



OULUN YLIOPISTO  
UNIVERSITY of OULU

KONETEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA

**DYNAAMISEN OHJAUSMENETELMÄN  
KEHITTÄMINEN RAUTATIEN  
TIETOMALLIPOHJASEEN  
MAANRAKENNUSTYÖHÖN**

Eija Heikkilä

Diplomityö, jonka aihe on hyväksytty  
Oulun yliopiston Konetekniikan koulutusohjelmassa 11.11.2013

Ohjaajat: Rauno Heikkilä ja Pasi Kråknäs

# TIIVISTELMÄ

Dynaamisen ohjausmenetelmän kehittäminen rautatien tietomallipohjaiseen maanrakennustyöhön

Eija Heikkilä

Oulun yliopisto, Konetekniikan koulutusohjelma

Diplomityö 2014, 118 s. + 4 s. liitteitä

Työn ohjaajat: Dosentti TkT Rauno Heikkilä ja DI Pasi Kråknäs

Diplomityön tavoitteena oli tutkia ja kehittää dynaamista ohjausmenetelmää tietomallipohjaiseen rautatien maanrakennustyöhön. Tutkimuksen ensisijaisena tarkoituksena oli kehittää prosessikuvaus tietomallipohjaisen työmaan dynaamisesta ohjausmenetelmästä sekä testata ja arvioida kaupallisten sovellusten hyödynnettävyyttä sen työkaluina. Inframodel3-tiedonsiirtoformaatin mahdollisuuksia ja kehityskohteita tutkittiin dynaamisen ohjausmenetelmän näkökulmasta.

Rautatien rakentamisen ominaispiirteisiin sekä tietomallipohjaisen toiminnan aiheuttamiin kehitystarpeisiin perehdyttiin toteuttamalla kirjallisuustutkimus sekä havainnoimalla tietomalleja hyödyntävän radanrakennustyömaan toimintaa. Rautatien maanrakennustöiden nykyisen ohjausjärjestelmän ongelmia ja kehityskohteita kartoitettiin tutustumalla radanrakennustyömaan ohjaukseen sekä suorittamalla haastattelututkimus työmaahenkilökunnalle, ohjelmistotuottajille ja muille työmaan yhteistyökumppaneille.

Dynaamisen ohjausmenetelmän periaatteisiin tutustuttiin kirjallisuustutkimuksen kautta ja löytyneiden periaatteiden pohjalta muodostettiin malli rautatien tietomallipohjaisen maanrakennustyömaan dynaamisesta ohjausmenetelmästä. Kaupallisten sovellusten ja Inframodel3-tiedonsiirtoformaatin ominaisuuksiin perehdyttiin kirjallisuuden avulla. Sovellusten ja Inframodel3-tiedonsiirtoformaatin soveltuvuutta dynaamisen ohjausmenetelmän työkaluiksi arvioitiin testaamalla niillä tietomallipohjaisen radanrakennustyömaan suunnitelma- ja toteumatiedon käsittelyä ja hallintaa.

Rautatien tietomallipohjaisen maanrakennustyömaan dynaaminen ohjausmenetelmä on reaaliaikaisesti ja voimakkaasti työmaan impulsseihin vastaavaa tietomalleja hyödyntävää kokonaisvaltaista, yhteisöllistä ja muuntumiskykyistä rakennusprojektin ohjausta. Dynaamisen ohjausjärjestelmän tehokkuus perustuu ohjaustoimenpiteiden perustana käytettävän tiedon reaaliaikaisuuteen, mikä mahdollistetaan työmaan reaaliaikaisella seurannalla ja rakentamisen edistymää mittaavien havaintojen jatkuvalla keräämisellä. Työmaan johdon nopealla reagoinnilla työmaalta tuleviin impulsseihin, kuten mittaustuloksiin, tuotantohäiriöihin ja innovaatioihin, estetään mahdollisten ongelmien kumuloituminen seuraaviin työvaiheisiin ja mahdollistetaan rakennusprosessin jatkuva kehittyminen.

Havainnoinnin ja haastattelututkimuksen vastausten perusteella radanrakennustyömailla oli tiedostettu mahdollisuudet kehittää työmaan ohjausmenetelmää ja rakentamisen prosesseja tietomallipohjaisen toiminnan avulla. Paremman aikataulu- ja resurssienhallinnan sekä toteuman- ja kustannuseurannan lisäksi haluttiin kehittää rakennusprojektien tuottavuutta, tehokkuutta ja ympäristöystävällisyyttä mm. paremman informaationhallinnan ja uusien tietomallipohjaisten työkalujen avulla. Työmaalla testatut kaupalliset sovellukset ja Inframodel3-tiedonsiirtoformaatti eivät vastanneet suoraan kaikkiin dynaamisen ohjausmenetelmän tarpeisiin reaaliaikaisesta toteumaraportoinnista, jatkuvasta laadunvarmistuksesta sekä resurssien-, aikataulun- ja kustannustenhallinnasta.

