

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Rakennustekniikka  
Infratekniikka ja maa- ja kalliorakentaminen

Toni Helin

# **Inframallipohjainen koneohjaus laadunvarmistuksen työkaluna**

Opinnäytetyö 2015

## Tiivistelmä

Toni Helin

Inframallipohjainen koneohjaus laadunvarmistuksen työkaluna, 41 sivua, 1 liite  
Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennustekniikka

Infratekniikka ja maa- ja kalliorakentaminen

Opinnäytetyö 2015

Ohjaajat: Yliopettaja Tuomo Tahvanainen, Saimaan ammattikorkeakoulu, kehittämisspäällikkö Miia Asikainen, Liikennevirasto

Tietotekniikan, laitteiden ja järjestelmien nopea kehittyminen ovat saaneet aikaan suuren muutoksen konservatiivisena pidetyn infrastruktuurirakentamisen parissa. Työtä tehdään yhä enenevässä määrin automaatiota ja viimeisintä suunnittelu- ja mittaustekniikkaa hyödyntäen. Mallipohjainen suunnittelu ja koneautomaation hyödyntäminen infrastruktuurin rakentamisessa ovat yleistyneet ja pilotti kohteita on toteutettu vuosi vuodelta enemmän. Näin on kerätty kokemuksia uusien tekniikoiden käytöstä, opittu niiden käyttöä ja kehitetty infra-alaa eteenpäin. Samalla perinteisemmistä tavoista toteuttaa hankkeita on vähitellen alettu luopumaan.

Tämä opinnäytetyö tehtiin Liikenneviraston Hankkeet -toimialalle osaksi Tilaajan laadunhallinnan ja toimitusketjun laaduntuottokyvyn kehittäminen -projektia. Tavoitteena oli selvittää inframallipohjaisen koneohjauksen käytön riskejä ja hyötyjä laadunvarmistuksen työkaluna.

Opinnäytetyö toteutettiin keräämällä taustatietoa Liikennevirastosta, inframallintamisesta, laadun määrittelystä, koneohjauksesta ja VT5 Mikkelin kohta – hankkeesta pääosin erilaisista julkaisuista, asiakirjoista, diplomitöistä ja väitöskirjoista. Taustatiedon kartoittamisen jälkeen tehtiin sähköpostitse kyselytutkimus, jonka avulla kartoitettiin kokemuksia ja näkemyksiä inframallipohjaisen koneohjauksen käytöstä laadunvarmistuksessa.

Työn lopputuloksena syntyi käsitys, että inframallipohjainen koneohjaus on myönteinen asia kaikille infrahankkeissa toimiville osapuolille. Hyötyjä havaittiin runsaasti. Kehittämistä tarvetta havaittiin olevan etenkin sen suhteen, miten jatkossa kerätty data tallennetaan ja arkistoidaan sekä miten hankinta-asiakirjoissa huomioidaan koneohjauksen ja mallinnuksen käyttö. Työssä havaittiin myös tarve edelleen edistää avoimien tiedostomuotojen käyttöä sekä edelleen kehittää jo käytössä olevia järjestelmiä ja niiden tarkkuutta ja havainnollisuutta. Myös mittausdatan entistäkin ajantasaisempi toimittaminen tilaajalle havaittiin tärkeäksi.

Asiasanat: koneohjaus, laadunvarmistus, inframalli, kehitys

## **Abstract**

Toni Helin

Infrastructure Modeling and Machine Automation when Ensuring Quality of Infrastructure Constructing, 41 Pages, 1 Appendix

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Civil Engineering

Civil Engineering

Bachelor's Thesis 2015

Instructors: Mr. Tuomo Tahvanainen, Principal Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences, Ms. Miia Asikainen, Development Manager, Finnish

Transport Agency

Earlier conservative infrastructure constructing has changed much when information technology, devices and systems have developed at high speed. When constructing infrastructure, we use more and more automation and the latest possible planning and measuring technology. Year after year in Finland there has been more pilot projects using this new technology. Pilot projects have collected experiences of using new methods and learned how to get more benefits of that technology. This has developed infrastructure constructing. At the same time needs of using traditional methods have decreased.

The study was commissioned by Finnish Transport Agency. The study is part of a bigger developing project of Finnish Transport Agency with the purpose to develop of quality management. The objective of the study was to find out benefits and risks when using infrastructure modeling and machine automation in infrastructure constructing and in quality management.

The information for this study was gathered from documents, publications and higher thesis. After collecting information about the basics of infrastructure modeling, quality of construction, machine automation and the project of Highway 5 Mikkelin kohta there was an inquiry for the parties involved in with that project. The purpose of the inquiry was to find out opinions, experiences and benefits of this new technology and new methods. The inquiry method was an email.

The final result of this thesis was that using machine automation and infrastructure modeling is positive development for everyone. Numerous benefits were found. Based on the findings it is clear that there are lot of needs to develop the methods to handle and save and file all information when a project has ended. In purchasing documents it is important to notice using models and machine automation. An important finding was to continue developing of open formats in systems and develop systems further. Developing real time officiating results of surveying data for order was an important result too in this thesis.

Keywords: Infrastructure modeling, machine automation, development, quality management

## Sisältö

Termistö.....	5
1 Johdanto.....	6
2 Liikennevirasto.....	6
3 Laatu ja laadunvarmistus.....	8
3.1 Laadun määritelmä.....	8
3.2 Laadunvarmistus ja laadunvarmistusmenettelyt laatuvastuurakentamisessa.....	9
3.3 Tekninen laatu.....	11
4 Inframalli.....	11
4.1 Inframalli yleisesti.....	11
4.2 Infra FINBIM -työpaketti inframallien hyödyntämiseen.....	13
4.2.1 Taustaa.....	13
4.2.2 Infra FINBIM -työpaketin tavoitteet.....	14
4.2.3 InfraBIM-nimikkeistö.....	15
4.2.4 Inframodel.....	16
5 Koneohjaus.....	16
5.1 Koneohjauksen toimintaperiaate.....	16
5.2 Koneohjaus työkoneissa.....	17
5.3 Koneohjausjärjestelmän kontrollimittaukset ja kalibrointi.....	17
6 Inframallipohjaisen koneohjauksen laadunvarmistus.....	18
6.1 Olemassa oleva tierakenteiden laadun ohjeistus.....	18
6.2 Toteumatieto ja tarketieto.....	18
6.3 Toteutusmalli ja työkoneiden tarketieto työmaalla.....	21
7 VT5 Mikkelin kohta.....	22
8 Laadunvarmistusprosessi Mikkelin hankkeella.....	23
8.1 Inframalli ja koneohjaus hankinta-asiakirjoissa.....	23
8.2 Laadunvarmistusprosessi.....	24
8.3 Työkoneautomaatiojärjestelmän ja GNSS-tukiaseman tarkastusmittaukset.....	26
8.4 Datat hallinta.....	27
9 Kyselytutkimus.....	27
9.1 Kysymykset ja vastaukset.....	27
9.2 Vastausten yhteenveto.....	32
10 Johtopäätökset, inframallien ja koneohjauksen tulevaisuus.....	33
10.1 Esiin nousseet hyödyt ja haasteet.....	34
10.2 Hankinta-asiakirjoissa huomioitavia asioita.....	36
11 Pohdinta.....	37
11.1 Mittaushenkilöstön tarve työmailla jatkuu.....	37
11.2 Toimintoja on tulevaisuudessa standardoitava.....	38
11.3 Koneohjauksen käyttö laajenee.....	38
11.4 Analyysi opinnäytetyöprosessista.....	38
Kuvat.....	39
Taulukot.....	39
Lähteet.....	40

## Liitteet

- Liite 1 Kysely inframallipohjaisen koneohjauksen hyödyntämisestä hankkeen laadunvarmistuksessa

## Termistö

BEM-portaali	Projektipankki, johon tallennetaan hankkeen tietoja
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> , maailmanlaajuinen satelliittimittausjärjestelmä, joka hyödyntää GPS-satelliittijärjestelmän lisäksi muita satelliittijärjestelmiä
Infra FINBIM	Infra-alan tulevaisuuden innovaatiopohjainen toimitusketju
Inframalli	Infrarakenteen koko elinkaaren aikainen digitaalinen 3-ulotteinen mallipohjaisten tietojen kokonaisuus.
Inframodel	Suomalainen, kansainväliseen LandXML-standardiin perustuva infradatan siirtoon kehitetty formaatti
Koneohjaus	Maanrakennuksessa käytettävä järjestelmä, joka koostuu työkoneeseen liitetyistä paikannuslaitteista, antureista ja tietokoneesta. Järjestelmä mahdollistaa koneen työterän ohjaamisen automaattisesti tai manuaalisesti kuljettajan toimesta
LandXML-standardi	XML-pohjainen formaatti, jota käytetään infran tiedonsiirtoon suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa
Lean-periaate	Asiakaslähtöinen prosessijohtamisen malli, jolla tavoitellaan hukan vähentämistä ja läpimenoajan lyhentämistä.
Maastomalli	Kolmiulotteinen malli maaston pinnanmuodoista
PRE	<i>Built Environment Process Re-engineering</i> , suom. tietomallintamista hyödyntävät liiketoimintaprosessit.
RTK	<i>Real Time Kinematic</i> , reaaliaikainen kinemaattinen mittaus, jossa laskennat voidaan suorittaa reaaliajassa ja jolloin mitattujen pisteiden koordinaatit saadaan heti mittaushetkellä. Mittauksessa tunnetulla pisteellä olevan vastaanottimen ja kartoitusvastaanottimen välille tarvitaan tiedonsiirtoyhteys.
SHOK	Strategisen huippuosaamisen keskittymä
Suunnitelmamalli	Inframallikokonaisuuden osa, jossa esitetään rakenteiden suunnitteluratkaisut.
Tietomalli	Digitaalisessa muodossa oleva rakennelman 3-ulotteinen esitystapa ominaisuustietoineen

Toteutusmalli	Inframallikokonaisuuden osa, jossa suunnitelmamallista on kirjoitettu koneohjauksen käyttöön soveltuva pinnat osoittava 3-ulotteinen malli.
Toteumamalli	Inframallikokonaisuuden osa, jossa tarketieto on yhdistetty suunnitelmamalliin.
Tuotemalli	Malli, joka sisältää jäsennellysti tietoa esimerkiksi tierakenteen geometriasta, käytetyistä materiaaleista, varusteista ja niiden ominaisuuksista
Ylläpitomalli	Inframalli, johon on koottu tietoa rakenteiden ylläpito- ja korjaustoimenpiteistä.
XML	<i>eXtensible Markup Language</i> , tietotekninen merkin- täkieli, jossa tiedon merkitys on kuvattavissa.

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on laadittu Liikenneviraston Hankkeet -toimialalle osaksi suurempaa Tilaajan laadunhallinnan ja toimitusketjun laaduntuottokyvyn kehittäminen -projektia. Työn tavoitteena on kartoittaa inframallipohjaisen koneohjauksen hyötyjä ja riskejä laadunvarmistuksen työkaluna sekä sen tulevaisuuden mahdollisuuksia. Työssä käydään läpi laadun ja laadunvarmistuksen määritelmät sekä kerrotaan VT5 Mikkelin kohdan kokemuksista koneohjauksen hyödyntämisessä laadunvarmistuksessa. Opinnäytetyön lopputuloksena ovat ehdotukset ja visiot koneohjauksen jatkokäytöstä maanrakennustöissä sekä huomioida sen riskeistä laadunvarmistuksen osalta.

## 2 Liikennevirasto

Liikennevirasto on Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalaan kuuluva julkinen asiantuntijaorganisaatio, joka työllistää noin 650 asiantuntijaa. Liikenneviraston tehtävinä on mm. vastata valtion tie- ja rataverkosta sekä viraston hallinnoimista vesiväylistä. Liikennevirasto vastaa suurten tiehankkeiden toteuttamisesta ja ratojen sekä vesiväylien suunnittelusta, ylläpidosta ja rakentamisesta. Keskeisiä tehtäviä ovat myös liikennejärjestelmän kokonaisvaltainen kehittäminen sekä Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskusten toiminnallinen ohjaus. (1.)

Liikenneviraston strategian toiminta-ajatuksena on mahdollistaa toimivat, tehokkaat ja turvalliset matkat ja kuljetukset. Visiona vuoteen 2025 on fiksut väylät ja älykäs liikenne. Strategian mukaan toimivilla ja turvallisilla kuljetusreiteillä edistetään Suomen kilpailukykyä. Liikenneviraston valintoja ohjaavat erityisesti elinkeinoelämän palvelutarpeet. Liikkumisen halutaan olevan turvallista ja helppoa. Liikenneviraston toiminnassa vastuullisuus ja tehokkuus sekä innovointi ovat tärkeitä. Vastuullisuutta ja eettisyyttä varmistetaan palveluntuottajien kannustamalla ja ohjeistamalla. Eri toimialojen rajojen ylittävä yhteistyö koetaan Liikennevirastossa hyväksi tavaksi toimintatapojen ja palveluiden kehittämisessä. (2.)

Liikenneviraston tavoitteena on edistää infrarakenteiden tuotetietomallintamista. Tällä pyritään tehostamaan suunnittelu- ja rakentamisprosessien sekä lopputuotteen elinkaaren hallintaa. Liikennevirasto pyrkii vauhdittamaan alan sovel- luskehitystä ja uusien menetelmien hyödyntämistä. Hankkeet -toimialan strate- gisissa painopisteissä halutaan antaa palveluntuottajille mahdollisuus uusiin innovaatioihin ja kehitystyöhön. (3;4;5.)

