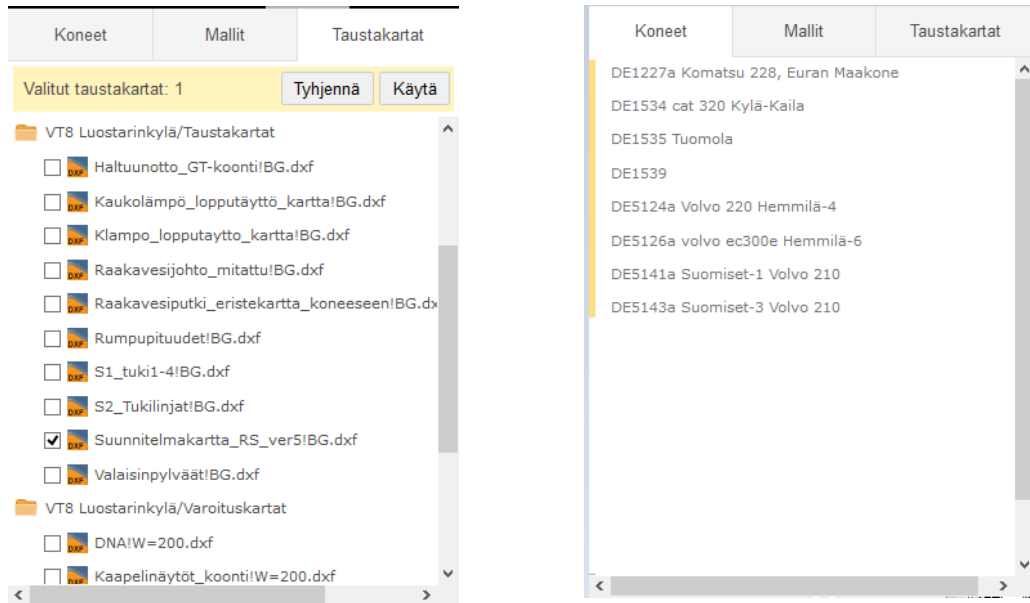
Infrakitissa voi seurata rakentamista ja hankkeen etenemistä reaaliajassa. Sovelluksessa näkyy työmaakoordinaatistossa kartta- tai satelliittikuvassa hankkeen mallit, Infrakittiin liitetyt työkoneet, toteumatiedot, sekä Infrakittiin ladatut paikkatiedolliset valokuvat hankkeelta. Kuvassa 13 on näkymä Infrakit-sovelluksen pääsivulta. Kuvassa on Googlen karttapohjan päälle avattu työmaan suunnitelmakartta. Vasemmassa laidassa on valittuna *Mallit*-välilehti, josta voi avata karttapohjalle Infrakittiin projektille ladattuja aineistoja. [33]



Kuva 13. Kuvakaappaus Infrakit-sovelluksesta. Infrakitin päänäkymässä nähtävillä Googlen karttapohjalla työmaan mallit, toteumat, työkoneet sekä työmaalta otetut valokuvat.

Kuvassa 13 kartalla näkyvät projektilla toimivat työkoneet. Vasemmassa reunassa on sivupalkki, jossa on kolme välilehteä: ”Koneet”, ”Mallit” ja ”Taustakartat”. Vasemmassa alareunassa on ”Aktiivinen mittalinja” -valikko.

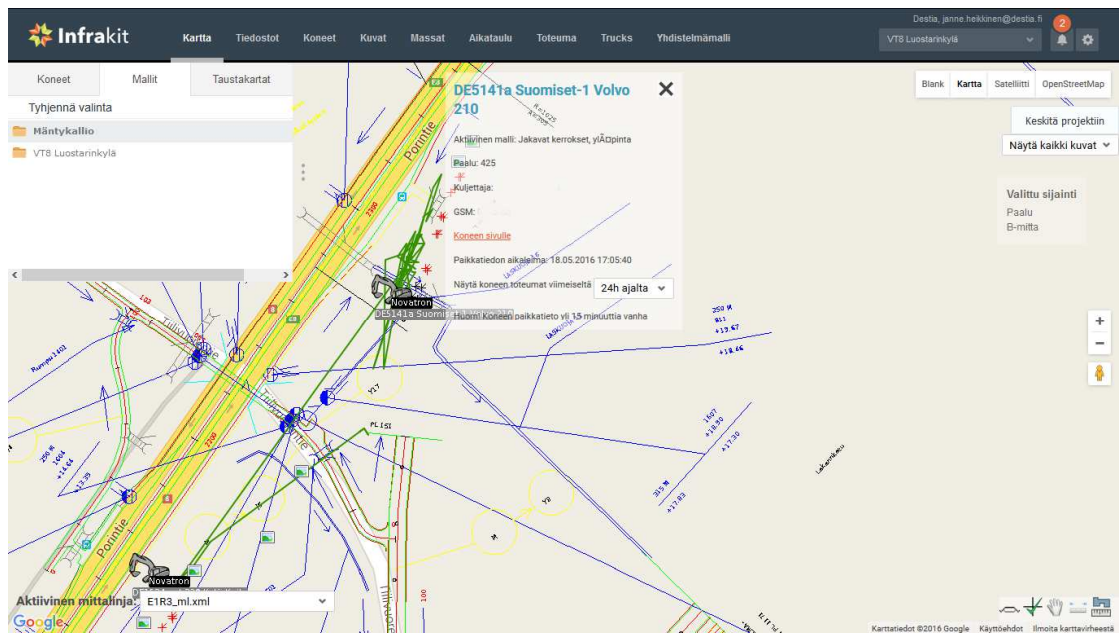
Kuvassa 13 olevalla *Mallit*-välilehdellä näkyvät listattuna Infrakittiin ladatut koneohjausmallit, ja kuvassa 14 olevalla *Taustakartat*-välilehdillä näkyvät Infrakittiin ladatut taustakartat. Kuva 14 on suurennos kuvan 13 vasemman reunan tietopalkista, ja kuvaan on kuvattu välilehdet *Taustakartat*, sekä *Koneet*. Etusivun Googlen karttapohjan päälle on mahdollista saada erilaisia karttatasoja *Taustakartat*-välilehdeltä, esimerkiksi suunnitelmapakartta tai johtokartta. Koneohjausmallien maastoon sijoittumista projektilla voidaan tarkastella ylhäältä päin kaksiuotteisesti Infrakitin päänäkymässä. *Mallit*-välilehden listasta valittu koneohjausmalli tulee näkyville karttapohjan ja karttatasojen päälle. Valitun mallin lisäksi karttanäkymään tulee näkymään kyseiselle mallille mitatut toteumapisteet. Väylältä voidaan tarkastella poikkileikkauksia, joihin piirtyy kaikki poikkileikkauksen mallit sekä toteumapisteet. Kuvassa 14 on esitetty myös Infrakitin päänäkymän ”*koneet*”-välilehti, jossa on nähtävillä listattuna projektille liitetyt työkoneet. Kuvassa 14 olevat työkoneet ovat kaikki kaivinkoneita, mutta Infrakittiin on mahdollista liittää myös muita koneohjattuja työkoneita. Valitsemalla listalta työkoneen, Infrakit siirtää päänäkymän karttapohjalla kyseisen kaivinkoneen kohdalle.



Kuva 14. Taustakartat- ja Koneet-välilehtien näkymät Infrakitin päänäköymästä.

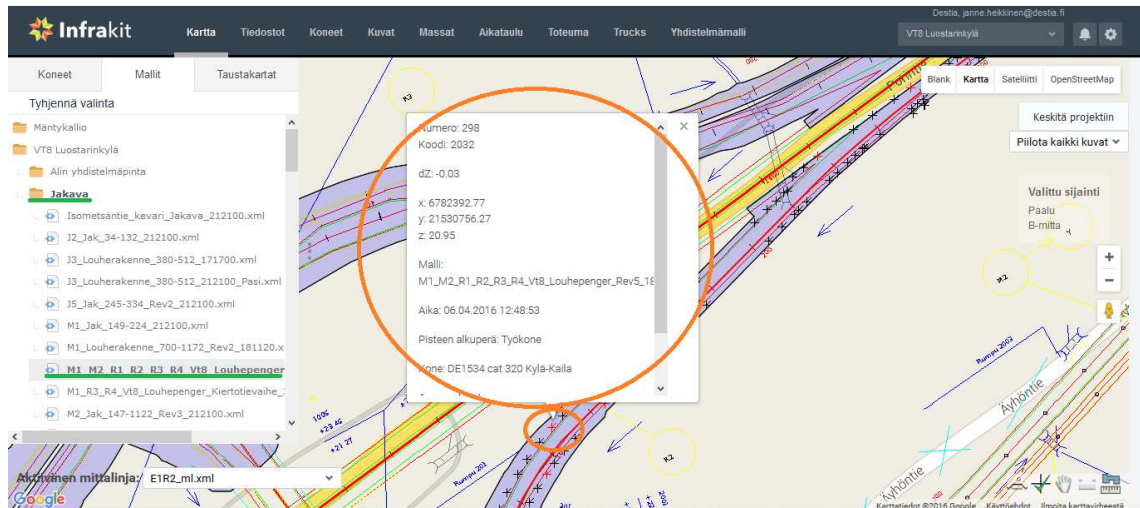
#### 4.1.1 Työn seuranta

Kuvassa 15 on yksityiskohtaisempi kuva kaivinkoneiden työskentelyn seurannasta. Infrakitista näkyy karttanäkymässä valitun kaivinkoneen liikkeet, aktiivisuustiedot, kaivinkoneen mittaamat toteumat, koneohjausjärjestelmästä valittu aktiivinen toteutusmalli, sekä kuljettajan nimi ja puhelinnumero. Kuvan vihreät viivat kuvaavat valitun koneen liikkumista päivän aikana. Punaiset rastit ovat kuljettajan mittaamia toteumia. Kaivinkone on ollut aktiivisena viimeksi klo 17:05:40. Kuvankaappaushetkellä illalla kaivinkone ei ole siis ollut enää aktiivisena, jonka vuoksi kaivinkone näkyy kartalla harmaana. Kaivinkoneessa on ollut viimeisimpänä aktiivisena toteutusmallina ”*Jakavat kerrokset, yläpinta*”-niminen toteutusmalli.