Tietomallipohjaisen radanrakennustyömaan toimintatapoja on mahdollista kehittää ja toteutettujen ohjaustoimenpiteiden vaikutuksia voi seurata reaaliaikaisesti dynaamisen ohjausmenetelmän avulla. Työntekijöiden innovoinnin mahdollistava yhteisöllinen ja dynaaminen ohjausmenetelmä kannustaa kaikkia kehittämään työmaan toimintoja omasta työtehtävästään lähtien ja saavuttamaan näin paremman tehokkuuden ja työn laadukkuuden koko rakennusprojektissa. Dynaamisen ohjausmenetelmän tehokas hyödyntäminen tietomallipohjaisella radanrakennustyömaalla edellyttää uusien tietomallipohjaisen toiminnan sekä reaaliaikaisen seurannan, laadunvarmistuksen ja ohjauksen mahdollistavien työkalujen käyttöönottoa ja kehittämistä.

*Asiasanat: Dynaaminen, tietomallipohjainen, rautatie, työmaanohjaus, innovatiivinen*

## **ABSTRACT**

Developing the Dynamic Control Method for an Information Model-based Railway Earth Moving Work

Eija Heikkilä

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Master's thesis 2014, 118 p. + 4 p. appendixes

Supervisors: Adjunct professor D.Sc. (Tech.) Rauno Heikkilä and M.Sc. (Tech) Pasi Kråknäs

The aim of this master's thesis was to develop a dynamic management method for an information model-based railway earth mowing work. The primary target was to develop a process model about an information model-based dynamic management method and research the possibilities to use the existing commercial applications as a management tools. Inframodel3- data transfer format's features and improvement needs was studied from dynamic management method's perspective.

Characteristics of railway construction and improvement needs caused by information model-based actions were studied by literature research and observing an information model-based railway construction site. The current challenges and issues that need to be improved in current management method were discovered and gathered, by researching the current management method and performing an interview to the personnel of the construction site, software producers and other project partners at the railway construction site.

Principles of the dynamic management method were studied through literature research and based on findings a process model for information model-based railway earth moving work was developed. Features of the commercial applications and Inframodel3 data transfer format were studied by literature research and the usability of them in the dynamic management method was evaluated by handling and processing information model based data with the applications.

The dynamic management method of an information model-based railway construction site means real-time and efficient reacting on impulses from construction site and construction site management that is comprehensive, communal and adaptable and utilizes information models. The efficiency of dynamic management method is based on real-time information used in management actions. This is enabled by gathering continuously real-time observations about the progress on the construction site. By construction site management's efficient reacting on the incoming impulses from the construction site such as measurement results, production disruption and innovations, prevents the accumulation of potential problems to following operation steps and also enables continuous development of the construction process.

According to the answers from interview survey and observations at the construction site the possibilities to develop the management method and construction processes with the help of information model-based actions has been recognized. In addition to better time schedule and resource management, realization and cost observation also efficiency, productivity and environmental friendliness were issues that wanted to developed with better information management and new information model-based tools. The commercial applications and Inframodel3 data transfer format tested on construction site did not fulfill all the dynamic management method's demands considering the real-time realization reports, continuous quality assurance and management of resources, time schedule and costs.

The information model-based railway construction site practices can be developed and the impacts of the implemented management measures can be observed in real-time through the dynamic management method. The collaborative and dynamic management method enables all employees to innovate and encourages them to develop all the site activities, by starting from their own tasks, leading to higher efficiency and quality of the entire construction project. Effective use of the dynamic management method at the information model-based construction site requires introduction and development of the new tools, which enables information model-based site activities as well as a real-time monitoring, quality assurance and control.