Tiedon puutteellinen siirtyminen rakennushankkeissa on suurin yksittäin syy hukan syntymiseen. Mallintaminen mahdollistaa paremman tiedon siirtymisen suunnittelusta toteutuksen kautta omaisuuden hallintaan. Tiedon tehokkaalla käytöllä pyritään saavuttamaan säästöjä mm. materiaali- ja työmenekeis- sä.(3;6.)

Mallintamisessa yksi merkittävimmistä hankkeista on Suomessa ollut RYM Oy:n Infra FINBIM -työpaketti. Inframallintamisen käyttöönottoa edistetään edellyttä- mällä 1.5.2014 jälkeen käynnistyneissä hankkeissa Inframodel 3 - tiedonsiirtoformaatin käyttämistä. Lisäksi Infra FINBIM -lähtötietomalliohje ohjaa lähtötietojen jäsentelyä hankesuunnittelussa 1.5.2014 lähtien. Liikenneviraston johto on myös sitoutunut edistämään tietomallinnuksen käyttöönottoa.(3;4;6). Infra FINBIM -työpaketti ja Inframodel3-formaatti esitellään tarkemmin luvussa 4.2.

## 3 Laatu ja laadunvarmistus

### 3.1 Laadun määritelmä

Ensio Saarenpään väitöskirjassa Rakentamisen hyvä laatu (Oulun yliopisto 2010) on käsitelty laatua rakentamisessa. Saarenpää kertoo muun muassa, että laatu käsitteenä on varsin tulkinnanvarainen ja tarkastelunäkökulmasta riippuva, mutta lähtökohdiltaan universaali ja sovellettavissa kaikkeen toimintaan.(7, s. 29.)

Usein laadulla käsitetään kyky täyttää asiakkaan tarpeet ja vaatimukset ja sillä tavoitellaan virheettömyyttä. Saarenpää kuitenkin toteaa laadusta virheettömyyden olevan vähemmän tärkeää kuin oikeiden asioiden tekeminen, sillä tekijän näkökulmasta tarkasteltu tuote voi olla täydellinen, mutta asiakas kokee tuotteen olevan epäkäytännöllinen tai muulla tapaa itselle sopimaton.(7, s. 32.)

Saarenpään mukaan laatu koetaan nykyään virheettömyyden tavoittelun sijaan enemmänkin yritysten ja organisaatioiden laaja-alaiseksi kehittämiseksi, jonka tavoitteena on parantaa liiketoiminnan kannattavuutta, asiakkaiden tyytyväisyyttä sekä organisaatioiden kilpailukykyä. Näin ollen laatu tarkoittaa kaikkea organisaation tai yrityksen toimintaa. Koska maailma muuttuu jatkuvasti, tehdään uusia innovaatioita ja kilpailijoiden toiminta ja markkinat muuttuvat, on laatu käsitteenä Saarenpään mukaan jatkuvasti muuttuva. Kuitenkin rakentamisen osalta Saarenpää toteaa virheettömyyden olevan erityinen haaste ja virheettömyyden merkitsevän osaamista ja kyvykkyyttä. (7, s. 32.)

Saarenpää kertoo työmaiden keskeisenä ongelmana olevan puutteellinen johtamisote ja määrämuotoinen tekeminen. Osaamista edellytetään, kun työmaalla kohdataan ennalta arvaamattomia tilanteita, ja kyvykkyyttä toimittaessa jatkuvasti muuttuvissa olosuhteissa ja pyrittäessä ymmärtämään asiakkaan tarpeet sekä ennakoimaan nämä tarpeet. Toisaalta rakentamisessa myös oikea-aikaisuus on merkittävä vaatimus.(7, s. 148.) Tämä on huomioitu myös yleisissä sopimusehdoissa (YSE 1998), joissa on määritelty sanktioita, mikäli työmaa ei etene tai valmistu aikataulun mukaisesti. Myös vastaavuus on keskeistä rakentamisessa. Vastaavuudella tarkoitetaan sitä, että rakennettu kohde on rakennettu suunnitelmia ja ohjeita noudattaen.(8.)

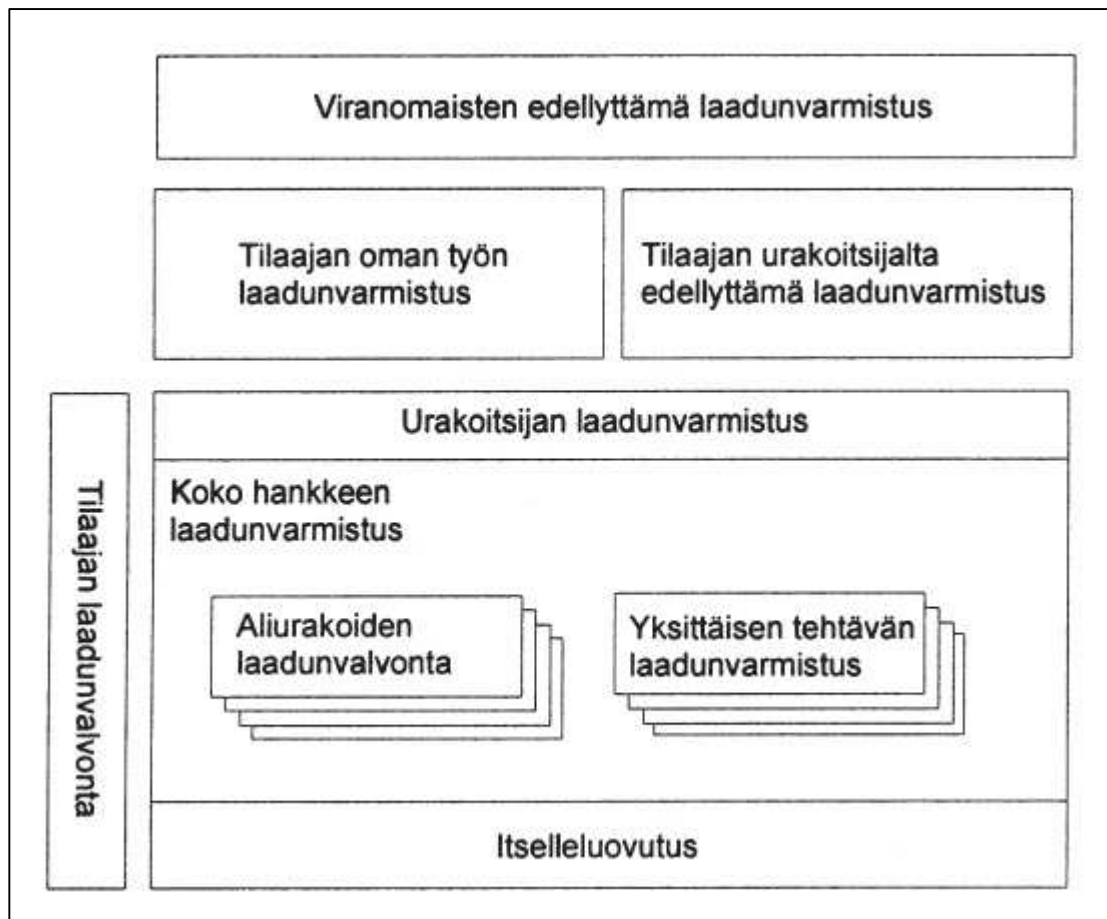


Ensio Saarenpää esittelee väitöskirjassaan erilaisia laadun näkökulmia. Näitä ovat, valmistus-, tuote-, arvo-, kilpailu-, asiakas- ja ympäristölaatu. Valmistuslaadussa painopisteenä on valmistaa tuote tuotantomääräysten mukaisesti. Valmistusprosessia kehittämällä ennakoidaan ja vältetään virheitä. Tuotelaatu puolestaan korostaa suunnittelun osuutta tuotteen laadun määrittämisessä. Arvolaadulla ajatellaan korkeimman laadun olevan tuotteella, joka antaa parhaan arvon sijoitetulle pääomalle. Jos laatua ajatellaan kilpailulaatuna, on laatu riittävä, jos se on yhtä hyvää kuin kilpailijoilla. Jos laatu on parempaa kuin kilpailijoilla, on tuotettu ylilaatua ja näin tuhlatu resursseja. Jos tuote tyydyttää asiakkaan tarpeet ja odotukset, on laatu hyvää asiakaslaadun näkökulmasta tarkasteltuna. Ympäristölaadussa tarkastellaan tuotteen koko elinkaarta ja resurssien käyttöä suunnittelusta tuotteen käyttöön loppuun asti.(7, s. 33–34.)

Saarenpään mukaan käytännön toiminnassa kaikki edellä esitetyt näkökulmat ovat edustettuina. Hyvin toimiva organisaatio ei käsittele laatua erillisenä toimintona, vaan huomioi laadun kaikessa toiminnassaan systemaattisesti. Suoritus-ten jatkuva parantaminen on osa laatutoimintaa. Uudet innovaatiot ja teknologian kehittäminen koko arvoketju huomioiden ovat välttämättömiä, jotta tällä hetkellä laadullisesti hyväksi koettu ei muutaman ajan päästä tunnu laadullisesti huonolta.(7, s. 34.)

### **3.2 Laadunvarmistus ja laadunvarmistusmenettelyt laatuvarmistamisessa**

Kuvassa 1 on esitetty rakennushankkeen laadunvarmistukseen vaikuttavat tahot. Koko hankkeen laadunvarmistus perustuu nykyään Liikenneviraston urakoissa laatuvarmistamisen periaatteeseen. Tällä tarkoitetaan, että urakoitsija toteuttaa itse tilatun laadun ja varmistaa sen toteutumisen sekä raportoi laadusta tilaajalle.(9;10.)



Kuva 1 Työmaan laadunvarmistuksen tahot(10.)

Urakoitsija laatii tilaajalle tilaajan urakoitsijalta edellyttämän laadunvarmistussuunnitelman sekä sovitusta rakenteista ja yksittäisistä töistä tehtäväkohtaiset työ- ja laatusuunnitelmat. Suunnitelmissa esitetään käytettävät rakennus- ja laadunvarmistusmenetelmät.(9.)

Urakoitsijan laadunvarmistus jakautuu työmaata koskeviin ja yksittäisiä tehtäviä koskeviin toimenpiteisiin. Tehtäviä ovat mm. mittaukset, tarkastukset ja katselmukset, joita urakoitsija suorittaa työmaalla. Rakennettua rakennetta todennetaan mittauksin ja mahdolliset poikkeamat raportoidaan tilaajalle.(9.)

Urakoitsija esittää laatimassaan laatusuunnitelmassa, miten hankkeen tavoitteet ja vaatimukset täytetään. Urakoitsijan laadunvarmistussuunnitelmassa kerrotaan, miten urakoitsija dokumentoi laadunvarmistustoimenpiteet ja kuka toimenpiteistä vastaa. Huomioitavaa on, että pääurakoitsijan on saatava käyttöönsä sivu-urakoitsijoiden laatusuunnitelmat, jotta työmaan johtovelvollisuudet on mahdollista hoitaa asianmukaisesti. Itselleluovutus on tärkeä osa urakoitsijan

laadunvarmistusta. Yleiset sopimusehdot velvoittavat itselleluovutukseen ja velvoite koskee kaikkia urakkasopimuksia. Tällöin aliurakoitsijoidenkin on tehtävä itselleluovutus ennen työkohteen luovuttamista eteenpäin.(9.)

Tilaaajan laadunvalvonta on laatuvastuurakentaminen -periaatteen mukaisesti pääosin urakoitsijan laadunvalvontaprosessin toimivuuden varmistamista. Yleensä tilaajaa laadunvalvonnassa ja rakennuttamisessa avustaa laadunvalvontatyötä toteuttava valvontakonsultti. Rakenteiden laadunvalvonnan lisäksi valvontatehtäviin kuuluu työmaan liikenteenjärjestelysuunnitelmien ja muiden turvallisuuteen vaikuttavien suunnitelmien tarkastaminen ja noudattamisen valvonta.(9.)

### **3.3 Tekninen laatu**

Koska tämä opinnäytetyö keskittyy koneohjauksella suoritettun rakentamistyön eli teknisen työn laadunvarmistukseen työmaalla, on määriteltävä tekninen laatu. Teknisellä laadulla tarkoitetaan sitä, että toteutettu työ vastaa sitä, mitä suunnitelmat, urakkasopimus ja hyvä rakennustapa edellyttävät.(11.)

## **4 Inframalli**

Tässä luvussa esitellään lyhyesti inframalli ja taustat sille, miksi se on haluttu ottaa yleisesti käyttöön myös maanrakennusalalla. Luvussa kerrotaan inframallintamisen kehitystyöstä ja tahoista, jotka kehitystyöhön ovat osallistuneet sekä sitellään Infra FINBIM -työpaketti ja sen lopputuloksena syntynyt InfraBIM-nimikkeistö.