Kuva 15. Kuvakaappaus Infrakit-sovelluksesta. Kaivinkoneen reaaliaikaista työnseurantaa.

Kaivinkoneiden työn etenemistä ja -laatua voidaan seurata tarkkailemalla kuljettajien tekemien toteumamittausten avulla. Kuvassa 16 näkyy pienemmällä oranssilla ympyrällä valittuna oleva toteumapiste ja isommalla oranssilla ympyrällä valitun toteumapisteen tiedot. Tietoina toteumapisteestä on esitetty pistenumero, koodi, toteumapisteen korkeusero dZ käytettyyn toteutusmalliin, toteumapisteen koordinaatit, käytetyn mallin nimi, aikaleima sekä työkoneen tiedot. [36]



Kuva 16. Infrakitista valittu toteumapiste ja toteumapisteestä esitettyjä tietoja

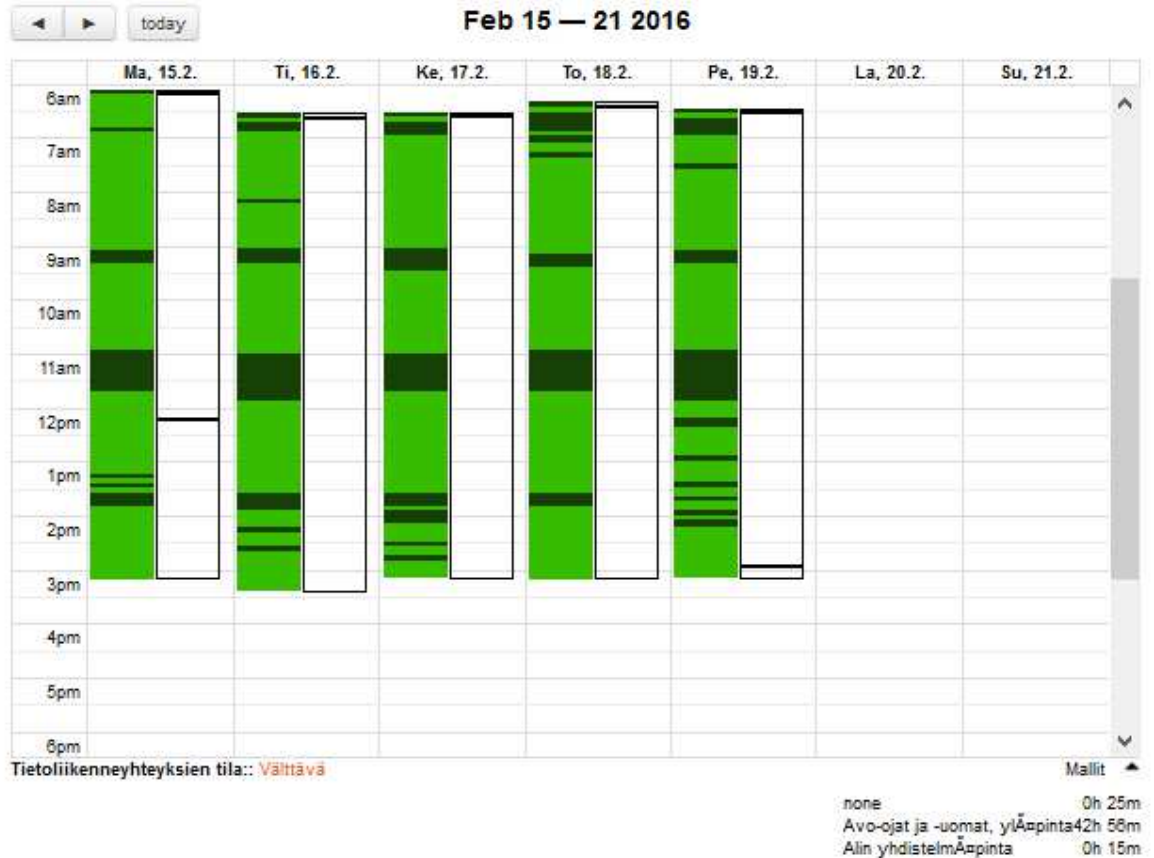
Kuvassa 16 valittu toteuma on esitetty punaisena rastina. Punainen väri toteumassa tarkoittaa Infrakittiin asetetun toleranssin ylitystä. Toleranssirajojen sisäpuolella olevat toteumat näkyvät mustina rasteina. Tämä on hyödyllinen ominaisuus seurattaessa koneenkuljettajien työn laatua: toleranssiylitykset voidaan nähdä karttanäkymästä yhdellä silmäyksellä.

On kuitenkin tärkeä huomata, että kuvan 16 toteuma ei ole osa laadunvarmistusta, vaan kyseinen toteuma on pelkästään määrä seurannassa käytetty. Kuvan toteuma on mitattu kaivinkoneen kuljettajan toimesta louhepenkereeseen vastaanotetut louheen muotoilun jälkeen, jolloin määrä seurannasta laadittaessa tiedetään, missä kohtaa rakennetta rakentaminen on meneillään. Itse laadunvarmistusmenettely tulee vasta jakavan kerroksen tiivistyksen jälkeen. [40; 10.]

Infrakitissa esitettävien toteumien toleranssirajat määräytyvät työskennellessä käytetyn toteutusmallin ja Infraktin hakemistorakenteen perusteella. Tiedonhallinnan vuoksi Infrakitiin muodostetaan jokaiselle rakennekerrokselle omat kansiot, jotka muodostavat projektin hakemistorakenteen. Hakemistorakenteesta on esimerkkikuva kuva 19. Jokaiselle kansiolle voidaan tarpeiden mukaan määrittää omat toleranssirajat, jolloin käytettäessä rakentaessa ja toteumia mitatessa kyseisessä kansiossa sijaitsevia toteutusmalleja, esitetään tähän kansioon liittyvät toteumat näillä toleransseilla. Kuvassa 16 on karttanäkymään valittu näkyviin vihreällä viivalla alleviivatusta *Jakavat*-kansioista vihreällä alleviivattu *Louhepengeri*-toteutusmalli. Näin ollen kuvan toteumapisteiden toleranssit tulevat *Jakavat*-kansioon asetettujen toleranssien perusteella. Kuvassa 16. toleranssin ylityksenä näkyvä toteuma johtuu siitä, että Infrakittiin *Jakavat*-kansion toteumapisteille on asetettu toleranssiksi määräseurantaan liittyen  $-0,02...+0,15$  metrin ero toteutusmallin pintaan nähden. Kuvassa 16 valittu toteumapiste on 0,03 metriä alapuolella käytettyyn toteutusmalliin nähden, jolloin piste esitetään toleranssiylityksenä. [40]

Kaivinkoneista voidaan tarkastella myös takautuvasti koneen työskentelyaikoja ja työhön käytettyjä malleja. Kuvassa 17 on esimerkkikuva näistä takautuvista kaivinkoneen työskentelytiedoista. Infrakit kertoo viikon jokaiselta päivältä erikseen käytetyt mallit ja työskentelyn paaluvälin. Tumman vihreät palkit taulukossa ovat aikoja, jolloin kone on ollut paikoillaan. Taulukon alle on koottu viikon aikana käytetyt mallit ja työskentelyaika malleja käyttäen.



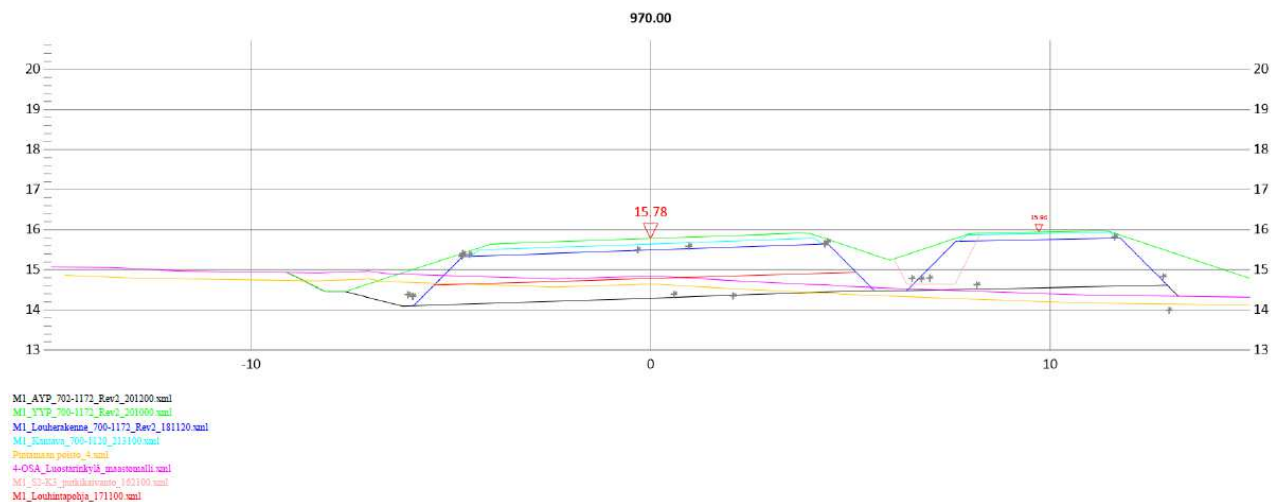


Kuva 17. Kuvakaappaus Infrakit-sovelluksesta. Kaivinkoneen takautuvia työskentelyaikoja.