### **4.1 Inframalli yleisesti**

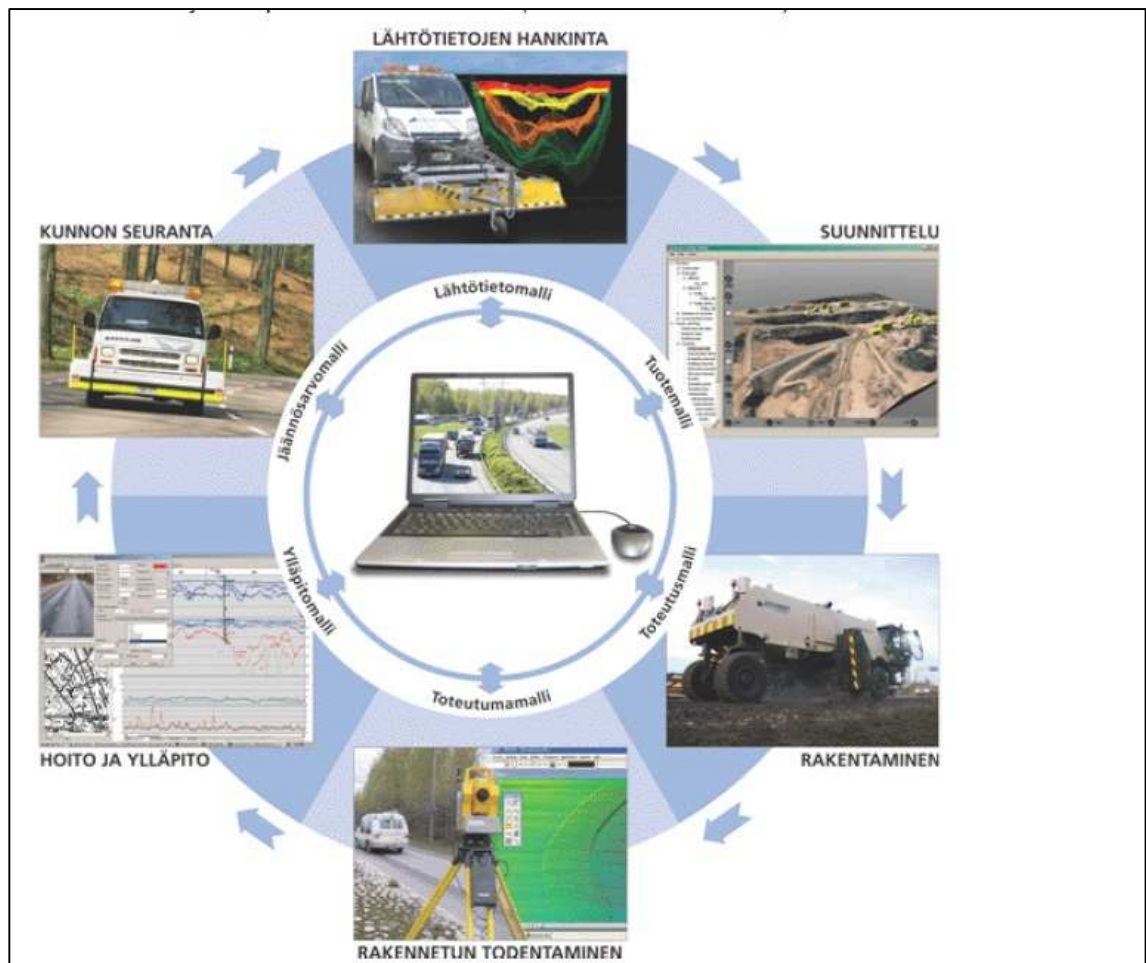
Inframallilla tarkoitetaan infrarakenteen koko elinkaaren aikaista digitaalista tietokokonaisuutta. Inframallissa esimerkiksi tie on määritelty ja esitetty geometrialtaan kolmiulotteisesti. Kun rakenteesta on tehty tuotemalli, mallin tietoja voidaan tarkastella erilaisina näkyminä, esimerkiksi kolmiulotteisina visualisointeina tai kaksiulotteisina piirustuksina. Kun inframalliin on tallennettu rakenteen suunnittelu- ja toteutustiedot, voidaan niitä hyödyntää myöhemmin ylläpitäjän toimesta suunniteltaessa ja ennakoitaessa rakenteiden korjaustarpeita.(12.)

Inframallia voidaan ajatella erilaisten mallien kokonaisuutena. Kuvassa 2 on esitetty inframallin eri vaiheet suunnittelusta hankkeen elinkaaren loppuun. Ennen suunnittelua kerätään lähtötietoja kuten maastomalli, tehdään maaperätutkimuksia, kartoitetaan alueella jo olevat rakenteet ja mahdolliset rakentamisen esteet.(12.)

Suunnitteluvaiheessa laaditaan esimerkiksi tiestä malli, jota kutsutaan tuotemalliksi. Rakennusvaiheessa käytetään toteutusmallia, jonka pohjalta rakentaminen toteutetaan. Toteutusmalli on työkalu, jonka mukaan tietä voidaan rakentaa koneohjausta käyttäen.(12.)

Rakennettaessa tietä, rakenteista otetaan tarkemittauksia, joilla todennetaan rakennettua. Tästä datasta muodostetaan toteumamalli. Toteumamalli kertoo, millainen tie tuli rakennettua.(12.)

Tien valmistuttua sitä on hoidettava ja ylläpidettävä. Ylläpitomalliin kerätään tietoa toimenpiteistä, mitä tielle on tehty ja milloin. Tien kunnon seurannassa puolestaan muodostuu jäännösarvomalli, minkä pohjalta voidaan ryhtyä suunnittelemaan tarvittavia korjaustoimenpiteitä.(12.)



Kuva 2. Inframalli suunnittelusta hankkeen elinkaaren loppuun.(12.)

## 4.2 Infra FINBIM -työpaketti inframallien hyödyntämiseen

### 4.2.1 Taustaa

Suomessa halutaan panostaa innovaatiojärjestelmän nopeaan uudistumiseen. Tämän vuoksi on perustettu strategisen huipputaamien keskittymiä (SHOK). Keskittymiä on perustettu Suomen kilpailukyyn kannalta tärkeimmille toimialoille. Kiinteistö- ja rakennusalan huipputaamien pääomasijoitusyhtiö RYM Oy perustettiin vuonna 2009. RYM Oy:llä on 53 osakasta ja yhtiö sijoittaa julkisten innovaatio-rahoittajien ja yritysten rahoitusta ja tietotaitoa rakennusalan kilpailukyyn kannalta merkittävimpiin tutkimusaiheisiin. Tutkimuksella tavoitellaan ylivoimaista maailmanluokan osaamista rakennetun ympäristön elinkaarelle. RYM Oy:n toimintaan kuuluu mm. ennakoitiedon tuottaminen, tutkimusrahoituksen hankinta ja kehittäminen, tutkimusohjelmat, kansainvälinen verkostoituminen sekä yhteistyö muiden SHOK-yhtiöiden kanssa.(13.)

RYM Oy:n osakkeenomistajat ovat sijoittaneet yhtiöön 2 275 000 euroa. Osakkeenomistajiin kuuluu rakennus- ja kiinteistöalan yhtiöitä, kuten esimerkiksi Destia Oy, Skanska Oy, YIT Oy ja Lujatalo Oy. Osakkaina on myös julkisia toimijoita kuten Liikennevirasto ja Senaatti-kiinteistöt sekä neljä kaupunkia, Espoo, Helsinki, Tampere ja Lahti. Myös yliopistoja ja ammattikorkeakouluja on osakkaina mm. Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy ja Tampereen teknillinen yliopisto.(14.)

Vuosina 2010–2013 RYM Oy toteutti ensimmäisen tutkimusohjelmansa, PRE-ohjelman (Built Environment Process Re-engineering). Ohjelman budjetti oli 21 miljoonaa euroa ja siihen osallistui 37 yritystä ja 6 tutkimuslaitosta. Ohjelman tavoitteena oli luoda kiinteistö-, rakennus-, ja infra-alalle uusia toimintatapoja ja liiketoimintamalleja. Tavoitteisiin pääsemiseksi on pyritty kehittämään käyttäjä-lähtöisempiä toimintatapoja, jotka perustuvat tuotemallipohjaiseen tiedonhallintaan. Tuotemallipohjaista tiedonhallintaa on kehitetty siten, että se soveltuisi kiinteistöjen, infrarakenteiden ja yhdyskuntien koko elinkaaren hallintaan. PRE-ohjelmassa on kuusi erilaista työpakettia, joista tämän opinnäytetyön kannalta merkittävin on ollut Infra FINBIM – infra-alan tulevaisuuden innovaatiopohjainen toimitusketju.(15.)

#### **4.2.2 Infra FINBIM -työpakettien tavoitteet**

RYM Oy:n PRE-ohjelman Infra FINBIM – työpakettien visiona on ollut, että vuodesta 2014 lähtien Suomen suuret infrastruktuuria hallinnoivat tahot tilaavat vain inframallipohjaista palvelua. Systemisellä muutoksella pyritään siirtymään vaiheajattelusta älykkääseen hankkeen elinkaarta ja osa-alueita sekä toimijoita kattavaan inframallipohjaiseen palvelutuotantoon. Tavoitteena on hankkeiden mallipohjainen tilaaminen, toteuttaminen ja omaisuuden hallinta. Työpakettien veturiyrityksenä toimi VR Track Oy. Mukana oli myös 14 muuta rakennus- ja suunnittelualan toimijaa sekä ohjelmistotoimittajaa.(16.)

Infra FINBIM:n budjetti oli noin 6 miljoonaa euroa. Työpaketti koostui kolmesta alatyöpakettista. Alatyöpaketteja ovat hankintamenettelyiden kehittäminen, rajapintojen ja standardien kehittäminen sekä suunnittelun ja rakentamisen uudet prosessit. Tämän opinnäytetyön kannalta merkittävää on ollut erityisesti Inf-

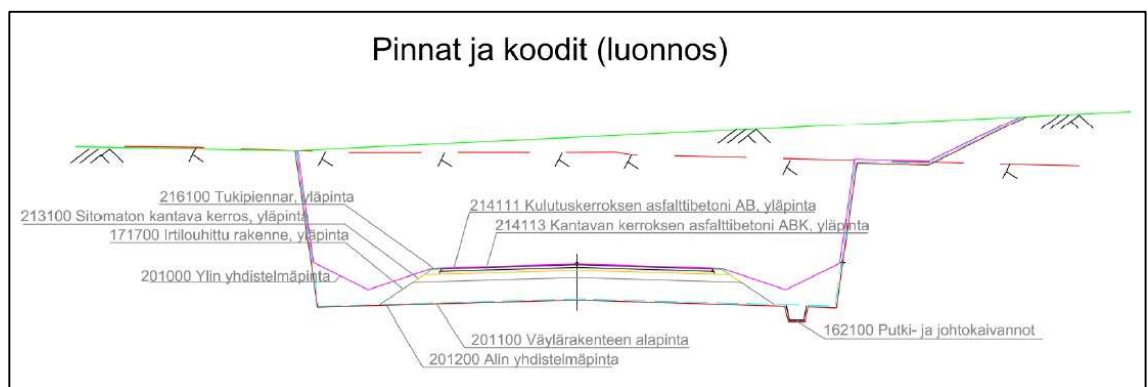
raTM-hankkeessa valmistellut ja sittemmin Infra FINBIM – työpaketissa kehitetyt ja laaditut Infra FINBIM-mallinnusohjeet.(16.)

Yleiset inframallivaatimukset (YIV 2015) julkaistaan Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunnan (buildingSMART Finland (bSF)) toimesta 5.5.2015. Vaatimukset pohjautuvat Infra FINBIM hankkeessa kehitettyihin mallinnusohjeisiin. Ohjeita on tarkoitettu käytettäväksi hankkeiden yleisinä teknisinä viiteasiakirjoina ja inframallinnuksen ohjeina. Ohjeita aiotaan päivittää ja täydentää kerätyn palautteen pohjalta. Päivityksiä tehdään myös, koska inframallintamista standardisoidaan lähivuosina kansainvälisellä tasolla.(17.)

#### 4.2.3 InfraBIM-nimikkeistö

InfraBIM-nimikkeistö on laadittu osana Infra FINBIM-työpakettia. (BIM = Building Information Model). Nimikkeistössä esitetään infrarakenteiden ja -mallien numerointi- ja nimeämiskäytännöt väylärakenteiden eli teiden, katujen, ratojen ja vesiväylien osalta. Nimikkeistöllä laajennetaan Infra2006 Rakennusosanimikkeistöä.(18.)

Nimikkeistö keskittyy väylärakenteiden geometrian kuvaamiseen. Nimikkeistön mukaan väylärakenne kuvataan rakennepintoina. Rakennepinnat koostuvat nimitystä taiteviivoista. Huomionarvoista on, että leikkauksissa mallinnetaan alapinta ja rakennekerroksissa ja pengerrakenteissa rakennusosan yläpinta. Kuvassa 3 näytetään esimerkki nimikkeistön käytöstä kalliroleikkaukseen rakennettavasta tiestä ja sen rakenneosista.(18.)



Kuva 3. Esimerkki InfraBIM-nimikkeistöstä.(18.)

#### **4.2.4 Inframodel**

Suomalainen kansainväliseen LandXML-standardiin perustuva Inframodel on infradatan siirtoon kehitetty formaatti. Tällä hetkellä käytössä on formaatin kolmas kehitysversio, Inframodel 3 eli lyhyemmin IM3. Formaattia hyödynnetään jo useissa suunnitteluohjelmissa ja mittaus- sekä koneohjaus- ja tarkastussovelluksissa. Liikennevirasto edellyttää formaatin käyttöä kaikissa hankkeissa. Vaatimus koskee tilaajalle eli Liikennevirastolle luovutettavaa aineistoa. Tällä varmistetaan, että data on avoimessa muodossa. Näin dataa voivat tarvittaessa käyttää kaikki hankkeen jatkosuunnitteluun osallistuvat tahot. Myös suurempien kaupunkien kuten Tampereen ja Helsingin on aikomus siirtyä formaatin käyttöön.(19.)

## **5 Koneohjaus**

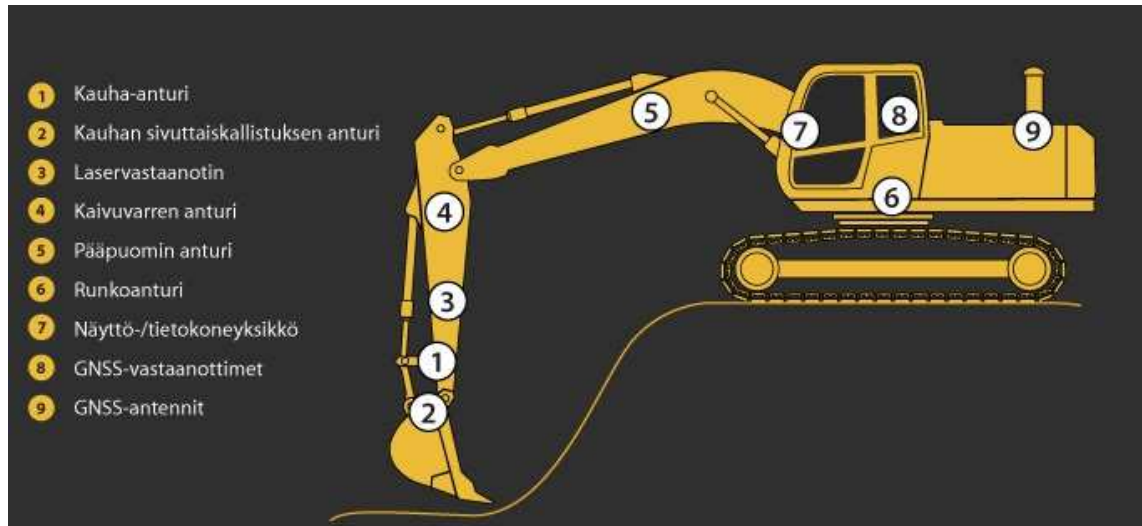
### **5.1 Koneohjauksen toimintaperiaate**

Koneohjauksella maanrakennuksessa tarkoitetaan järjestelmää, joka koostuu työkoneeseen liitetyistä paikannuslaitteista, antureista ja tietokoneesta. Tämä järjestelmä mahdollistaa koneen työterän ohjaamisen automaattisesti tai manuaalisesti kuljettajan toimesta. Esimerkiksi kaivinkoneessa edellä mainittuja antureita on asennettu useita, jotta koneen kaikki liikkeet ja koneen osien sijainti toisiinsa nähden voidaan paikantaa. Kuvassa 4 on esitetty esimerkkinä kaivinkoneeseen asennetut anturit.(20;21.) Tarkemmittausten osalta kaivinkoneen kauhaan on määritelty yleensä kolme mittauspistettä, kauhan oikea ja vasen reuna sekä kauhan keskelle. Mitattaessa tarkepisteitä kaivinkoneella, koneen kuljettaja valitsee koneen näyttöruudulta em. pisteistä parhaiten tilanteeseen sopivan.(22.)

3D-koneohjaus mahdollistaa työskentelyn ilman mittaushenkilöstön toteuttamaa kohteiden maastoonmerkintää. Koneohjausta käytettäessä myös työmaakorko on aina tiedossa, jolloin ei tarvita enää erillistä sihtilappujen asentamista tai tasolaserlaitteiden käyttöä. Kuljettaja pystyy seuraamaan kauhan liikkeitä suunnitelmiin nähden työkoneessa olevalta näyttöruudulta, mikä vähentää myös tarpeettomien liikkeiden tekemistä työkoneella. Koneohjaus perustuu joko taky-



metri- tai RTK-GNSS-satelliittipaikannuksella. Viimeksi mainitulla päästään senttimetriluokan tarkkuuteen, kun maassa olevan tukiaseman tai verkkokorjauspalvelun avulla tuotetaan koneelle korjaussignaalia.(20;21.)



Kuva 4. Kaivinkoneen koneohjauksen anturit ja vastaanottimet.(21.)

## 5.2 Koneohjaus työkoneissa

Koneohjausta on kehitetty useisiin erilaisiin maarakennusalan työkoneisiin. Useimmiten koneohjausta on käytetty esimerkiksi kaivukoneissa ja takymetriohjattuna tiehöylissä. Murskeenlevittimet ja stabilointi- ja asfalttijyrsimet on mahdollista yhdistää koneohjaukseen samoin kuin tiivistyskalusto eli jyrät. Tunnelityömailla porausjumboissa on koneohjaus yleisesti käytössä. VR Track Oy on käyttänyt koneohjausta mm. sepelinpuhdistuskoneissaan.

## 5.3 Koneohjausjärjestelmän kontrollimittaukset ja kalibrointi

Koneohjausjärjestelmät mahdollistavat työmaan kartoittamisen ja toteuman mittaamisen. Tämä edellyttää koneohjausjärjestelmien kalibrointia ja tarkkuuden kontrollointia. Kalibroinnissa koneen tietokoneelle tallennetaan vastaanottimien tarkka sijainti suhteessa koneen puomiin ja pyörintäkeskipisteeseen, jolloin tietokone voi laskea työterän kulloisenkin sijainnin koordinaatistoon.(22.)

Työmaalle voidaan rakentaa erillisiä kiinteitä kontrollipisteitä esimerkiksi tankkauspaikan lähistölle. Koneen terä asetetaan pisteelle ja koneohjausjärjestelmän antamia sijaintitietoja verrataan kontrollipisteen tietoihin. Vaihtoehtoinen

tapa on mitata mittaushenkilöstön toimesta terän sijainti GNSS – laitteella tai takymetrillä ja verrata mittaustulosta koneohjausjärjestelmän antamiin tietoihin. Jos tarkkuusvaatimukset eivät täyty, syy selvitetään ja kone kalibroidaan uudelleen. Koneiden kauhat ja terät on tallennettu kalibrointeina järjestelmään, josta koneen kuljettaja valitsee käyttämänsä työvälineen.(22.)

## **6 Inframallipohjaisen koneohjauksen laadunvarmistus**

### **6.1 Olemassa oleva tierakenteiden laadun ohjeistus**

InfraRYL ei nykyisellään ota kantaa koneohjauksen käyttöön työmaalla. InfraRYL edellyttää, että jakavan ja kantavan kerroksen sekä päällystekerrosten taso eli korkeus ja leveys tarkistetaan 20 metrin välein. Rakenteiden tasaisuutta sekä muotoa ja sivukaltevuutta InfraRYL edellyttää mitattavan ja dokumentoitavan 100 metrin välein. Edellisestä poiketen moottoriteillä pitäisi mitata 20 metrin välein ja katurakenteissa vähintään 20 metrin välein.

Kantavuutta InfraRYL edellyttää tierakenteissa mitattavan keskimäärin 100 metrin välein ajoratakohtaisesti sekä pientareelta, jos pientareen leveys on vähintään 1,5 metriä. Mikäli tiivistystyön laatua varmistetaan mittaamalla tiiviysastetta, mittauksia tehdään 150 metrin välein. Jos tiiviysmittauksissa mitataan tiivisuussuhdetta, mittaus tehdään 100 metrin välein. InfraRYL:n mukaan katselmuspöytäkirjat, laadunvalvontaraportit sekä suorituspöytäkirjat kootaan ajan tasalla pidettävään kelpoisuusasiakirjaan. InfraRYL ohjeistaa kuitenkin, että mikäli työsuorituksesta ei vaadita suorituspöytäkirjoja, on työn hyväksyminen kirjattava tarkastusasiakirjaan.

### **6.2 Toteumatieto ja tarketieto**

Toteumatieto ja tarketieto pitää erottaa toisistaan. Tarketieto on yleensä xyz-koordinaatti ja se voi olla toteumatietoa. Toisaalta toteumatieto ei aina ole tarketietoa. Toteumatieto on muutakin kuin pelkkä koordinaattitieto. Se voi pitää sisällään rakenteen kantavuustietoja, tiedon maa-aineksen tiiveydestä tai materiaaliominaisuuksia, kuten raekoon, hienoainespitoisuuden tai materiaalin lähteen tai valmistajan. Toteumatietoon voidaan yhdistää myös rakenteen rakentane-

den koneiden tiedot sekä aikataulu ja kustannustietoa. Myös poikkeamaraportti on osaltaan toteumatietoa, millä osoitetaan rakenteen olevan poikkeava suunnitellusta rakenteesta.(22.) Valokuvat, joilla todennetaan rakennettua, ovat nekin toteumatietoa. Kuvassa 5 esitetään erään rampin läheisyydessä tehtyä työtä. Kuvat on tallennettu esimerkiksi Infrakit-järjestelmään.

Kuvaus: vt5 levitys oik.  
Kuvan Id: 26050  
Päivämäärä: 23.03.2015  
Luoja: juho.kolehmainen@destia.fi

[Muokkaa](#)



Kuva 5. Esimerkkivalokuva työn etenemisestä ja dokumentoinnista.(23.) Lähde: Infrakit-järjestelmä, VT5 Mikkelin kohta.

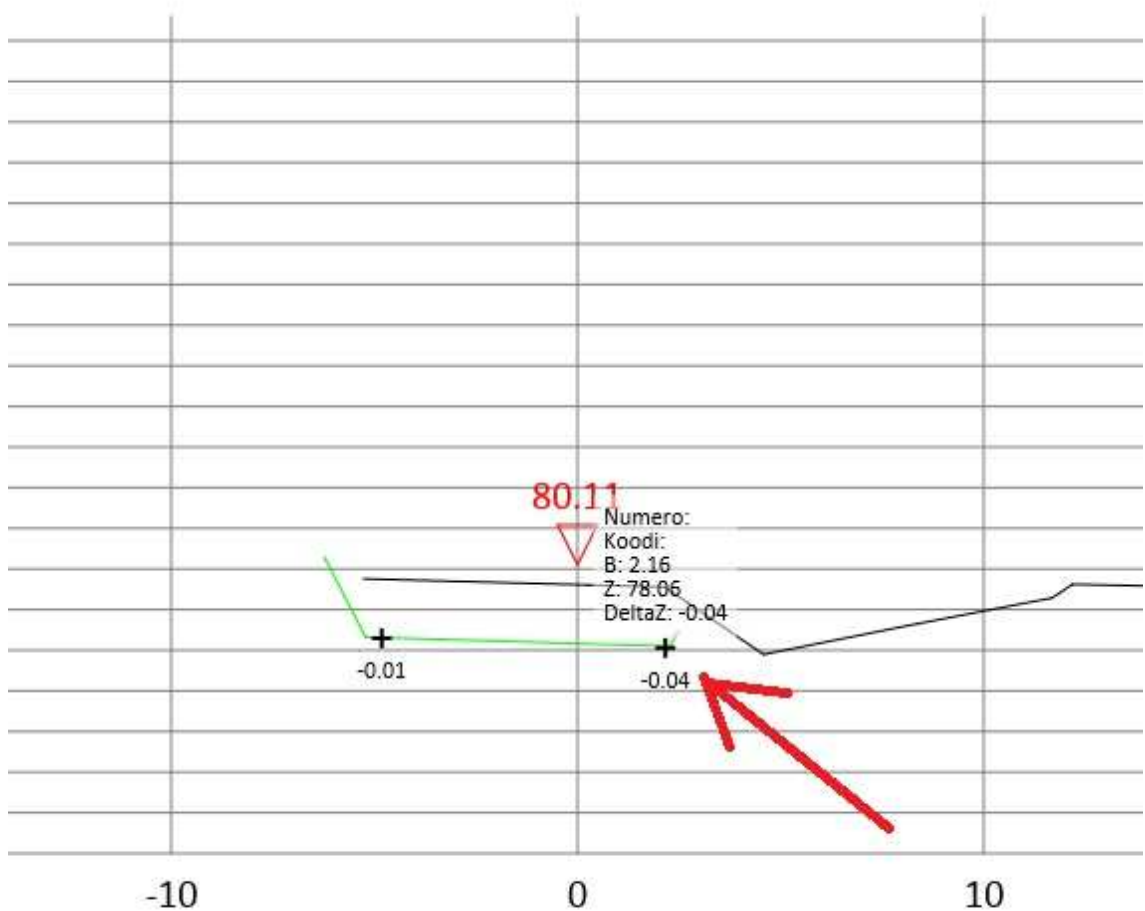
Koneohjausjärjestelmän tuottama toteumatieto on tarketietoa, koordinaattipisteitä. Tiedolla todennetaan rakenteiden taitepisteitä sekä rakenteiden ylä- ja alapintoja. Toteumatiedon kerääminen koneohjausjärjestelmällä tapahtuu asettamalla kauha mitattavaan taitepisteeseen ja tallentamalla piste järjestelmään. Menetelmiä muunlaisen toteumatiedon keräämiseen ovat mm:

- kantavuusmittaukset (Loadman, levykuormituskoe)

- materiaalien rakeisuus (seulonta laboratoriossa)

- asfaltointi (tyhjätilamittaukset, kuulamylykoe kiviaineksesta) (22.)