#### 4.1.2 Poikkileikkauskuvat väylältä

Infrakitissa väylärakennetta on mahdollista tarkastella poikkileikkauksilla. Päänäkymän vasemmasta alareunasta valitaan tien mittalinja (kuten sivulla 26 olevan kuvan 13 vasemmassa alalaidassa), josta poikkileikkaus halutaan ottaa. Hiiren oikealla painikkeella valitaan poikkileikkauksen paikka ja valitaan hiiren oikeaa painiketta klikatessa aukeavasta valikosta *piirrä poikkileikkaus*. Poikkileikkaus piirtyy valitusta sijainnista kohtisuoraan mittalinjaan nähden.

Poikkileikkausikkuna aukeaa uudelle välilehdelle. Kuva 18 on esimerkkikuva Infrakitin muodostamasta poikkileikkauksesta. Poikkileikkausikkunassa näkyy valitun poikkileikkaussijainnin paaluluku (kuvassa paaluluku on 970.00) ja mittalinjan korkeus kyseisellä paaluluvulla. Poikkileikkaukseen tulee näkyville kaikki poikkileikkauksen kohdalla olevat toteutusmallit ja toteumapisteet. Malleja ja toteumapisteitä voi halutessaan piilottaa näkymästä. Toteutusmallien taitekohdista voi katsoa taitekohdan korkeuden ja sivuetaisyyden mittalinjasta. Toteumapisteistä voi vastaavasti katsoa pisteiden korkeudet, sivuetaisyydet mittalinjasta sekä lisäksi korkeusvertailun mitattuun toteutusmalliin. Poikkileikkausikkunassa voidaan siirtyä halutulle paaluluvulle syöttämällä itse mittalinjan paaluluku tai klikkailemalla siirtymispainiketta, jolla voidaan siirtyä mittalinjalla 10 metriä eteen- tai taaksepäin.

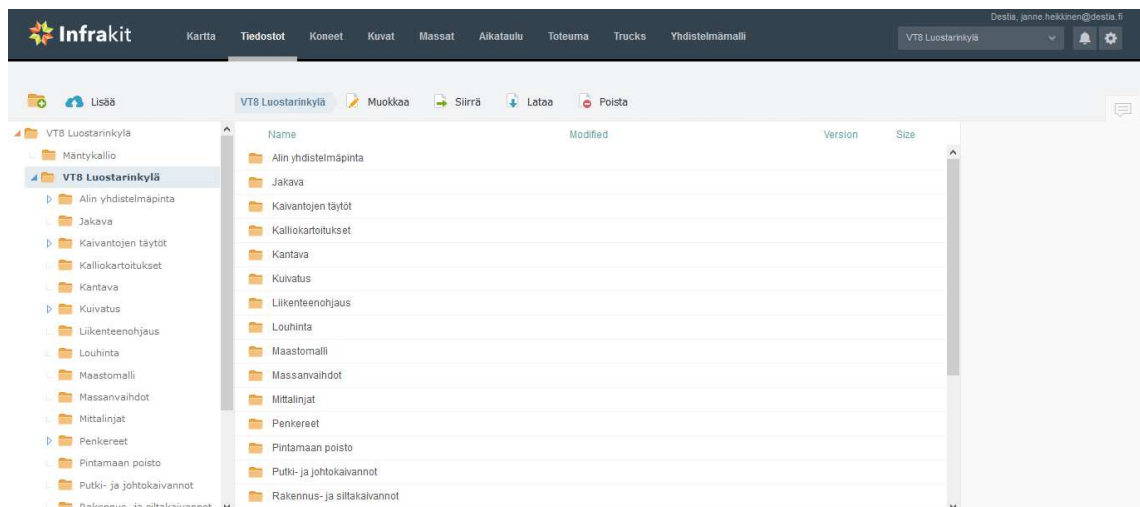


Kuva 18. Infrakitin muodostama poikkileikkaukkuva väylärakenteesta.

#### 4.1.3 Tiedonsiirto Infrakitilla

Infrakit toimii tiedonsiirtopalvelimena kaivinkoneiden koneohjausjärjestelmien ja työmaan mittaushenkilöstön välillä. Työmaalla olevien kaivinkoneiden koneohjausjärjestelmät liitetään Infrakitiin, minkä jälkeen toteutusmallien siirto koneohjausjärjestelmiin ja toteumatietojen siirto koneohjausjärjestelmistä onnistuu langattomasti mobiiliverkon välityksellä. Kaivinkoneelle haluttava aineisto ladataan Infrakittiin, ja Infrakit synkronoi aineistot projektin kaivinkoneille. [34; 36.]

Aineistojen päivittymistä kaivinkoneille voidaan hallita koneiden mallioikeuksista, josta jokaiselle kaivinkoneelle määritetään omat mallioikeudet. Mallioikeuksia hallinnoidaan projektin hakemistorakenteen avulla. Kuvassa 19 on esitetty Luostarinkylän projektin hakemistorakenne. Mallioikeuksista valitaan hakemistot, jotka päivittyvät valitulle kaivinkoneelle. Annettaessa oikeudet kaikkiin hakemistoihin päivittyvät kaikki projektille tehtävät tiedostolisäykset ja -päivitykset koneelle. [35]



Kuva 19. Esimerkkikuva hakemistorakenteesta Infrakitista

Samoin kuin Infrakittiin ladatut toteutusmallit päivittyvät automaattisesti kaivinkoneille, kaivinkoneiden mittaamat toteumat päivittyvät automaattisesti Infrakittiin. Näin kaivinkoneiden mittaamia toteumapisteitä voidaan ladata Infrakitin kautta. Infrakittiin päivittyneet toteumat esitetään Infrakitissa karttapohjalla, josta kuljettajien toteumamittausta voidaan seurata. Infrakitissa on myös ominaisuus, jolla voidaan jakaa kaivinkoneiden mittaamat toteumat projektin muiden kaivinkoneiden kesken, jolloin mitatut toteumapisteet päivittyvät myös muille kaivinkoneille ja kaivinkoneet voivat toimia yhdessä ns. tiiminä.

Infrakitin käyttö tiedonsiirtotyökaluna automaatio-operaattorin ja työkonien välillä vähentää tiedon jakeluun kuluva aikaa. Pilvipalvelun käyttö tiedonsiirrossa mahdollistaa myös etätyöskentelyn. Jos koneohjausaineistot vietäisiin kaivinkoneisiin erikseen USB-tikulla ja toteumapisteet vastaavasti haettaisiin koneohjausjärjestelmästä USB-tikulla, kuuluu tähän isolla työmaalla huomattavan paljon enemmän aikaa verrattuna siihen, että työ tehdään kokonaan verkossa.

#### 4.1.4 Kaivinkoneiden toteumapisteiden lataus Infrakitistä

Kuvassa 20 on näkymä toteumien latauksesta Infrakitista. Kuvassa valittuna on *VT8 Luostarinkylä* -kansio, joka on projektin päähakemisto. Pähakemiston alta löytyy kaikki projektille ladattu aineisto, jotka on jaoteltu väylärakenteittain omiin kansioihinsa. Toteumat tallentuvat kansiorakenteen mukaisesti samannimisiin kansioihin kuin alkuperäinen toteutusmalli, johon toteumat liittyvät. Koska kuvan 20 tilanteessa valittuna on päähakemisto, eli kaikki projektin aineistot, Infrakit hakee toteumalistaan kaikki projektin toteumapisteet. Pisteistä esitetään pisteiden metatietoina mm. mittauhetken aikaleima, pistenumero, koodi ja pintatunnus. Toteumista näytettäviä tietoja voidaan säädellä *Näytä sarakkeet* -valikosta.

Toiminnot	Päiväys	Pistenumero	Koodi	Pintatunnus	Viivatunnus	x	y	z
<input type="checkbox"/>	05.05.2016 11:54:50	5306	921			6782710.100	21531135.350	22.960
<input type="checkbox"/>	05.05.2016 11:54:38	5305	921			6782706.710	21531139.840	22.800
<input type="checkbox"/>	05.05.2016 09:14:47	5304	921			6782698.660	21531130.510	22.240
<input type="checkbox"/>	05.05.2016 09:14:39	5303	921			6782702.890	21531127.470	22.880
<input type="checkbox"/>	05.05.2016 08:01:35	5298	921			6782698.270	21531122.210	22.740
<input type="checkbox"/>	05.05.2016 08:01:27	5297	921			6782693.980	21531125.340	22.260
<input type="checkbox"/>	05.05.2016 06:28:08	5294	921			6782686.760	21531117.430	22.170

Kuva 20. Infrakitin toteumien lataus.

Infrakitista ladattavia toteumia voidaan valikoida tarpeen mukaan. Toteumia voidaan ladata rakennekerroksittain, työkoneittain tai esimerkiksi halutulta aikaväliltä aikafilteerillä.