Kuvassa 6 on esitetty VT 5 Mikkelin kohdan hankkeesta erään rampin alimmas-  
ta yhdistelmäpinnasta kirjoitettu poikkileikkauskuva Infrakit-järjestelmässä. Ku-  
vassa vihreä viiva osoittaa suunnitellun pinnan. Musta viiva on louhetäytön  
suunniteltu yläpinta. Punaisella nuolella on osoitettu työkoneella mitattu tarke-  
piste, joka osoittaa, että kaivutyö on ulottunut mittauksen mukaan neljä senti-  
metriä suunniteltua syvemmälle. Pistein sijainti on rampin keskilinjasta 2,16  
metriä oikealla ja sen korkeusasema on +78,06.



Kuva 6. Esimerkki tarkepoikkileikkauksesta.(23.)

### 6.3 Toteutusmalli ja työkoneiden tarketieto työmaalla

Jotta työmaalla pystytään tuottamaan laatua, on työmaahenkilöstön tiedostettava tehtävänsä ja työkoneilla oltava ajantasainen malli käytettävissään. Jäljempänä tarkemmin esitellyllä VT 5 Mikkelin kohta -työmaalla toimitaan siten, että suunnittelija kirjoittaa suunnitelmamallista toteutusmallin sen mukaan, mitä työvaihetta ollaan tekemässä ja lähettää sen työmaan automaatio-operaattorille. Toteutusmalli voi koskea esimerkiksi yksittäistä ramppia tai olla suurempi kokonaisuus, jossa on useita eri ramppeja, jonkin verran päätietä, yksittäisiä kevyenliikenteen väyliä ja niin edelleen. (24.)

Mittauksesta vastaava automaatio-operaattori tarkastaa suunnittelijan toimittaman toteutusmallin. Mallia joudutaan toisinaan työmaalla editoimaan esimerkiksi taiteviivoja yhdistelemällä tai ylimääräisiä viivoja poistamalla, jotta malli toimii saumattomasti työkoneessa. (24.)

Tarkastamisen jälkeen toteutusmalli siirretään Mikkelin työmaalla langattomasti työkoneille Infrakit-järjestelmän kautta. Edellytys tämän menettelyn toimimiselle on toistaiseksi ollut, että koneissa on käytössä Novatron Oy:n koneohjauslaitteisto, sillä muiden laitetoimittajien laitteet eivät ole yhteensopivia Infrakit-järjestelmän kanssa. Joillain työmailla voi olla käytössä useampia eri laitetoimittajien järjestelmiä, josta seuraa ylimääräistä työtä, kun malli kirjoitetaan näihin järjestelmiin sopivaksi.(24.)

Työkoneiden tuottama toteumamittausaineisto siirtyy automaattisesti pienellä, muutaman minuutin, viiveellä Infrakit-järjestelmään katseltavaksi ja analysoitavaksi. (24.)

Työkoneen kuljettajien rooli on merkittävä laadun tuottamisessa. Koneenkuljettajan on seurattava mallin toteutumista ja huolehdittava toteumamittausten tekemisestä. Toisaalta ammattitaito kannustaa tarkkaan ja huolelliseen työhön.

## 7 VT5 Mikkelin kohta

Valtatie 5:n perusparannushankkeessa on käytetty inframallipohjaista koneohjausta maanrakennustöissä. Hanke toimii opinnäytetyön osalta kokemuksien keräämisen lähteenä.

Valtatie 5 on yksi Suomen merkittävimmistä pääväylistä. Hanke linkittyy myös valtatie 13:aan Pitkäjärvi-Kaihun eritasoliittymän kautta. Perusparannushankkeen pituus on 4 kilometriä. Kustannusarvio on 27 miljoonaa euroa. Kuvassa 7 oleva kartta selventää kohteen sijaintia Mikkelin eteläpuolella.(25.)



Kuva 7. Kartta Mikkelin hankkeen sijainnista.(25.)

Valtatie 5:n perusparantamishankkeeseen ryhtymiseen ovat vaikuttaneet ennustetun liikennemäärän kasvaminen vuoteen 2030 1,5-kertaiseksi nykyiseen nähden. Nykyinen liikennemäärä (KVL 2011) vaihtelee perusparannettavalla tien osalla 13 300 – 21 900 autoa vuorokaudessa. Alueen eritasoliittymien vanhanaikaisuus geometrian ja standardien osalta ovat vaikuttaneet hankepäätökseen. Vuosien 2002–2011 aikana poliisin tietoon tuli 80 liikenneonnettomuutta, joista 14 johti loukkaantumiseen ja kaksi ihmisen kuolemaan. Perusparannettavaan osuuteen kuuluvalla Kaihun eritasoliittymän alueella tapahtui 57 onnettomuutta, joissa kuudessa loukkaantui ihmisiä. Koska alue on todettu turvottomaksi, laskettiin nopeusrajoitusta 80 km/h ja Kaihun liittymässä 60 km/h. Onnettomuuksien tiheydellä mitattuna perusparannettava tiejakso on ollut vilkkaista pääteistä vaarallisimpia.(25.)

Hankkeessa rakennetaan toinen ajorata välille Pitkäjärvi-Kaihu ja lisäkaistat välille Kaihu-Asema. Eritasoliittymien ramppeja parannetaan ja ajosuunnat erotetaan rakenteellisesti toisistaan, jolloin liittyminen valtatielle ja valtatieltä poistuminen helpottuvat. Ramppien katuliittymiä parannetaan. Rinnekadun korkeusasemaa lasketaan ja se siirretään valtatie viereen. Kevyen liikenteen yhteyksiä parannetaan ja melusuojuuksia rakennetaan Urpolan koulun sekä tien varren asutuksen kohdalle. Pursialan pohjavesialue suojataan ja hulevedet johdetaan pohjavesialueen ulkopuolelle. Alueelta poistetaan myös pilaantuneita maa-aineksia.(25.)

## **8 Laadunvarmistusprosessi Mikkelin hankkeella**

### **8.1 Inframalli ja koneohjaus hankinta-asiakirjoissa**

Liikennevirasto on tehnyt tarjouspyynnön Valtatie 5 parantamisesta Mikkelin kohdalla 13.6.214. Kirjeessä urakoitsijalta edellytetään laatusuunnitelma, jossa tulee olla esitys, kuinka mallinnusta ja koneautomaatiota aiotaan hankkeella hyödyntää eri rakenteiden toteuttamisessa. Tämän lisäksi suunnitelmassa edellytetään esitys, kuinka koneautomaation käyttö eri rakenteiden toteuttamisessa, ohje hankkeen laadunraportoinnista valokuvineen sekä BEM-portaalin tarjoama laadunraportointimahdollisuus on huomioitu laatumittausten toteuttamisessa ja laadun raportoinnissa. Laadun raportointimenettelyitä on arvioinnissa painotettu 2 %.(26.)

Tarjouksen osalta tilaaja arvioi kuinka hyvin laadunvalvonnassa ja -raportoinnissa urakoitsijan menettelyt ja resurssit mahdollistavat lopputuotteen laadun ja ajantasaisen laadun raportoinnin. Pisteytys tehdään toiminta- ja laatusuunnitelman perusteella. Pisteytyksessä huomioidaan em. näkökulmat ja tarjouksia vertaillaan taulukossa 1 esitetyn skaalan mukaan. Kaavassa 1 on esitetty vertailupisteiden laskentakaava.(26.)

Arviointitekijä	Pisteet	Kriteerit ja perusteet	
<b>Laadun varmistus- ja raportointimenettelyt</b>			
<b>Täyttää kriteerit</b>	Erinomaisesti	10-9	Kehittävä ote laadunraportoinnissa. Menettely mahdollistaa ajantasaisen raportoinnin. Riittävät resurssit.
	Hyvin	8-7	Kuten yllä, mutta jotain puuttuu. Riittävät resurssit.
	Tyydyttävästi	6-5	Tavanomaiset toimintatavat. Ajantasaisuus hiukan ontuu. Resurssit kohtuulliset.
	Melko tyydyttävästi	4-3	Kuten alla, mutta jotain uutta. Niukat resurssit.
	Huonosti	2-0	Menettelytavat keskittyvät laadun osoittamiseen hankkeen lopussa. Vähäiset resurssit

Taulukko 1. Laadun varmistus- ja raportointimenettelyiden arviointiskaala.(26.)

$$\frac{\text{Tarjoajan saama pistemäärä}}{\text{Paras tarjottu pistemäärä}} \times \frac{2}{100} \times 1000 \text{ pistettä} \quad (1)$$

(26.)

## 8.2 Laadunvarmistusprosessi

Valtatie 5:n perusparannushankkeessa Mikkelin kohdalla laadunvarmistus muodostuu neljästä päävaiheesta. Ensin tarkastetaan suunnitelumallista kirjoitetun toteutusmallin oikeellisuus ja dokumentointi. Tällä varmistetaan mallin laatu ja hyödyntämiskelpoisuus rakentamisessa. Tarkastus tehdään työmaalla mittauspäällikön ja automaatio-operaattorin toimesta. Tarkastettu malli siirretään palvelimelle. Palvelimelta malli saadaan työkoneiden ja mittaushenkilöstön käyttöön. Malleja voidaan tarkastella Infrakit-järjestelmän kautta.(27;28.)

Työkoneautomaatiojärjestelmän ja GNSS-tukiaseman tarkkuutta seurataan säännöllisesti ennalta sovituin määrävlein. Tarkastusten tulokset dokumentoidaan. Dokumentit tallennetaan projektipankkiin, jotta niin työnjohto kuin tilaajan eli Liikenneviraston edustajat voivat niitä tarkastella. Tarkastuksilla varmistetaan, että järjestelmät toimivat vaaditulla tarkkuudella, jotta rakenteiden toteutuminen tapahtuu suunnitelmien mukaisesti. Taulukossa 2 on esitetty koneohjausjärjestelmällä toteutettujen rakenteiden tarkkuusvaatimukset. Tarkastustyöstä vastaavat työmaan mittauspäällikkö ja automaatio-operaattori.(27;28.)



Työkoneautomaatiojärjestelmällä suoritetaan toteutumamittauksia. Tällä toteutetaan työnaikaista rakenteiden mittatarkkuuden laadunvalvontaa. Näin saadaan myös tieto työn etenemisestä.

Työkoneautomaation toteutumamittauksia varmistetaan tekemällä toteutetuista rakenteista takymetrillä tai GNSS-mittalaitteilla perinteisiä tarkemittauksia. Tällä pyritään tuomaan esiin laatupoikkeamat tai järjestelmäviat, jolloin korjauksia voidaan tehdä mahdollisimman nopeasti. Peittyvistä rakenteista otetaan lisäksi valokuvia noin 100 metrin välein. Kuvat tallennetaan Infrakit-järjestelmään. Valokuvauksen suorittaa työnjohto tablet-tietokoneilla. Taulukossa 3 on esitetty takymetrillä tai GNSS-mittalaitteella tehtävien tarkemittausten mittausväli.(27;28.)

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

Taulukko 2 Koneohjausjärjestelmällä toteutettujen rakenteiden tarkkuusvaatimukset.(27.)

Väylän vaakageometria	Mittausväli [m]
Suora (alusrakenne)	200
Kaarresäde > 3000	200
3000 < Kaarresäde < 2000	100
Kaarresäde < 2000	50
Suora tai kaarresäde > 2000 (välikerros ja kantavakerros)	100
Kaarresäde < 2000 (välikerros ja kantavakerros)	50

Taulukko 3. Takymetrillä tai GNSS-mittalaitteella tehtävien tarkemittausten mittausväli.(27.)

### 8.3 Työkoneautomaatiojärjestelmän ja GNSS-tukiaseman tarkastusmittaukset

Mikkelin hankkeella työkoneautomaatiojärjestelmän tarkastuksella varmistetaan, ettei koneen työterän paikannustarkkuus ylitä taulukossa 2 esitettyjä rakennesakohtaisia tarkkuusvaatimuksia. Tarkkuus tarkistetaan aina, kun työkone otetaan käyttöön ensimmäistä kertaa työkohteessa ja siitä eteenpäin viikoittain. Kantavan kerroksen viimeistelytyössä käytettävät GNSS-paikannuksella toimivat tiehöylät ja jyrät tarkastetaan vähintään kaksi kertaa työvuoron aikana tai 2 krt/km/rakennekerros.

Tarkastus tehdään työmaan koordinaatistossa. Tarkastus voidaan tehdä kolmella eri menetelmällä. Työkoneen (kaivinkone) terä voidaan mitata takymetrillä tai GNSS-mittalaitteella tai asettamalla koneen työterä tunnetulle mittapisteelle. Tiehöylän terä mitataan molemmista päistään ja jyrän osalta mitataan valssin alareuna. Tulosta verrataan mittalaitteen antamiin koordinaatteihin tai tunnetun pisteen koordinaatteihin. Mikäli havaitaan taulukossa 2 olevien raja-arvojen ylittävä virhe, suoritetaan automaatiojärjestelmän kalibrointi. Tarkastuksesta laaditaan raportti. Raporttiin kirjataan työkone, tarkastuksen ajankohta, koordinaattien poikkeamat ja mittausmenetelmä ja sen tarkkuustiedot.

Tarkastusmittauksen suorittaa mittauksista vastaava tai automaatio-operaattori yhdessä koneenkuljettajan kanssa. Työnjohto seuraa tarkastusten tuloksia. Kantavan kerroksen rakentaminen GNSS-ohjatusti on todettu käytännön olosuhteissa riittävän tarkaksi, jolloin ei tarvitse käyttää takymetrimittausta. Tällöin työn tuottavuus kasvaa, koska takymetriä ei tarvitse alati olla siirtämässä ja orientoimassa.(28;29.)

GNSS-tukiaseman tarkastamisella varmistetaan, ettei tukiasema ole päässyt siirtymään alustuksen jälkeen ja että se toimii normaalisti. Tukiaseman sijainti mitataan takymetrillä kerran kuukaudessa ja aina kun on epäily sen siirtymisestä. Mittaustulokset kirjataan tarkastusraporttiin. Tukiaseman raportoitavaa tarkkuuden seuranta toteutetaan viikoittain mittaamalla siihen yhteydessä olevalla mittalaitteella tunnetun koordinaattipisteen koordinaatit. Tarkkuutta mita-

taan päivittäin ilman raportointia. Koneen kuljettaja havaitsee käytännössä välittömästi tukiaseman mahdollisen liikahtamisen tai toimimattomuuden.(28;29)

## **8.4 Datan hallinta**

Mikkelin hankkeella hyödynnetään Infrakit-järjestelmän lisäksi BEM-portaalia toteutumien dokumentoinnissa. BEM-portaali on projektipankki, jonne tallennetaan lähes kaikki urakan tiedot. Maarakenteiden laadunvarmistuksen kannalta merkittävimpiä ovat takymetrillä tehdyt tarkemittaukset, loadman-laitteella tehdyt painumamittaukset sekä käytettyjen maa-ainesten tarkastuspöytäkirjat.

## **9 Kyselytutkimus**

Tässä opinnäytetyössä haluttiin selvittää VT 5 Mikkelin kohta -hankkeessa toimineiden osapuolten kokemuksia ja näkemyksiä inframallipohjaisen koneohjauksen hyödyntämisessä laadunvarmistuksessa. Selvitystyö toteutettiin tekeillä lomakepohjainen strukturoitu kvalitatiivinen kysely.

Kysymyksiä laadittaessa tavoitteena oli muutamalla kysymyksellä saavuttaa käsitys inframallipohjaisen koneohjauksen riskeistä, mahdollisuuksista ja tulevaisuuden näkymistä sekä kerätä vastaajien näkemyksiä, miten tilaaja voi kehittää hankinta-asiakirjojaan inframallipohjainen koneohjaus huomioiden, ja toisaalta, ovatko käytetyt raportointimenetelmät olleet toimivia ja kuinka laatu ja laadunvalvonta ovat työmailla toteutuneet. Kysymykset vastauksineen on käsitelty tarkemmin seuraavissa luvuissa.

Liitteessä 1 on kyselykaavake. Kysely lähetettiin sähköpostitse hankkeissa toimiville tilaajan, urakoitsijan, rakennuttajakonsultin ja järjestelmätoimittajan (Infrakit) edustajille.

### **9.1 Kysymykset ja vastaukset**

#### **Kysymys 1.**

*Miten tilaajan tulisi huomioida inframallipohjaisen koneohjauksen käyttö urakan hankintavaiheessa? Esimerkiksi hankinta-asiakirjoissa ja kilpailutuksen painotuksissa?*

*Tilaaajan edustajien* mukaan tarjouspyynnössä on kysyttävä, kuinka urakoitsija aikoo hyödyntää inframallia hankkeen toteuttamisessa ja laadunraportoinnissa. Koneohjauksen käyttöä halutaan pisteytyksellä arvostaa, mutta sen käyttöön ei tilaaajan mukaan voida urakoitsijaa pakottaa. Painotus riippuu hankkeista, niiden toteutusmuodosta ja laajuudesta. Koneohjauksen luotettavuus pitää osoittaa riittäväksi ja on selvitettävä, onko urakoitsijalla osaamista ja kokemusta mallin hyödyntämisestä. Tärkeäksi koetaan, että urakoitsija päivittää mallit ajantasaisiksi suunnitelmien muutosten pohjalta ja rakentamisen edetessä todellisuutta vastaavaksi.

*Urakoitsijan* mukaan on tilaaajan etu edellyttää inframallien ja koneohjauksen käyttöä etenkin infrarakenteiden työvaiheissa, kuten leikkaus- ja pengerrystöissä, kerrosrakenteissa sekä kuivatus- ja tiivisrakenteissa. Edellä mainituissa töissä koneohjaus on havaittu hyvin toimivaksi ja lisäarvoa tuottavaksi, koska se nopeuttaa rakentamista ja tuottaa parempaa laatua. Inframallipohjaisen koneohjauksen käyttö laitteiden, varusteiden ja päällysteiden rakentamisessa tai korjaamisessa tulisi huomioida hankintaprosesseissa laatupisteillä. Urakoitsijan mukaan koneohjaus on rakennusalalla yleisesti käytössä, jolloin sen vaatiminen ei ole kilpailua rajoittava tekijä. Urakoitsijan vastauksessa esiin nousi myös myönteisenä seikkana paperisten suunnitelmien toimittaminen urakoitsijalle ainakin toistaiseksi tukemaan inframallipohjaista työtä.

*Valvontakonsultin* mukaan suunnittelu pitää jatkossa toteuttaa mallipohjaisesti, mutta toisin kuin tilaaajan edustajat, konsultti edellyttäisi suunnittelijan ylläpitämään mallia rakentamisen aikana. Hankinta-asiakirjoissa pitäisi edellyttää koneohjauksen käyttöä työmaalla sekä urakoitsijan käyttämän ohjelmiston käyttöoikeutta tilaaajan ja valvonnan käyttöön. Konsultin mukaan olisi myös edellytettävä, että käytettävissä ohjelmistoissa on valvontaa varten tarketietojen tarkastustyökalut olemassa. Inframallipohjaisen rakentamisen hyödyntämisestä urakassa pitäisi olla erillinen pisteytys.

*Järjestelmätoimittaja* on myös urakoitsijan ja valvontakonsultin kanssa yhtä mieltä siitä, että tilaaajan tulee pyrkiä jatkossa mallipohjaiseen toimintaan urakan alkuvaiheessa, sillä se on oikein tilattuna ja avoimissa tiedostomuodoissa sinällään sovellettavissa koneohjaukseen.

## **Kysymys 2.**

*Mitä mahdollisuuksia ja riskejä inframallipohjainen koneohjaus tuo urakan laadunvarmistukseen?*

*Tilaaaja* kokee riskinä olevan konemittauksen tarkkuuden ja kalibroinnin puutteet. Myös liian vähäiset tarkemittaukset takymetrillä ja laitteiden puutteellinen tarkastaminen koetaan riskiksi laadukkaan työn toteutumiselle. Mahdollisuuksiksi koetaan suuri mittaustiedon määrä ja rakennetun valokuvien todentaminen sekä työn suunnittelun ja laadunvarmistuksen paranemisen ja helpottumisen, kun mahdolliset ristiriidat voidaan havaita etukäteen. Aineiston ajantasaisuutta pidetään tilaajan mukaan tärkeänä, jolloin mittausdataa pitäisi saada niin työkoneilta kuin mittaushenkilöstöltä mahdollisimman nopeasti.

*Urakoitsijan* mukaan riskiksi voidaan kokea laadunvarmistuksesta vastaavien ja laadunvarmistusta tekevien työmaan toimijoiden, eli työnjohdon, mittaushenkilöstön sekä työkoneiden kuljettajien perehdyttämisen ja sitouttamisen puutteet menetelmän hyödyntämiseen. Tällöin laadunvarmistus saattaa joiltain osin jäädä tekemättä, mutta asianmukaisen perehdyttämisen avulla riski voidaan hallita. Urakoitsijan mukaan riskejä voidaan minimoida panostamalla toteutusmallien ja työkoneiden tarkastamiseen ennalta sekä tarkastustoimenpiteiden tulosten läpinäkyvään esittämiseen. Urakoitsija kokee riskiksi suunnitelmien hallitsemisen siten, että etenkin työkoneilla olisi aina ajantasainen suunnitelma käytössä.

*Urakoitsija* kokee inframallipohjaisen koneohjauksen mahdollistavan työn paremman laadun ja tehon paranemisen. Tämä vaikuttaa urakoinnin tuottavuuteen parantavasti, mikä heijastuu hintaan ja hyödyttää siten myös tilaajaa. Inframallipohjaisen koneohjaus ja laadunvarmistus mahdollistavat urakan laadun läpinäkyvän ja reaaliaikaisen seurannan ja yksinkertaistaa laadunvarmistuksen toimintatapaa vähentämällä laatutietojen mittaamiseen, dokumentointiin ja raportointiin kuluva työmäärää.

*Rakennuttajakonsultin* mukaan inframallipohjainen koneohjaus tuo urakan laadunvarmistukseen rajattomasti mahdollisuuksia tekniikan ja ohjelmistojen kehityksessä ja yhdenmukaistuessa. Takymetrillä tehtävistä tarkemittauksista ei kon-

sultin mukaan voida luopua. Käytettävien laitteiden riittävän tiheästä kalibroinnista on huolehdittava, jotta mittausvirheiltä vältytään.

*Järjestelmätoimittaja* pitää tärkeänä laadunvarmistuksen tarkastelemisena mallipohjaisesti ja kokonaisuutena. Oleellisena pidetään suunnitelmamallin päivittämistä todellista tilannetta vastaavaksi reaaliaikaisesti tai lähes reaaliaikaisesti. Tällä mahdollistetaan kaikille hankkeen osapuolille havainnollinen näkymä tehtyihin mittauksiin ja työmaan etenemiseen ja laatuun. Työkoneiden mittaustarkkuuden säännöllistä tarkastamista pidetään välttämättömänä.

### **Kysymys 3.**

*Onko inframallipohjaista koneohjausta käytettäessä laatu toteutunut tarkemittausten perusteella riittävän hyvänä?*

*Kaikki kyselyyn vastanneet* ovat todenneet laadun toteutuneen riittävän hyvänä. Osassa vastauksia korostetaan jopa vaatimuksia parempaa laadun toteutumista perinteiseen manuaalisesti ohjattuun konetyöhön nähden. Joidenkin vastausten mukaan koneenkuljettajille on kunnia-asia tehdä mallin mukaista lopputulosta tarkasti.

### **Kysymys 4.**

*Onko käytetty tarketietojen raportointimenetelmä ollut mielestänne toimiva ja miten sitä tulisi jatkoa ajatellen kehittää? Esim. BEM-portaali ja Infrakit.*

*Tilaaajan* mukaan raportointimenetelmä on ollut tähän asti toimiva, mutta jatko koetaan vielä ”hämäräksi” tiedon tallentamisen osalta. Kehittämistarpeita koetaan olevan etenkin aineiston kokoamisessa, arkistoinnissa ja siinä, mitä tietoa mihinkin paikkaan pitäisi tallentaa. Myös mallin päivittäminen urakan päätyttyä tulisi selvittää sekä tietokanta, johon urakoiden tiedot kootaan. Tilaaja toivoo myös havainnollisuuden korostamista sekä metatiedon lisäämistä malleihin mahdollisuuksien mukaan.

*Urakoitsija* pitää tärkeänä toteumatiedon havainnollistamista esimerkiksi web-pohjaiselle karttakäyttöliittymälle työnjohdon ja tilaaajan edustajan tarkasteltavaksi, jolloin mahdollistuu nopea reagointi poikkeamiin ja virheiden välitön kor-

jaaminen sekä tuottavuuden kasvu. Laadunvarmistukseen tarvittavan tiedon eli toteutusmallin, työkoneiden mittaamien toteumapisteiden ja valokuvien dokumentointia yhteen paikkaan keskitetysti rakenneosakohtaiseen hakemistorakenteeseen pidetään tärkeänä. Urakoitsijan mukaan hankkeelle ei tuota lisäarvoa useiden laadunvarmistusjärjestelmien käyttö ja samojen tietojen dokumentointi eri paikkoihin.

*Rakennuttajakonsultin* mukaan on etukäteen tärkeätä määrittää, missä muodossa tarketietoja tallennetaan ja minne. Jatkossa olisi kaikki tieto saatava sovitussa formaatissa tietokantaa, josta se on linkitetty tieto-/inframalliin. Nyt ongelmina ovat tiedon tallentuminen useisiin eri paikkoihin ja se, että osa tiedosta vaatii jatkokäsittelyä.

*Järjestelmätoimittajan* mukaan palveluita kehitetään jatkuvasti.

## **Kysymys 5.**

*Mitä nykymuotoinen inframallipohjainen koneohjaus tuo tilaajan/valvojan suorittamaan laadunvalvontaan (seuranta, raportointi yms.)?*

*Tilaajan* mielestä inframallipohjainen koneohjaus mahdollistaa tällä hetkellä aikaisempaa paremmin ajantasaisien laadun raportoinnin ja hankkeen seurannan. Etäseurantaa pidetään hyödyllisenä, koska se vähentää, mutta ei kokonaan poista työmaakäytien tarvetta.