Toteumia voi ladata Infrakitista xml-, gt- tai csv-formaatissa. Gt-formaatti on maanmittauksessa mittausdatan siirtoon yleisesti käytetty formaatti, jolla toteumien vienti 3D-Wiiniiin ja edelleen käsittely onnistuu sujuvasti. Gt-formaatissa pisteiden mukana siirtyy toteumapisteiden pintatunnus, koodi, pistenumero ja XYZ-koordinaatit.

Pisteiden siirto päinvastoin tietokoneelta Infrakittiin on myös mahdollista. Jos hankkeen tarkemittaukset jaetaan tilaajan nähtäville Infrakitin kautta, voidaan mittaajan suorittamat tarkemittaukset ladata Infrakittiin, josta niitä voidaan tarkastella kuten kaivinkoneiden toteutumamittauksia. Mittaajan pisteiden esitystapa voidaan valita mittauksessa käytetyn mittalaitteen mukaan. Takymetrimittaukset näkyvät erilaisella symbolilla, kuin työkooneella ja GNSS-mittalaitteella mitatut toteumat. Infrakittiin ladattaville pisteille voidaan lausuvaiheessa valita joko itse listasta malli, johon mitattuja pisteitä verrataan tai sitten Infrakit etsii itse ladattuja pisteitä lähinnä olevan pinnan, johon vertailu tehdään. [42]

Tässä esiteltiin lyhyesti Infrakitin tärkeimpiä ominaisuuksia. Infrakitissa on myös massojen seuranta -työkalu, joka on osittain soveltuva määrä seurannan ylläpitoon. Tätä työkalua esitellään opinnäytetyön seuraavassa määrä seuranta-osiossa.

## **5 Määrä seuranta**

### **5.1 Määrä seurannan periaate**

Määrä seuranta on rakennustyömaan projektihallintatyökalu. Määrä seurannassa seurataan kaivetun tai vastaanotetun maa-aineksen määrää. Määrä seurantaa varten on etukäteen laskettu teoreettinen maa-aines määrä, jonka suhteen seurataan työn edistymistä. Teoreettinen määrä katsotaan täytyneeksi, kun kyseinen työvaihe on toteutusmallin mukaan suoritettu valmiiksi.

Määrä seurannalla seurataan rakentamisen aikaisia kustannuksia. Tavoitteena on, että rakennusurakka pysyy tarjouslaskentavaiheessa lasketun kustannusarvion mukaisissa kustannuksissa. Määrä seurannalla seurataan myös työmaan aikataulussa pysymistä. Työvaiheelle voidaan asettaa tavoiteaika, jonka kuluessa työ on saatava valmiiksi. Kun tiedetään työvaiheen valmistumiseen tarvittava kokonaismäärä maa-aineksen leikkausta tai pengerrystä sekä tavoiteaika, voidaan tästä laskea tavoitekapasiteetti per seurantaväli, jonka toteutumista määrä seurannassa seurataan. Lisäksi voidaan määrittää työmaan työkonekaluston määrä sopivaksi. [29]

Perinteisempi tapa toteuttaa määräeuranta on laskea väylän poikkileikkauskuvista 20 paaluluvun välein väylän teoreettinen leikkaus- tai pengerrysmassamäärä. Työn etene- mistä seurataan valmistuneen rakenteen paaluluvun avulla, jota verrataan poikkileik- kauskuvista paaluluvuittain laskettuihin massoihin. Toteumien avulla suoritettavassa määräeurannassa toteutusmalleista rajataan rakennettu alue kaivinkoneiden mittaa- mien toteumien perusteella. Massat lasketaan toteutusmalleista ja laskennassa mal- leista rajataan toteumamittauksista muodostettu aluerajaus, jolloin saadaan täsmällinen arvo massamäärille. Toteumista tehtävässä määräeurannassa laskijan ei ole pakko käydä maastossa lainkaan, vaan koko seuranta on mahdollista tehdä tietokoneelta kä- sin. Koneohjatulla työmaalla määräeurannan voi toteuttaa myös siten, että tavoite- mas- samäärät lasketaan toteutusmalleista, mutta rakentamisen aikainen määräeurantalas- kenta suoritetaan mittajaan tekemien kartoitusten perusteella. Tällöin vastaavalla tavalla, kuin kaivinkoneiden mittaamista toteumista, muodostetaan mittajaan kartoituksista mää- räeurantalaskennassa käytettävä rajaus. [30]

## 5.2 Omat kokemukset määräeurannasta

Käytän määräeurannan esittelyyn esimerkkinä Destia Oy:n Rauman Vt8 Luostarinkylän eritasoliittymän rakennustyömaalla tehtyä määräeurantaa, jossa olin työharjoittelussa loppuvuodesta 2015 seitsemän kuukautta sekä kesällä 2016 neljä kuukautta. Työharjoit- telussani olen perehtynyt aiheeseen työmaan mittauspäällikön, työmaapäällikön ja tieto- mallikoordinaattorin kanssa.

Luostarinkylän hankkeella määräeurannalla pidettiin hallinnassa urakan laskentavai- heessa arvioituja kustannuksia, sekä urakka-aikataulua. Työmaalla seurattiin viikon jak- soissa työmaalle ajetun louheen määrää. Määräeurannasta työmaalla vastasi työmaan alussa mittauspäällikkö, mutta määräeurannan ylläpito siirtyi vastuulleni kesän 2016 harjoittelun aikana.

Luostarinkylän hankkeeseen kuului eritasoliittymän rakenteeseen sisältyvät kolme lou- hepengertä ja liittymien rampit, kolme katua ja kevyenliikenteen väylät, huoltotie, kaksi betonisiltaa, kevyenliikenteen alikulku ja yksi teräspuutkivilta. Kokonaisuudessaan työ- maan väylärakenteisiin sisältyi noin 200 000 rtr-kuutiometriä louhetta. Työmaan louhe louhittiin ja ajettiin työmaalle työmaan läheiseltä kallionottoalueelta. Rakennustyömaalla

oli 6–8 koneohjattua kaivinkonetta Novatronin koneohjausjärjestelmillä varustettuna, kaksi kaivinkonetta louheen lastauksessa, sekä louhetta ajamassa 2–8 kuorma-autoa.

Tierakenteiden tavoitelouhemäärät laskettiin rakentamisessa käytetyistä koneohjauksmalleista. Työmaalla työkäytössä olleiden kaivinkone- ja kuorma-autokaluston perusteella laskettiin tavoitemassamäärät viikoittaiselle rakentamiselle ja työmaan edistymiselle.

Eritasoliittymän louhepenkereet mallinnettiin ja rakennettiin InfraRYL:n työohjeiden vaatimusten mukaisesti useampana kerroksena, jolloin määräseurannan ja työn edistymisen seuranta oli helpompaa. Määräseurantalaskenta suoritettiin toteutusmalleilla ja kaivinkoneiden koneohjausjärjestelmillä mitattujen toteumien avulla. Laskentaan ja mittausdatan käsittelyyn käytettiin 3D-Win-ohjelmistoa. Tiedonsiirtoon kaivinkoneiden koneohjausjärjestelmien ja mittaushenkilöstön välillä käytettiin Infrakit-pilvipalvelua. Määräseurantalosten kokoamiseen käytettiin excel-työkalua.

### 5.3 Määräseurannan vaiheet

Teknisesti määräseurannan voi hahmottaa koostuvan kolmesta osasta:

1. Tavoite maa-ainesmäärien määrälaskenta.
2. Rakentamisen aikana tehtävä määräseurantalaskenta
3. Kohdan 2. tulosten esittäminen määräseurantatyökalulla.

Kohtia 2 ja 3 toistetaan seurannan aikavälin mukaan, esimerkiksi kerran viikossa, kunnes työnjohto katsoo seurannan tarpeettomaksi tai seurattava rakenne on valmis.

### 5.4 Tavoite maa-ainesmäärien määrälaskenta

Rakenteen tavoitemateriaalmäärien laskenta voidaan suorittaa 3D-Win-ohjelmalla rakenteiden toteutusmallien avulla. Aiemmin esitellyn YIV2015-ohjeen 5.2 perusteiden

mukaan laaditusta toteutusmallista saadaan 3D-Winillä laskettua rakenteen absoluuttinen tilavuus kuutiometreinä.

3D-Winillä on mahdollista suorittaa määrälaskenta useammalla eri tavalla. Yksinkertainen ja määrä seurantaan sopiva nopea laskentatapa on ohjelmiston yhdistä mallit -toiminto. Toiminnolla saadaan laskettua kahden kolmioverkkomallin väliin jäävä absoluuttinen tilavuus. Ohjelmaan avataan laskettavan rakenteen kolmioverkkomalli, sekä alapuolisen rakenteen kolmioverkkomalli. 3D-Winin massalaskentatoiminto päättelee laskettavien pintojen keskinäisiä suhteita kolmioverkkojen pintatunnuksista. 3D-Win ymmärtää massalaskennassa myös uusia InfraBim-nimikkeistön mukaisia pintatunnuksia, jolloin rakentamiseen valmiit toteutusmallit soveltuvat suoraan massalaskentoihin. [37]

Mallien yhdistäminen

Menetelmä: Eropinta ja massat

Pinta 1: M1\_AYP\_702-1172\_Rev2\_201200

Tunnus: 201200 Alin yhdis dZ 0.0

Pinta 2: Y4\_Jakava\_212100.mm.tdw

Tunnus: 212100 Jakavat k dZ 0.0

Tulospinta: 0

m<sup>2</sup>-raja: 0.0 Kaltevuus: 0.0

Rajaus: Ei rajausta

Massat rajausviivoille

Vinopinta-alat Desimaalit: 0

Taulukkomuoto  Alueet eriteltynä

Pinta	Pinta-ala	Tilavuus
Jakavat kerrokset,	1981 m <sup>2</sup>	292 m <sup>3</sup>

Suorita \*  
Sulje  
Ohje \*  
Viivat  
Näytä



Kuva 21. Esimerkki tavoitemäärien laskennasta 3D-Winillä.