*Urakoitsija* kokee, että valvoja pystyy vaivattomasti tarkastelemaan ja hyväksymään kokonaisuuksia etäyhteydellä. Mikäli urakoitsija hoitaa asiat sovitusti, myös ajantasaisuus toteutuu. Inframallipohjainen koneohjaus mahdollistaa myös nopean poikkeamiin reagoimisen. Urakoitsijan mukaan toteumatiedon dokumentointi pilvipalveluun keskitetysti on mahdollista.

*Rakennuttajakonsultti* tuo myös esiin ajantasaisuuden merkityksen.

*Järjestelmätoimittaja* korostaa myös työmaan ajantasaista laadun ja etenemän seurantaa kartalla. Aiemmin laadunraportointi on tapahtunut siten, että urakoitsija on tyypillisesti toimittanut mittausraportit viikkojen ja jopa kuukausien kuluessa rakentamisesta ja yleensä epähavainnollisessa taulukkomuodossa ja suu-

remmissä hankkeissa poikkileikkaus- ja karttakuvina. Tämä on järjestelmätoimittajan mukaan ollut erittäin työlästä. Nykyinen järjestelmä mahdollistaa mitaustulosten lisäämisen järjestelmään perinteistä toimintatapaa vähemmällä työmäärällä.

## **Kysymys 6.**

*Mihin suuntaan inframallipohjaisen koneohjauksen käytön tulisi kehittyä ja millaisia mahdollisuuksia tämä antaisi jatkossa (esim. työmenetelmät, mittaukset, automaatio)?*

Kysymykseen vastanneet nostettiin esiin seuraavanlaisia asioita:

- mittaustarkkuuden parantaminen
- mittausaineiston automaattinen siirto malliin
- malleihin mukaan puuttuvat rakenneosat kuten varusteet, laitteet ja valmiit rakenteet
- manuaalinen työ vähenee ja työ automatisoituu
- rakentaminen kehittyy kohti teollista prosessia lean-periaatteella
- prosessit on standardoitava
- urakoitsijalle standardi, jolla pystyy osoittamaan luotettavan datan tuotamiskyvyn
- koneohjauksen hyötyjä asfaltoinnissa on tutkittava
- lisää koneita ja laitteita koneohjauksen piiriin
- koneenkuljettajan rooli kasvaa, pääsee näkemään poikkeaman ja korjaamaan sen sekä hoitaa valokuvaamisen
- mobiililaitteet kehittyvät tukemaan työn johtamista
- avoimien tiedostomuotojen käyttöönotto ja eri toimijat integroituvat
- tilaajan jatkettava avoimien tiedostomuotojen kehityksen tukemista ja ohjattava alaa yhteistoiminnan kehityksen mahdollistamiseksi.

## **9.2 Vastausten yhteenveto**

Vastausten perusteella inframallipohjainen koneohjaus koetaan yleisesti myönteisenä kehityksenä infra-alalla. Jatkossa suunnittelutyö pitäisi tehdä mahdolli-



suuksien mukaan mallipohjaisesti. Koneohjauksen edellyttämistä kaikissa suuremmissa hankkeissa pitäisi edistää ja sen käyttöä tulisi arvostaa kilpailutuksen pisteytyksessä. Suunnittelumallin päivittäminen toteumamalliksi on jatkossa sisällytettävä joko urakoitsijan tai suunnittelijan tehtäväksi. Inframallipohjaisen laadunvarmistuksen hyötyjä ovat etenkin parempi laatu, mahdollisuus seurata työmaan etenemistä ja laadun toteutumista reaaliaikaisesti. Reaaliaikaisuuden toteutumisessa suuri vastuu on urakoitsijalla, joka pitää sitouttaa tehtävään. Kaikilla hankkeen osapuolilla tulee olla pääsy ohjelmistoihin, joihin tarketietoa tallennetaan ja ohjelmistoihin pitää sisällyttää tarkastus- ja hyväksyntätyökalut. Työmaan etenemisen ja laadun toteutumisen seuranta etäpäätteillä on koettu käytännölliseksi ja se on vähentänyt tilaajan edustajien tarvetta olla paikalla itse työmaalla.

Inframallipohjaisen rakentamisen riskeiksi koetaan edelleen epävarmuus mitaustarkkuudesta, mutta kokemusten mukaan tarkkuuteen ja laatuun ollaan oltu tyytyväisiä. Jatkossa riskien minimointia voidaan toteuttaa henkilöstön huolellisella perehdyttämällä ja sitouttamisella laadun toteuttamiseen. Kalibroinneista on huolehdittava.

Jatkokehitystä vaatii etenkin urakan päättyessä laatuaineiston ja mittausdatan loppusijoitus sekä käytettyjen mallien ja niiden sisältämän tiedon arkistointi, jotta niitä voidaan jatkossa hyödyntää rakenteiden ylläpidossa ja korjauksessa. Työmenetelmien ja raportoinnin standardisointiin pitää jatkossa kiinnittää huomiota.

Tärkeäksi kehityskohteeksi koetaan avoimien tiedostomuotojen käytön edistäminen, jotta eri laite- ja ohjelmistotoimittajien tuotteet ovat yhteensopivia.

## **10 Johtopäätökset, inframallien ja koneohjauksen tulevaisuus**

Inframallin hyödyt ovat huomattavia jo suunnitteluvaiheessa, kun törmäystarkasteluilla voidaan havaita esimerkiksi jo olemassa olevien rakenteiden sekä suunniteltujen rakenteiden ristiriitaisuus toisiinsa nähden ennen rakennustyön aloittamista, jolloin mallia voidaan muuttaa tai suunnitella olemassa olevien rakenteiden siirtoa. Inframallista kirjoitettu toteutusmalli toimii koneohjauksessa

rakennustyötä ohjaavana työkaluna, jolloin koneen kuljettaja käyttää mallin antamia pintoja ja taitepisteitä oman työnsä koordinoinnissa.

Työmaalla on tärkeätä, että käytössä on epäjatkuvuuskohtista vapaa ja ajantasainen malli. Mallien revisiohallintaa pitäisi kehittää, sillä edelleen on epätietoutta sen osalta, mikä malli on viimeisin ja siten käyttökelpoinen. Epävarmoissa tilanteissa on katsottu paperisen suunnitelmapiirustuksen menevän sitovuudessaan mallin edelle. Malliin tehtyjen muutosten kirjaamista ja hyväksymismenettelyä pitäisi kehittää, jotta jokaisella mallia käyttävällä taholla olisi käytössään viimeisin versio. Koska malli myös kulkee nykyään usean välikäden kautta koneiden kuljettajille, on vaarana inhimillinen virhe, jonka myötä kuljettajalla voi olla käytössään vanhentunut versio. Mahdollisesti jatkossa mallin päivittäminen koneille tulisi tapahtua jatkossa aina pilvipalveluiden kautta automaattisesti tai ainakin ohjelmistoihin pitäisi saada muistutustoiminto mallin päivittämisestä sekä jonkinlainen koneen kuljettajan kuittaustoiminto, jolla varmennettaisiin rakentamisen tapahtuvan ajantasaisen mallin mukaisesti.

### **10.1 Esiin nousseet hyödyt ja haasteet**

Inframallipohjaisen koneohjauksen suurimmat hyödyt ovat syntyneet rakennustyön tehostumisen myötä, kun aiemmin välttämättömistä maastoonmerkintämittauksista on työmailla voitu suurelta osin luopua ja koneenkuljettaja pystyy itse seuraamaan työn etenemistä koneessa olevalta näytöltä. Koska koneen kauhan tai terän sijainti suunnitelmiin nähden on koko ajan tiedossa, voidaan välttää tarpeettomia liikkeitä, liikakaivuuta sekä täyttöjen osalta ylitäyttöä. Myös kerralla oikein tekeminen onnistuu paremmin, jolloin vältetään rakenteiden purkamiselta ja tehty rakenne saadaan samalla rakentamiskerralla oikeaan asemaan.

Koska koneohjaus on vähentänyt varsinaisten mittausalan ammattilaisten tarvetta työmaalla sitä kuitenkaan täysin poistamatta, ovat koneenkuljettajien vastuu ja ammattitaidon vaatimukset samalla lisääntyneet. Vastuu oman työn laadusta voidaan nähdä motivaatiota ja siten tehokkuutta lisäävänä. Tarve koneen kuljettajien opastamiseen työnjohdon toimesta on vähentynyt, koska mallia seuraamalla kuljettajalla on tieto, mitä hänen tulee seuraavaksi tehdä saatuaan

edellisen kohdan valmiiksi. Näin aikaa ei kulu työnjohdon odottamiseen, vaan työ voi jatkua saumatta.

Koneohjauksen mittaustarkkuus on kokemukseräisesti maanrakennustöihin riittävää, mutta esimerkiksi putkilinjojen ja muiden varusteiden tarkka paikalleenmittaus on edelleen toteutettava takymetrimittauksilla.

Mikkelin hankkeella käytössä ollut Infrakit-ohjelmisto on mahdollistanut työmaalla piiloon jäävien rakenteiden laadunvarmistuksen valokuvien avulla. Valokuvilla on voitu osoittaa, että suunnitelmien mukaiset rakenteet on toteutettu. Työmaan valvojille valokuvat ovat käytännöllinen työkalu työmaan etenemisen seuraamiseksi ilman työmaakäyntejä. Ongelmana voidaan nähdä kuitenkin kuvien sijaintitietojen puutteellisuus, sillä aina työnjohdon ottamat kuvat eivät ole latautuneet järjestelmään oikealle paikalle. Tämä on johtunut puutteellisista tai heikoista internetyhteyksistä. Lisäksi talviaikaan ja sateisina päivinä työnjohdolla on ollut ongelmia tablet-laitteiden käytössä.

Infrakitiin on myös tallennettu koneohjausjärjestelmillä tehdyt tarkemittaukset automaattisesti. Toisaalta takymetrillä tehdyt tarkemittaukset on tallennettu BEM-portaaliin eli käytössä on kaksi erillistä järjestelmää. Reaaliaikaisuus valvonnan näkökulmasta ei ole aina toteutunut, koska takymetrimittauksia ei ole säännöllisesti toimitettu BEM-portaaliin. Kuitenkin jatkossa valvontatyön reaaliaikaisuus koetaan tilaajan taholta erittäin tarpeelliseksi, jolloin mittausdatan tuottaminen tilaajan edustajien nähtävälle pitäisi tapahtua vielä nykyistä nopeammin.

Ohjelmistosta saatavaa visuaalista poikkileikkausaineistoa pidetään käytännöllisenä koneohjauksella tehtyjen tarkemittausten tarkastelussa lähinnä korkeuden osalta. Maaleikkausten osalta olennainen taitepisteiden sijainti jää kuitenkin arvoitukseksi, sillä koneohjauksella tarkepisteiden mittaaminen taitepisteestä on havaittu vaikeaksi ja jopa mahdottomaksi. Näin ollen takymetrillä tehdyt tarkemittaukset ovat ainoa keino todentaa taitepisteiden sijainti. Koska takymetrimittausten määrää on prosessikuvauksessa harvennettu, muodostaa edellä mainittu valokuvaus tärkeän osan laadun varmistamista.

Huomiota pitäisi myös kiinnittää myös mittausdatan läpinäkyvyyteen, sillä tulosten kirjoittaminen käsin jälkikäteen on periaatteessa mahdollista. Näin ollen tulevaisuudessa tilaajalle luovutettavasta mittausaineistosta tulisi mahdollisesti käydä ilmi täsmällinen mittausajankohta pistekohtaisesti, mittauksen suorittaja sekä käytetty mittalaite. Myös mittausaineiston editoinnissa tehdyt toimenpiteet voisi ehkä automaattisesti arkistoida mittapisteen tietoihin. Tiiveysmittausten osalta lienee tarpeen jatkossakin käyttää ulkopuolista konsulttia tekemään pistokoeluentoisia tarkistusmittauksia.

Nykyään mitattujen pisteiden tiedot pitävät sisällään pisteen koordinaatit (x,y,z) sekä ominaisuustiedon, mistä pinnasta piste on otettu. Esimerkkinä mainittakoon alin rakennepinta tai kantavan kerroksen yläpinta. Tulevaisuudessa pisteille voitaisiin lisätä metatietoa esimerkiksi käytetyistä materiaaleista ja niille tehdyistä toimenpiteistä rakentamisen aikana. Käytetyn murskeen vastaanottopöytäkirja voisi olla tarpeellinen liite pisteen tietoihin tai merkintä siitä, että materiaalia on tarvinnut tiivistystyön aikana kastella. Tällöin toteumamallin informaatioarvo kasvaisi nykyisestä ja sitä voitaisiin mahdollisesti hyödyntää tulevaisuudessa suunniteltaessa korjaus- tai laajennustoimenpiteitä ja mahdollisesti tutkimustyössä. Nykyisellään tarketiedoista muodostuu vain kartta, pistepilvi tai mittauspöytäkirja eikä näin ollen voida puhua kyseessä olevan varsinainen tieto-/inframalli.

## **10.2 Hankinta-asiakirjoissa huomioitavia asioita**

Jotta inframallipohjaisesta koneohjauksesta olisi mahdollisimman paljon hyötyä laadunvarmistuksessa tilaajan näkökulmasta, tulee tilaajan mahdollistaa uusien innovaatioiden testaaminen työmailla. Tilaajan pitää myös kannustaa urakoitsijoita uusien tekniikoiden käyttöön.