Kuvassa 21 on esimerkki tavoitemäärien laskennasta. Laskentaa varten 3D-Winiin on avattu laskettavan jakavan kerroksen toteutusmalli, sekä laskennan alapuolisen alimman yhdistelmäpinnan malli. Alimman yhdistelmäpinnan pintatunnus 201200 ja jakavan



kerroksen pintatunnus 212100 ovat InfraBIM-nimikkeistön mukaisia pintatunnuksia. Pintatunnusten perusteella 3D-Win ilmoittaa laskentatuloksiin laskennassa olevan rakenteen ”*Jakavat kerrokset*”, jonka ohjelma on tunnistanut pintatunnuksista. Rakenteen pinta-alaksi ohjelma laskee 1981 m<sup>2</sup> ja tilavuudeksi 292 m<sup>3</sup>. Kun tavoitemäärä on laskettu, voidaan rakentamisen aikaisessa seurannassa seurata työn etenemistä vertaamalla rakennettuja määriä ennakkoon laskettuun tavoitemäärään.

## 5.5 Rakentamisen aikana tehtävä määrä seuranta

Rakentamisen aikana tapahtuvassa määrä seurannassa lasketaan tekeillä olevan rakenteen leikattu tai pengerretty maa-ainesmäärä. Koneohjauksella toteutettava rakentamisen aikainen määrä seuranta käsittää toteumatietojen hankinnan kaivinkoneilta sekä aineiston käsittelyn ja laskennan.

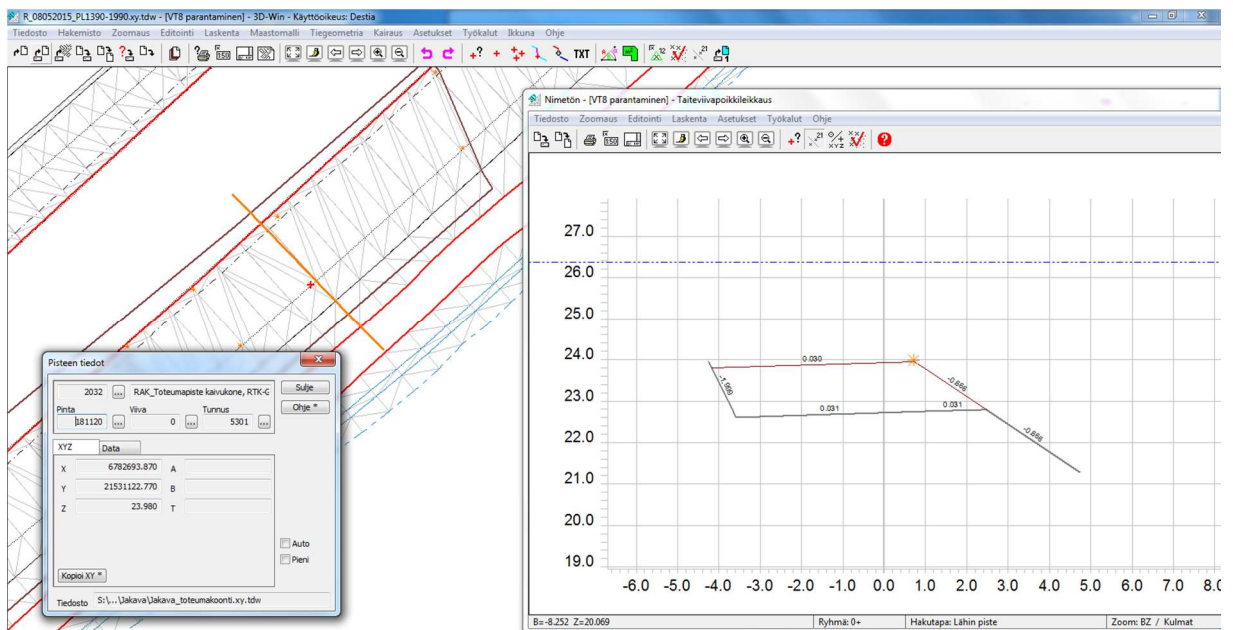
### 5.5.1 Toteumien lataus ja käsittely

Toteumatiedot ladataan Infrakitista tietokoneelle. Jo latausvaiheessa Infrakitista voidaan suodattaa lataukseen vain haluttuja toteumia, esimerkiksi vain tietyn kaivinkoneen tai toteutusmallin perusteella. Luostarinkylän työmaalla kaikki kaivinkoneiden mitaamat toteumapisteet tulivat kaivinkoneista valmiiksi koodattuina, joka nopeutti pisteiden käsittelyä. Infrakitista pystyi lataamaan kaikki halutun aikavälin toteumat ja valmiin koodauksen ansiosta määrä seurantaan käytettävät toteumat pystyi erottelemaan joukosta helposti. 3D-Winillä on mahdollista erotella pisteet omiin tiedostoihin pintatunnusten tai koodien perusteella, jolloin valmiiksi koodatuista pisteistä halutut toteumapisteet saadaan eroteltua helposti.

### 5.5.2 Laskenta

Toteumamittauksista voidaan seurata, kuinka pitkälle väylää on rakennettu. Toteumamittausten perusteella rajataan määrälaskennassa käytettävistä malleista rakennettu alue, jolloin saadaan täsmällisiä tuloksia rakennetuista määristä. Kuvassa 22 on kuva kaappaus 3D-Winistä laskettavasta mallista ja toteumista rajatusta alueesta. Laskennassa on alempana pintana alin yhdistelmäpinta ja ylempänä pintana louhepenger, kiihlypinta.

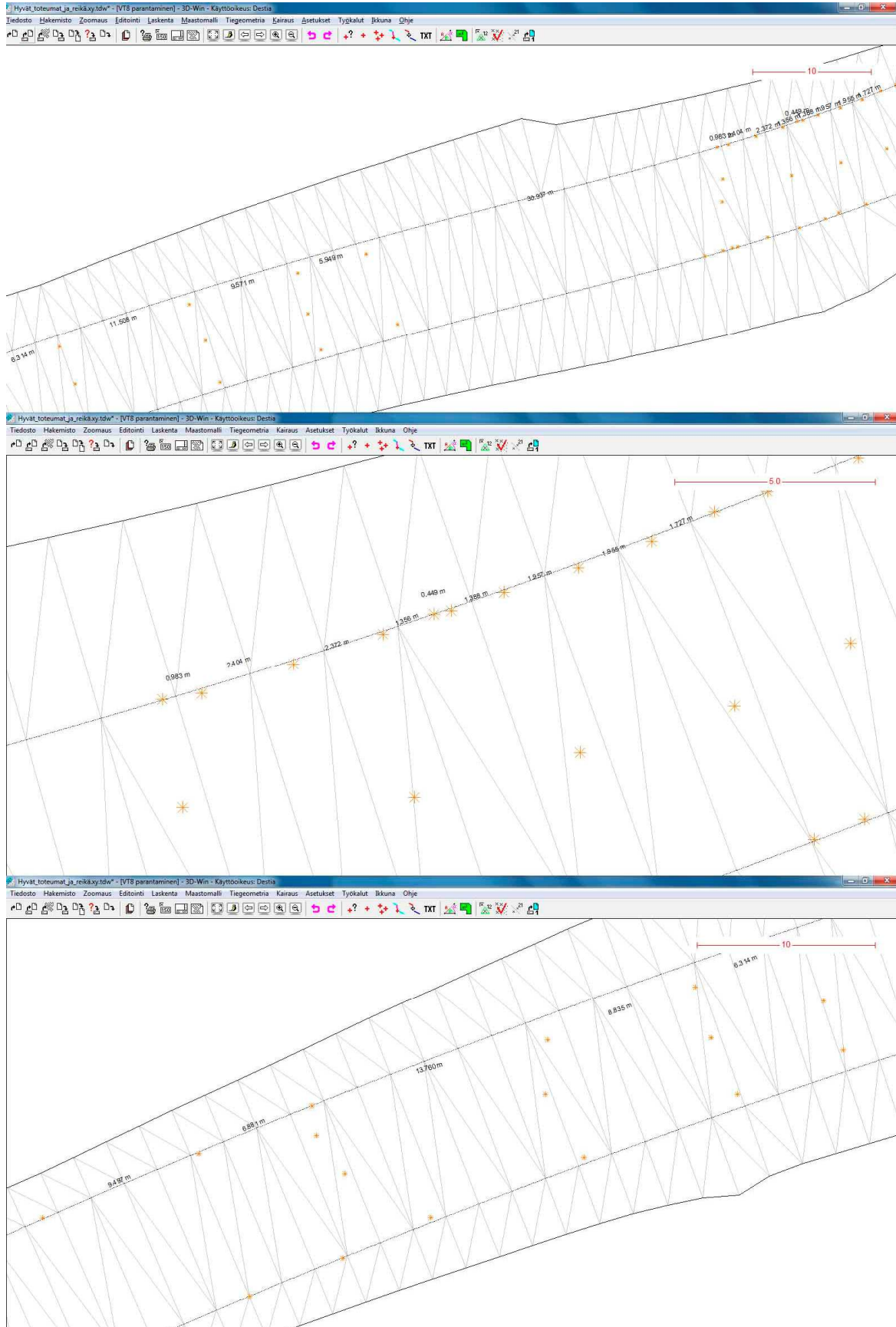
Kuvassa 22 näkyy keltaisina tähtinä Infrakitista ladatut toteumapisteet. Punaisella rastilla merkityn toteumapisteen tiedot näkyvät ”Pisteen tiedot”-ikkunassa, sekä pisteen sijoittuminen väylärakenteessa oikealla poikkileikkauksessa. Toteumapisteen koodina on 2032, jonka selite on ”Toteumapiste kaivukone, RTK-GNSS-paikannus”. Toteumapisteen pintatunnusena InfraBIM-nimikkeistön mukainen pintatunnus 181120, joka tarkoittaa louhepenkereen kiilattua yläpintaa. Pintatunnus on koodautunut toteumapisteelle automaattisesti mittaushetkellä. Tämä on Novatronin koneohjausjärjestelmien pisteiden käsittelyä helpottava ominaisuus. Kuljettajalla on ollut käytössään mallina ”Louhepenkereet, kiilattu yläpinta”, jolloin toteumapisteelle on tullut käytetyn toteutusmallin mukainen pintatunnus. Kuvassa ruskeana viivana näkyy toteumapisteiden perusteella muodostettu rajausviiva, jota käytetään määräeurantalaskennassa rajaamaan toteutusmalleilta määrälaskentaan vain rakennettu osa rakenteesta. Rajaus on tallennettu omaan tiedostonsa ja se voidaan valita massalaskennan ”Yhdistä mallit”-toiminnossa toimimaan rajaavana tiedostona laskentaan. 3D-Win ottaa laskennassa huomioon vain rajaustiedoston sisäpuolisen alueen.



Kuva 22. Määrälaskennassa käytettävät kolmioverkkomallit, toteumat sekä toteumien pohjalta muodostettu rajaus 3D-Winissä.

Tarkan seurannan tekeminen edellyttää, että toteumia mitataan tarpeeksi tiheään. Mallipohjainen laadunvarmistus edellyttää toteumien mittausta 20 metrin välein, mutta Luostarinkylän työmaalla kaivinkoneenkuljettajia ohjeistettiin mittaamaan toteumia vielä tiheämmin tarkemman seurannan mahdollistamiseksi. Kuvassa 22 näkyvien toteumien välimatka on n. 10 metriä. Tätäkin tiheämpi pisteväli olisi seurannassa hyvä, jolloin päästäisiin vielä tarkempaan rajaukseen ja massoihin. Säännöllinen ja tiheä pisteväli helpottaa rajauksen tekemistä. Kuvassa 23 on vertailtu eritasoliittymän rampin toteumamittausten välimatkaa. Yläkuvasta on alempana kaksi lähempää suurennosta. Yläkuvassa näkyy oikealla noin kahden metrin välillä mitattuja toteumia ja vasemmalla harvemmassa noin 10 metrin epäsäännöllisemmällä välillä mitattuja toteumia. Näiden toteumien välissä on 30 metrin suuruinen aukko. Aukon paikalla on työmaan aikainen tieyhteys, jolloin väli on keskeneräinen ja aukko toteumamittauksissa tarkoituksellinen.

Lyhyellä välillä mitatuista toteumista on suurennos keskimmaisessa kuvassa. Lyhyt noin kahden metrin välimatka toteumien välillä luo selkeän kuvan rakennetusta alueesta, josta on määräseurannantekijän helppo muodostaa tarkka rajaus. Alimmaisessa kuvassa toteumia on mitattu harvempaan ja epäsäännöllisesti. Lisäksi väylän keskeltä puuttuu toteumia ja osaa reunimmaisista toteumista ei ole mitattu oikeasta paikasta rakenteen taitekohdasta, vaan metri taitekohdasta väylän keskilinjaan päin. Tällaisesta toteuma-aineistosta tarkan rajauksen määrittäminen on vaikeaa.



Kuva 23. Kuvassa vertailtu toteumatieheyksiä 3D-Win-ohjelmalla.

### 5.5.3 Aineiston käsittely ja laskenta

Novatronin koneohjausjärjestelmä asettaa toteumapisteisiin automaattisesti koodin ja pintatunnuksen. Toteumien pintatunnus määräytyy kuljettajan mittaushetkellä käyttämän toteutusmallin pintatunnuksen mukaan. Toteumamittauksiin käytettävän koodin voi määrittellä järjestelmään erikseen. Luostarinkylässä käytetty koodi toteumamittauksille oli 2032, joka on bSF:n mukainen pisteen mittaustavan ja -tarkkuuden kertova koodi. Mitattujen tarke- ja toteumapisteiden koodit alkavat numerosta 2000 ja koodin seliteosa sisältää tiedon pisteen mittausmenetelmästä (mittaaja, kaivinkone, puskukone...), sekä mitaustarkkuudesta. Esimerkiksi mittaajan suorittamille tarkemittauksille on koodi sen mukaan, onko piste mitattu takymetrillä (koodi 2001), GNSS-mittalaitteella, joka on ollut RTK-korjauksella (2002) vai GNSS-mittalaitteella, joka on ollut verkko-RTK-korjauksella (2003). Koodin 2032 selitteenä on, että piste on mitattu kaivinkoneella, jonka paikannus on toteutettu satelliittipaikannuksella ja RTK-korjauksella. Taulukkoon 3 on koottu mitausmenetelmä ja -tarkkuus -koodiston ensimmäiset kahdeksan koodia, jotka kuvaavat mittaajan tarkemittauksia. Koodisto jatkuu vastaavalla periaatteella sisältäen mitaustarkkuuskoodit työkoneelle (yleinen), kaivinkoneelle, puskutraktorille, kauhakuormajalle, tiehöylälle ja tiivistysjyrälle.

Taulukko 3. Mittausmenetelmä ja -tarkkuus -koodisto

Koodin numero	Koodin selitysosa
2000	Tarkepiste: mittaaja, erittelemätön
2001	Tarkepiste: mittaaja, takymetri
2002	Tarkepiste: mittaaja, RTK-GNSS
2003	Tarkepiste: mittaaja, verkkoRTK-GNSS
20031	Tarkepiste: mittaaja, verkkoRTK-GNSS SmartNet
20032	Tarkepiste: mittaaja, verkkoRTK-GNSS Trimnet-VRS
20033	Tarkepiste: mittaaja, verkkoRTK-GNSS Geodeettinen laitos
2004	Tarkepiste: mittaaja, korkeusvaaitus

Toteumien automaattinen koodaus nopeuttaa ja helpottaa toteumien jälkikäsitteilyä. Koodin avulla käy heti ilmi, minkälainen piste on kyseessä, ja pintatunnuksesta selviää, mistä rakennekerroksesta piste on. Jos toteumia ei saa koneohjausjärjestelmästä automaattisesti koodattuina, on tiedonhallinnan kannalta tarpeellista koodata pisteet pisteiden käsitteilyajan toimesta, että toteumatiedot pysyvät hallinnassa. Jos toteumia ei koodata, on vaarana, että eri pintojen toteumat sekoittuvat, jolloin toteuma-aineistot menevät niin sekaviksi, että niiden käyttäminen on äärimmäisen vaikeaa tai jopa mahdotonta.

Yhteenveto määräseurantalaskennasta

1. Toteumapisteet ladataan Infrakitista
2. Laskentaa varten avataan tarpeelliset toteutusmallit
3. Toteumien avulla muodostetaan rajaustiedosto
4. Suoritetaan massalaskenta rajaustiedostoa käyttäen

#### 5.6 Määräseurantatulosten esittäminen

Säännöllisessä määräseurannassa laskentatulosten kokoaminen yhteen on nopea tapa havainnollistaa rakentamisen edistymistä. Yksinkertaisimmillaan tähän sopii excel-tilukko, jossa voi tarpeen mukaan suorittaa määristä vielä edelleen laskutoimituksia. Excel-tilukon kokoamiseen on monia eri tapoja, ja jokaisella on oma mieltymyksensä millaisista esityksistä pitää. Kuvassa 24 on Luostarinkylän määräseurannan excel-tilukko, jossa on vasemmalle listattu laskettavat väylät ja ylös vaakariville laskentapäivämäärä. Laskentatulokset tulevat tilukkoon väylän ja päivämäärän mukaan. Määräseurannan ylläpidossa voi myös hyödyntää Infrakit-sovellusta.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'Luohemassat.xlsx - Microsoft Excel'. The spreadsheet contains a detailed maintenance schedule for Luostarinkylän määräeseuranta. The columns represent dates from 16.10.2015 to 24.5.2016. The rows are organized into sections for different maintenance tasks:

- SM312**: Includes tasks like 'Loppupergent 2', 'Loppupergent 4', 'Loppupergent 5', 'Loppupergent 6', and 'Loppupergent 7' with dates ranging from 16.10.2015 to 21.12.2015.
- SM32**: Includes tasks like 'Loppupergent 1', 'Loppupergent 2', 'Loppupergent 4', 'Loppupergent 5', and 'Loppupergent 6' with dates ranging from 16.10.2015 to 21.12.2015.
- SM7**: Includes tasks like 'Loppupergent 1', 'Loppupergent 2', 'Loppupergent 4', 'Loppupergent 5', and 'Loppupergent 6' with dates ranging from 16.10.2015 to 21.12.2015.
- SM12**: Includes tasks like 'Loppupergent 1', 'Loppupergent 2', 'Loppupergent 4', 'Loppupergent 5', and 'Loppupergent 6' with dates ranging from 16.10.2015 to 21.12.2015.
- SM8**: Includes tasks like 'Loppupergent 1', 'Loppupergent 2', 'Loppupergent 4', 'Loppupergent 5', and 'Loppupergent 6' with dates ranging from 16.10.2015 to 21.12.2015.