Tarjouspyyntöasiakirjoissa pitää jatkossakin painottaa urakoitsijan valinnassa urakoitsijan laadunvarmistus- ja raportointimenetelmiä ja huomioida tämän opinnäytetyön kyselytutkimuksen tulokset. Mahdollisuutta valvoa työmaata ja sen etenemistä sekä laadun toteutusta pitäisi enenevässä määrin pystyä tarkastelemaan etäyhteydellä. Tämä edellyttää sekä tarkemittausten että piiloon jäävien rakenteiden valokuva-aineiston mahdollisimman reaaliaikaista saatta-

mista tilaajan edustajan nähtävillä. Reaaliaikaisuutta ja etäyhteyksien käyttömahdollisuutta pitäisi näin ollen korostaa asiakirjoissa.

Mahdollisuuksien mukaan pitäisi myös pyrkiä tarketiedon tallentamisessa tilaajan kannalta keskitettyyn ratkaisuun. Tämä tarkoittaa, että tarketieto tallennetaan vain yhteen järjestelmään, josta tilaajan edustaja voi tietoa tarkastella.

Jatkossa työmaan valvojien työtä voisi helpottaa yhä visuaalisempi tarketietojen esitystapa. Tarketietojen tallentaminen toteutusmallin ja toteumamallin yhdistelmään voisi olla mahdollisesti käytännöllinen tapa tarjota tarketiedot tilaajan edustajan nähtävälle. Pitäisi myös harkita, voisiko tilaaja edellyttää urakoitsijaa käyttämään kaikissa maanrakennustoissa koneohjattua kalustoa.

## **11 Pohdinta**

### **11.1 Mittaushenkilöstön tarve työmailla jatkuu**

Olen suorittanut aiemmalla koulutusasteella maanmittausalan perustutkinnon ollen tutkintonimikkeeltäni kartoittaja. Tämä on antanut minulle näkemystä siitä, millaisia työvaiheita ja tarkemittauksia työmailla on tehtävä. Aiempaan kokemukseeni pohjautuen olen sitä mieltä, ettei työmailla voida jatkossakaan luopua kokonaan mittausalan ammattilaisten käytöstä ja perinteisestä mittalaitteistosta. Itse maanrakennustyö vaatii aiempaa vähemmän merkintämittauksia ja mittaus-työ on lähinnä tarketiedon tuottamista. Taitorakenteiden, varusteiden ja laitteiden osalta takymetrikaluston käyttö on jatkossakin välttämätöntä.

Katson koneohjausjärjestelmien olevan jatkossakin koneen kuljettajia opastavia ja ns. karkeaa tarketietoa tuottavia. Varsinainen tarkemittaus pitäisi jatkossakin toteuttaa mittaushenkilöstön toimesta, mutta mittaustiheyttä voitaisiin ehkä edelleen maanrakennustoissa harventaa tai muuttaa enemmän pistokoeluonteiseksi. Useissa nykyaikaisissa takymetreissä on valokuvausominaisuus, jolloin nyt työnjohdon tehtävänä ollut piiloon jäävien rakenteiden kuvaamista voisi ainakin jossain määrin siirtää mittaushenkilöstön tehtäväksi. Näin myös kuvien sijaintitieto olisi nykyistä tarkempaa.

## **11.2 Toimintoja on tulevaisuudessa standardoitava**

Koska tällä hetkellä inframallinnus ja laadun seuranta uusien järjestelmien avulla on kehittymässä, on järkevää olla liiemmin rajoittamatta kehitystyötä vaatimalla määrämuotoisia ohjelmistoja tai menetelmiä. Kuitenkin tulevaisuudessa tilaajan näkökulmasta asiaa tarkasteltaessa olisi hyödyllistä, jos päädyttäisiin käyttämään kaikkien työmaiden osalta samaa tai ainakin muiden järjestelmien kanssa kommunikointikykyistä ohjelmistoa. Tällöin välttyttäisiin kouluttautumiselta ja perehtymiseltä useisiin eri ohjelmistoihin, mikä tehostaisi työskentelyä ja osaltaan tämä varmistaisi laadunvarmistuksen sujuvaa hallintaa työkalujen ollessa tuttuja. Näin ollen kehityskulkua tulee ryhtyä tulevaisuudessa ohjaamaan siihen suuntaan, että laadunvarmistustyökaluista saadaan standardi, jonka mukaan toimitaan. Ohjelmistojen ja käytettyjen koneohjausjärjestelmien sujuvaan yhteiskäyttöön tulee kiinnittää tulevaisuudessa enemmän huomiota. Ohjelmistojen ja järjestelmien pitää olla yhteensopivia toistensa kanssa ja tiedonsiirron pitää olla mahdollista ja sujuvaa sekä tapahtua ilman erilaisia tietoteknisiä muunnoksia järjestelmästä ja ohjelmistosta toiseen. Tällaisella vaatimuksella varmistettaisiin, että jatkossakin markkinoilla olisi kilpailua, eivätkä yksittäiset laite- ja järjestelmätoimijat pystyisi valtaamaan markkinoita kokonaan. Näin ehkäistäisiin haittoja, joita jonkin yrityksen määräävä markkinaosuus voisi aiheuttaa tilaajalle ja veronmaksajille.

## **11.3 Koneohjauksen käyttö laajenee**

Koneohjauksen käyttö laajenee jatkossa koskemaan useampia työvaiheita yhä useammalla työmaalla tekniikan jatkuvasti kehittyessä ja kilpailussa mukana pysymisen vuoksi. Mahdollisesti jatkossa tiivistyskalusto on paitsi koneohjattua, myös tiiviysmittauksiin kykenevää. Asfaltoinnissa ja vanhan asfaltin jyrkimisessä koneohjaus yleistyy.

## **11.4 Analyysi opinnäytetyöprosessista**

Opinnäytetyön tekeminen Liikenneviraston Hankkeet toimialalle on ollut oppimisentäyteinen jakso elämässä. Työn tekemiseen ovat vaikuttaneet positiivisesti työn tilaajan taholta saatu riittävä tuki ja hyvät olosuhteet. Liikennevirasto tarjosi mahdollisuuden tehdä opinnäytetyötä virkasuhteessa, mikä mahdollisti opiskeli-

jalle taloudellisesti kohtuullisen toimeentulon ja lisäksi motivoi työn tekemiseen. Lisäksi työympäristö tietokoneineen ja muine laitteineen Liikenneviraston toimitiloissa tuki paljon opinnäytetyön tekemistä. Uudet kontaktit, joita prosessin aikana syntyi, tukenevat jatkossa työuraa.

Työn tekemisen aikana selkiintyi käsitys koneohjauksen käytöstä työmaalla, laadunvarmistuksen toimenpiteet sekä hyödyt, joita mallipohjainen suunnittelu nykyaikaiselle työmaalle antaa. Prosessin aikana opittiin paljon uutta käsitteistöä ja toimintatapoja. Työmaa- ja laatukokouksiin osallistuminen ja niissä käyty keskustelu toisaalta vahvistivat, toisaalta oikaisivat käsityksiäni asioista.

Suurin haaste opinnäytetyötä kirjoittaessa oli aiheen rajaaminen kohtuullisen kokoiseksi ja tiiviiksi kokonaisuudeksi. Kuitenkin kaiken kaikkiaan koen opinnäytetyön tavoitteiden täyttyneen kohtuullisesti. Uskon työstä olevan hyötyä toimintojen jatkokehityksessä niin työn tilaajalle kuin muille työn tekemiseen vaikuttaneille tahoille.

## **Kuvat**

Kuva 1. Työmaan laadunvarmistuksen tahot, s. 10

Kuva 2. Inframalli suunnittelusta hankkeen elinkaaren loppuun, s. 13

Kuva 3. Esimerkki InfraBIM-nimikkeistöstä, s. 15

Kuva 4. Kaivinkoneen koneohjauksen anturit ja vastaanottimet, s. 17

Kuva 5. Esimerkkivalokuva työn etenemisestä ja dokumentoinnista, s. 19

Kuva 6. Esimerkki tarkepoikkileikkauksesta, s. 20

Kuva 7. Kartta Mikkelin hankkeen sijainnista s. 22

## **Taulukot**

Taulukko 1. Laadun varmistus- ja raportointimenettelyiden arviointiskaala, s. 24

Taulukko 2. Koneohjausjärjestelmällä toteutettujen rakenteiden tarkkuusvaatimukset, s. 25

Taulukko 3. Takymetrillä tai GNSS-mittalaitteella tehtävien tarkemittausten mitausväli, s. 25

## Lähteet

1. Liikennevirasto. <http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/liikennevirasto>. Luettu 20.2.2015.
2. Liikenneviraston strategia. Liikennevirasto. [http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/liikennevirasto/tapamme\\_toimia/visio\\_strategia\\_arvot/Livi\\_strategia\\_Feb\\_2014\\_final\\_nuolet.pdf](http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/liikennevirasto/tapamme_toimia/visio_strategia_arvot/Livi_strategia_Feb_2014_final_nuolet.pdf). Luettu 20.2.2015.
3. Tietomallit. Liikennevirasto. [http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/liikennevirasto/tutkimus\\_kehittaminen/tk\\_painopistealueet/tk\\_tehokas\\_vaylanpito\\_ja\\_uudet\\_toimintamallit/tk\\_infrateema/Tietomallit](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/liikennevirasto/tutkimus_kehittaminen/tk_painopistealueet/tk_tehokas_vaylanpito_ja_uudet_toimintamallit/tk_infrateema/Tietomallit). Luettu 20.2.2015.
4. Mikä on tietomalli. Liikennevirasto. [http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat\\_suunnittelijat/tietomallit/mika\\_tietomalli](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/tietomallit/mika_tietomalli). Luettu 20.2.2015.
5. Strategian toteuman arviointi – powerpointesitys 3.11.2014. Liikennevirasto. Hankkeet toimiala.
6. Liikennevirasto edistää inframallintamisen käyttöönottoa. Liikennevirasto. [http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat\\_suunnittelijat/tietomallit/Liikennevirasto\\_edistaa\\_inframallintamisen\\_kayttoonottoa](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/tietomallit/Liikennevirasto_edistaa_inframallintamisen_kayttoonottoa). Luettu 20.2.2015.
7. Saarenpää E. 2010. Rakentamisen hyvä laatu. Väitöskirja. Oulun yliopisto.
8. Rakennusurakan yleiset sopimusehdot, YSE1998.
9. Nurmi Hannu, projektipäällikkö, Liikennevirasto. Kirjallinen tiedonanto 24.4.2015.
10. Rakennushankkeen laadunvarmistus. Rakennustieto. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020202.pdf>. Luettu 25.2.2014.
11. RT 16-11122 Maa- ja vesirakennustyön työmaavalvonnan tehtäväluettelo.
12. Tietomallit ja koneohjaus katuhankkeissa. Loppuraportti 31.12.2010. Oulun kaupunki, Tampereen kaupunki.
13. RYM Oy:n yritysesitys. <http://rym.fi/fi/yritys/>. Luettu 23.2.2015.
14. RYM Oy:n Osakasluettelo 1.12.2012. <http://rym.fi/fi/osakkaat/> Luettu 23.2.2015
15. PRE-ohjelma. RYM Oy. <http://aedesign.fi/rym/tutkimusohjelmat/PRE/index.html>. Luettu 23.2.2015.



16. Infra FINBIM -työpaketti. RYM Oy.  
<http://aedesign.fi/rym/tutkimusohjelmat/PRE/infracinbimtyopaketti/index.html>.  
Luettu 23.2.2015.
17. Yleiset Inframallivaatimukset 2015. InfraBIM. <http://www.infrabim.fi/yleiset-inframallivaatimukset-yiv-2015-julkistetaan-toukokuussa/>. Luettu 26.2.2015.
18. Infra FINBIM -nimikkeistö.
19. InfraBIM Inframallintamisen yhteistyöfoorumi.  
<http://www.infrabim.fi/inframodel-3-tiedonsiirtoformaatti-otetaan-yleiseen-kayttoon/>. Luettu 20.2.2015
20. Heikkilä J. 2012. Tietomallipohjaisen automaation kehittäminen rautatien maarakennustyöhön. Diplomityö. Oulun yliopisto.
21. Koneohjaus. Novatron Oy. <http://www.novatron.fi/fi/koneohjaus.html>. Luettu 25.2.2015.
22. Väylärakennustyömaan kerrosrakenteiden toteumatiedon tallentamisen kehittäminen. Onni Kilpeläinen. Diplomityö. Oulun yliopisto 2014.
- 23 Infrakit-järjestelmä, VT5 Mikkelin kohta.
24. Tiilikainen Jonne, automaatio-operaattori. Destia Oy Suullinen tiedonanto 22.4.2015.
25. Vt 5 Mikkelin kohta. Hankekortti. Liikennevirasto. Luettu 20.2.2015.
26. Tarjouspyyntökirje 13.6.2014. Vt 5 Mikkelin kohta. Liikennevirasto.
27. Vt 5 Toiminta- ja laatusuunnitelma. Destia Oy.
28. Mallipohjaisen laadunvalvontaprosessin kuvaus VT5, Mikkeli. Destia.
29. Jaakkola Mika. Destia Oy. Kirjallinen tiedonanto 10.3.2015.