Kuva 24. Excel-taulukko Luostarinkylän määräeseurannasta.

Tästä eteenpäin määräeseuranta on edellisten vaiheiden toistamista. Toteumat ladataan Infrakitista, muodostetaan uusi rajausta toteutusta ja suoritetaan toteutusmalleilla ja uudella rajauksella uusi laskenta ja kirjataan tulokset ylös määräeseurantakoontiin.

Opinnäytetyön luvut 5.6.1 ja 5.6.2 on siirretty liitteeseen 1, joka on salattu opinnäytetyöstä Destia Oy:n vaatimuksesta. Salatu aineiston sisältävä liite 1 ei sisällä opinnäytetyön julkiseen versioon.

## 6 Päätelmät

### 6.1 Määräseurantamittaustapojen vertailu

Suurimmat hyödyt määräeseurannan toteuttamisessa koneohjauksen avulla ovat seurannan tarkkuus ja maastotöiden väheneminen. Ideaalisena tapahtumana koneohjauksella toteutetulla määräeseurannalla voidaan määrittää halutulta tarkalta aikaväliltä täsmälliset rakennetut määrät. Toteutettaessa määräeseuranta mittajaan avustuksella viikoittaisen määräeseurannan toimivuus edellyttää mittajaan kartoittamaan toteutuneet rakenteet säännöllisesti samaan aikaan viikosta. Toteutumien käyttö määräeseurannassa vapauttaa

mittaajan tältä ajalta muihin tehtäviin. Lisäksi mittaajan määräeurantakartoituksia koneohjatulla työmaalla voi pitää ylimääräisenä työnä, koska määräeurannan voi hoitaa koneohjauksen avulla kaivinkoneen toteumamittauksista.

Huonona puolena toteumamittauksissa on mittausvastuun siirtyminen mittaajalta kaivinkoneen kuljettajalle. Kaivinkonekuljettajalla ei yleensä ole tietämystä mittaamisen erityispiirteistä ja huomioon otettavista asioista. Tämän vuoksi kuljettajan perehdyttäminen toteumamittauksiin sekä työnaikainen ohjaaminen ovat ensiarvoisen tärkeitä.

Opinnäytetyön luvun 6.1 viimeinen kappale on siirretty liitteeseen 1, joka on salattu opinnäytetyöstä Destia Oy:n vaatimuksesta. Salatun aineiston sisältävä liite 1 ei sisälly opinnäytetyön julkiseen versioon.

## 6.2 Omia havaintoja työmaalta kaivinkoneiden toteumamittauksista ja määräeurannasta

Työn edistymistä ja laatua voidaan seurata toteumien kautta Infrakit-sovelluksella. Samalla voidaan seurata ylipäätään kuljettajien tekemiä toteumamittauksia. Toteumien seurannassa tulee kiinnittää huomiota toteumien säännöllisyyteen. Jos rakenteen toteumissa on aukkoja tai epäsäännöllisyyksiä tai jos rakenteelta, jossa kaivinkone työskentelee ei ole toteumia ollenkaan, tilanne vaatii puuttumista kaivinkoneenkuljettajan toimintaan. Tällöin ei voi ilman kaivinkoneenkuljettajalle soittoa tai maastokäynnin suorittamista tietää, onko rakenne aukkokohdissa keskeneräinen vai onko kuljettaja unohtanut mitata toteumat. Tällaisessa tilanteessa rakenteesta ei ole mittausaineistoa laadunvarmistukseen ja määräeurantaan. Tarvittaessa mittaajan tulee käydä tekemässä maastossa täydentäviä kartoitusmittauksia.

Koneenkuljettajien toteumamittaukset Luostarinkylän työmaalla onnistuivat pääasiassa hyvin. Kuljettajat olivat motivoituneita koneohjauksen käyttöön rakentamisessa. Kuljettajia oli perehdytetty toteumamittaukseen sekä kerrottu toteumamittausten merkityksestä määräeurannassa. Kuitenkin toteumien seurannan tulee olla aktiivista, sillä muutamia kertoja työharjoitteluni aikana työkoneen siirtyessä eri työvaiheeseen koneenkuljettaja olisi unohtanut mitata toteumia, ellei siitä olisi häntä muistuttanut. Näissä tilanteissa ko-



neenkuljettaja oli ollut suorittamassa työvaihetta, joissa toteumia ei tarvitse mitata (esimerkiksi luiskan muotoilu) ja siirron jälkeisessä työvaiheessa taas toteumamittaukset olivat tarpeellisia (esimerkiksi alimman yhdistelmäpinnan maaleikkaus tai louhepengeri).

Lisäksi kävin kerran suorittamassa täydennyskartoitusta määräseurantaa varten, koska kaivinkoneenkuljettaja oli unohtanut mitata rakenteesta toteumia. Tilanteessa kaivinkoneen kuljettaja oli siirretty paikalle toisesta työvaiheesta ja oletuksena oli, että kuljettaja tietäisi kyseisen työvaiheen (louheen vastaanotto louhepenkereeseen) toteumamittausten tarpeellisuuden, koska hän oli tehnyt vastaavaa työtä työmaalla aiemminkin. Toteumamittaus on sinällään yksinkertainen toimintona ja koneenkuljettajien helppo omaksumaa, mutta toteumamittattavien rakenteiden muistaminen kuljettajakohtaista, jolloin toteumien seuranta Infrakitista on kätevä työkalu toteumamittausten onnistumiseen.

Ongelmia koneohjauksen suhteen voi aiheuttaa aliurakoitsijoiden ja kuljettajien asenne koneohjaukseen kohtaan. Koneohjausjärjestelmät ovat hintavia, ja tietokoneiden käyttö voi olla vierasta ja ongelmallista etenkin vanhemman ikäluokan kuljettajille, jolloin uusiin työmenetelmiin suhtaudutaan varauksella. Vanhankin on kuitenkin halutessaan mahdollista oppia uusia asioita. Antamalla koneenkuljettajille hyvä perehdytys koneohjauksen käyttöön mahdollistetaan tehokas työskentely työmaalla. Lisäksi antamalla käyttötukea epäselvissä tilanteissa koneohjausohjelmiston kanssa lisätään luottamusta automaatiotyöntekijöiden ja koneenkuljettajien välillä, joka on omiaan vähentämään kuljettajien mahdollisia epäluuloja tietokoneiden käytön vaikeudesta. Luostarinkylän työmaalla koneenkuljettajien yleinen mielipide koneohjauksen käytöstä rakentamisessa oli hyvin myönteinen, eikä kuljettajilla ollut halukkuutta palata rakentamaan perinteisellä tikku ja sihtilätkä -merkinnöillä.

### 6.3 Tulevaisuuden näkymiä

Koneohjaus on vakiinnuttanut paikkansa maanrakennusalalla. Koneohjausohjelmistot ja toimintamenetelmät kehittyvät käsi kädessä. Uudet ohjelmistot sisältävät uusia ominaisuuksia, joilla työtä voidaan nopeuttaa ja tehostaa. Määräseurannan toteutus toteumamittausten avulla on kätevä tapa hyödyntää koneohjausta ja tietomallinnusta työmaan muissa kuin itse maansiirtotöissä.

Seuraava askel koneohjauksella toteutetussa määrä seurannassa olisi siirtyminen automaattiseen työnseurantaan visuaalisten aikataulunäkymien siivittämänä. [10]

Työmaanhallintajärjestelmä Infrakit kehittyi jatkuvasti. Tämän on huomannut työn ohessa sovelluksen uusina päivityksinä, jolloin sovellukseen on tullut lisää uusia ominaisuuksia. Infrakit on tällä hetkellä työmaakäytössä käytännöllinen ja Infrakitin pyrkimys edelleen kehittää järjestelmiään antaa lupaavan kuvan sovelluksen käytön tulevaisuudesta.

InfraFINBIM-hankkeen lopputuotokset ovat mahdollistaneet tietomallinnuksen tehostamista infra-alalla. Inframodel-formaatin uusin versio Inframodel 4 mahdollistaa uusien ominaisuuksiensa johdosta edelleen tehokkaamman tietomallinnuksen käytön rakentamisessa. Näistä lähtökohdista näkymät koneohjauksen käytölle ja kehittymiselle ovat hyvin suotuisat.

## Lähteet

- 1 Tietomallintaminen uudistaa infra-alan. 2015. Verkkosivu. BuildingSMART Finland (bSF). <http://www.rts.fi/infrabim/> Luettu 5.1.2016
- 2 Yleiset inframallivaatimukset 2015. [5.3 Maarakennustöiden toteumamallin laadintaohje](#) 5.5.2015. Verkkodokumentti. bSF. <http://www.infrabim.fi/yiv2015/> Luettu 1.3.2016
- 3 Yleiset inframallivaatimukset 2015. [12.1 Maarakentamisen mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä](#) 14.10.2015. Verkkodokumentti. bSF. <http://www.infrabim.fi/yiv2015/> Luettu 20.1.2015
- 4 Mitä koneohjaus on?. 2014. Verkkodokumentti. TopGeo Oy. [http://www.topgeo.fi/index.php?option=com\\_content&view=article&id=121&Itemid=126](http://www.topgeo.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=126) luettu 22.2.2016
- 5 Pelimanni, Juho Niilo Matias. 2014. 3D-Koneohjaus apuvälineenä infrahankkeessa. Opinnäytetyö. Oulun AMK.
- 6 Mitä on koneohjaus?. 2016. Verkkodokumentti. Novatron Oy. <http://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/> luettu 22.2.2016
- 7 Nieminen, Juha Matti. 2011. Koneohjaus maanrakennustyössä. Opinnäytetyö. Saimaan AMK.
- 8 Tuote-esite Xsite® EASY. 2016. Verkkodokumentti. Novatron Oy. <http://novatron.fi/tuotteet/kaivinkoneisiin/xsite-easy/> luettu 22.2.2016
- 9 Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen AMK julkaisusarja D3.
- 10 Palviainen Petteri. 2016. Tietomalliasiantuntija. Novatron Oy. Opinnäytetyön kommentointi.
- 11 Palviainen Petteri. 2016. Tietomalliasiantuntija. Novatron Oy. Suullinen tiedonanto.
- 12 Häkli, Pasi. Koivula, Hannu. 2005. Maanmittaustieteiden seura ry julkaisu. Reaaliaikaisen GPS-mittauksen laatu. Verkkodokumentti. [http://www.maanmittaustieteidenseura.fi/maanmittaus/2005\\_12\\_hakli\\_koivula.pdf](http://www.maanmittaustieteidenseura.fi/maanmittaus/2005_12_hakli_koivula.pdf) s.6 luettu 22.2.2016
- 13 Ginström, Anu. 2013. Infra-ala oppi tehostamaan. Infra-lehti 4/2013. [https://issuu.com/infra-lehti/docs/2013\\_4](https://issuu.com/infra-lehti/docs/2013_4)

- 14 Yleiset inframallivaatimukset 2015. [5.2 Maarakennustöiden toteutusmallin \(kone-ohjausmalli\) laadintaohje](#) 5.5.2015. Verkkodokumentti. bSF. <http://www.infrabim.fi/yiv2015/> Luettu 1.3.2016
- 15 NTRIP. 2009. German Federal Agency for Cartography and Geodesy Esite. 1.7.2009. Verkkodokumentti [http://www.bkg.bund.de/nn\\_147094/Shared-Docs/Download/EN-BrochFly/BKG-NTRIP-Brochure-EN,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/BKG-NTRIP-Brochure-EN.pdf](http://www.bkg.bund.de/nn_147094/Shared-Docs/Download/EN-BrochFly/BKG-NTRIP-Brochure-EN,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/BKG-NTRIP-Brochure-EN.pdf) luettu 23.3.2016
- 16 Kauhan kalibrointi. 18.3. 2015 Opetusvideo. Leica Scanlaser. <https://www.youtube.com/watch?v=ci7IJZ8g6PA> katsottu 12.3.2016
- 17 LandNova-ohjelmistosimulaattori. 2015. Novatron Oy.
- 18 Inframodel 3 -käyttöön-ohje. 25.10.2013 Verkkodokumentti. PRE Finland Inframodel-työryhmä. <http://www.infrabim.fi/wp-content/uploads/2014/04/Inframodel3-kayttoohje.pdf> Luettu 28.5.2016
- 19 Yleiset inframallivaatimukset 2015. Osa 6 Järjestelmät. 5.5.2015 Verkkodokumentti bSF. <http://www.infrabim.fi/yiv2015/> Luettu 15.3.2016
- 20 SmartNet. Verkko-RTK palvelusite. 2016 Verkkodokumentti. Leica Geosystems. [http://fi.smartnet-eu.com/verkko-rtk\\_146.htm](http://fi.smartnet-eu.com/verkko-rtk_146.htm) Luettu 4.6.2016
- 21 BuildingSMART Finland inframallintamisen kehittämisfoorumiksi. 1.15.2014. Verkkodokumentti. RYM Oy. <http://rym.fi/fi/buildingsmart-finland-inframallintamisen-kehittamisfoorumiksi/> Luettu 23.3.2016
- 22 RYM Oy, bSF Infra. 2015. Tietomallintaminen infra-alalla. InfraBIM-tiedotuslehti. Libris Oy. Helsinki. 2015.
- 23 Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi. Verkkodokumentti. 2016. InfraBIM. <http://www.infrabim.fi/vaatimukset-ja-ohjeet/> Luettu 23.3.2016
- 24 Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi. Verkkodokumentti. 2016. InfraBIM. <http://www.infrabim.fi/yiv2015/> Luettu 23.3.2016
- 25 Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi. Verkkodokumentti. 2016. InfraBIM.. <http://www.infrabim.fi/inframodel/> Luettu 23.3.2016
- 26 InfraBIM-foorumi. InfraBIM ohjekokonaisuus päivitetty. 2016. Verkkodokumentti. <http://www.infrabim.fi/iso-askel-infrabim-ohjekokonaisuus-paivitetty/> Luettu 28.5.2016

- 27 Kilpeläinen Pekka, Nevala Kalervo, Tukeva Pirkka, Rannanjärvi Leila, Näyhä Tuomo, Parkkila Tommi. Älykäs tietyömaa. 2004. VTT Tiedotteita 2255. Verkko-dokumentti. VTT. [www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2255.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2255.pdf) Otamedia Oy. Espoo.
- 28 Heikkinen Antti. 2015. Koneohjauksen toteutusmallit. Opinnäytetyö. Rovaniemen AMK.
- 29 Palviainen Petteri, Laiho Jarmo. 2015. Destia Oy. Suullinen tiedonanto.
- 30 Laiho Jarmo. 2016. Työmaapäällikkö. Destia Oy. Suullinen tiedonanto.
- 31 Häkkinen Auri. 2014. Työmaanhallintajärjestelmä tuo tehoa infratyömaalle. Verkko-dokumentti. Rakennuslehti 28/2014. <http://www.digipaper.fi/rakennuslehti/124795/index.php?pgnumb=13>
- 32 Infrakitin verkkosivut. <http://infrakit.com/fi/> Luettu 26.4.2015
- 33 Infrakitin käyttöohjeisto. Yleistä Infrakit.com ohjelmistosta. 27.1.2015 Verkko-dokumentti. Infrakit wiki. <http://wiki.infrakit.com/doku.php?id=fi:general> Luettu 26.4.2016
- 34 Infrakitin käyttöohjeisto. Koneenohjausjärjestelmät. 22.9.2014 Verkkodokumentti. <http://wiki.infrakit.com/doku.php?id=fi:mcs> Luettu 28.4.2016
- 35 Infrakitin käyttöohjeisto. Kansiot ja tiedostot. 16.1.2015 Verkkodokumentti. Infrakit wiki. [http://wiki.infrakit.com/doku.php?id=fi:adding\\_folders\\_and\\_files](http://wiki.infrakit.com/doku.php?id=fi:adding_folders_and_files) Luettu 28.4.2016
- 36 Infrakitin käyttöohjeisto. Toteumatiedot ja hyväksyntä. 21.1.2015 Verkkodokumentti. Infrakit wiki. <http://wiki.infrakit.com/doku.php?id=fi:asbuilts> Luettu 28.4.2016
- 37 3D-system Oy. 3D-Win Maastomalliohje versio 6.2. 12/2015.
- 38 InfraBIM –nimikkeistö v. 1.6. 18.4.2016. Verkkodokumentti. bSF. [http://infrabim.fi/infrabim\\_nimikkeisto/InfraBIM\\_nimikkeisto\\_v1\\_6.pdf](http://infrabim.fi/infrabim_nimikkeisto/InfraBIM_nimikkeisto_v1_6.pdf) Luettu 22.5.2016
- 39 Inframodel 4 – Uudet ominaisuudet. 5.4.2016. verkkodokumentti. bSF. [http://www.infrabim.fi/wp-content/uploads/2014/04/Inframodel\\_4\\_uudet\\_osat.pdf](http://www.infrabim.fi/wp-content/uploads/2014/04/Inframodel_4_uudet_osat.pdf) Luettu 28.5.2016
- 40 Infrakitin käyttöohjeisto. Karttanäkymä. 16.5.2016. Verkkodokumentti. Infrakit wiki. [http://wiki.infrakit.com/doku.php?id=fi:map\\_view](http://wiki.infrakit.com/doku.php?id=fi:map_view) Luettu 15.6.2016

- 41 Infrakitin käyttöohjeisto. Koneohjausjärjestelmät. Verkkodokumentti. Infrakit wiki. 16.5.2016 <http://wiki.infrakit.com/doku.php?id=fi:mcs> Luettu 21.6.2016
- 42 Infrakitin käyttöohjeisto.Koneohjausjärjestelmät. Verkkodokumentti. Infrakit wiki. 16.5.2016 <http://wiki.infrakit.com/doku.php?id=fi:mcs> Luettu 21.6.2016
- 43 Suntio Ville. 2016. Kehityspäällikkö. Destia Oy. Suullinen tiedonanto.
- 44 InfraBim-sanasto. [www.infrabim.fi/wp-content/uploads/2013/10/InfraBIM\\_Sanasto\\_0-7.pdf](http://www.infrabim.fi/wp-content/uploads/2013/10/InfraBIM_Sanasto_0-7.pdf) 1.8.2014 luettu 7.11.2016