*Keywords: Dynamic, information model, railway, management, innovative*

## ALKUSANAT

Diplomityön tavoitteena oli kehittää dynaamista ohjausmenetelmää VR Track Oy:lle rautatien tietomallipohjaiseen maanrakennustyöhön ja työn aihe muotoutui keskusteluissa työn ohjaajien Oulun yliopiston tutkija dosentti Rauno Heikkilän, VR Track Oy:n ryhmäpäällikkö DI Pasi Kråknäs ja CC Infra Oy:n projektipäällikkö Teppo Rauhalan kanssa etsittäessä ratkaisuja tietomallipohjaisen työmaan ohjauksen ja sen tiedonhallinnan kehittämiseen. Suuret kiitokset kiinnostavan tutkimusmahdollisuuden tarjoamisesta ja tutkimuksen rahoituksen järjestämisestä kuuluvat Teppo Rauhalalle, jonka kanssa kävimme mielenkiintoisia keskusteluja työn aiheesta ja sen vierestä. Pasi Kråknäs ja Rauno Heikkilä ansaitsevat myös isot kiitokset työn ohjauksesta ja rakentavista kommentteista.

Tasapuoliset kiitokset kuuluvat myös kaikille haastatteluun osallistuneille ja työssä auttaneille työkavereille ja yhteistyökumppaneille. Erityiskiitos työkavereilleni DI Juha Parkkarille ja DI Jussi Heikkilälle, sekä Kokkola-Riippa -työmaan henkilökunnalle kärsivällisyydestä ja avusta tutkimusta tehdessäni.

Sydämellisimmät kiitokset kuuluvat läheisilleni ja aviomiehelleni Jukka-Pekalle, sillä he ovat jaksaneet tukea minua koko yliopisto-opiskelun ajan.

Lopuksi siteerattakoon lohdutuksen sanana kaikille rakennusprojektien ohjauksen kanssa tuskailleville tunnettua lausahdusta: ”Kuka tahansa pystyy pitämään yllä järjestystä, mutta vain nerot hallitsevat kaaoksen.”

Oulu, 22.05.2014

Eija Heikkilä

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1 JOHDANTO .....	12
1.1 Rautatien rakentamisen ominaispiirteet .....	13
1.2 Tietomallipohjaisen rakentamisen asettamat vaatimukset työmaan ohjaukselle .....	19
1.3 Tietomallipohjaisen rakentamisen asettamat vaatimukset informaation hallinnalle .....	23
1.4 Radan maanrakennustyömaan nykyinen ohjausmenetelmä ja sen ongelmat .....	29
1.5 Tavoite .....	33
2 RADANRAKENNUSTYÖMAAN DYNAAMISEN JA TIETOMALLIPOHJAISEN OHJAUSMENETELMÄN KEHITTÄMINEN .....	34
2.1 Tietomallipohjaisen radanrakennustyömaan dynaamisen ohjauksen periaatteet .....	34
2.2 Työmaan päävaiheiden dynaamisen ohjausmenetelmän kehittäminen .....	38
2.2.1 Ohjaus rakennusurakan aloituksessa .....	41
2.2.2 Ohjaus rakennusurakan rakentamisvaiheessa .....	44
2.2.3 Ohjaus rakennusurakan laadunvalvonnassa .....	47
2.3 Kaupalliset sovellukset työmaan dynaamisen ohjaukseen .....	51
2.4 Empiria .....	52
2.4.1 Radanrakennustyömaan nykyisen ohjausmenetelmän havainnointi .....	52
2.4.2 Haastattelututkimus työmaan dynaamisen ohjauksen kehittämisestä .....	53
2.4.3 Kaupallisten sovelluksien kokeilu työmaaympäristössä .....	54
2.4.4 Inframodel3 -tiedonsiirtoformaatin täydennystarpeiden selvittäminen .....	54
3 TULOKSET .....	55
3.1 Nykyisessä työmaanohjauksessa havaitut ongelmat ja kehittämiskohteet .....	55
3.2 Dynaamisen ja mallipohjaisen ohjausjärjestelmän kehittämistarpeet .....	59
3.2.1 Rakennusurakan aloittaminen .....	59
3.2.2 Rakennusurakan rakentamisvaihe .....	61
3.2.3 Rakennusurakan laadunvalvonta .....	76
3.3 Kaupallisten sovellusten toimivuus työmaaosuhteissa .....	83
3.3.1 Tekla Civil -työmaasovellus .....	84

3.3.2 Kuura-järjestelmä .....	90
3.3.3 Virtual Map for Construction -sovellus.....	93
3.3.4 Topcon 3D Office -järjestelmä .....	96
3.4 Inframodel3 -tiedonsiirtoformaatin täydennystarpeet.....	97
4 PÄÄTELMÄT .....	101
4.1 Tietomallipohjaisen rakennusurakan aloittaminen .....	101
4.2 Tietomallipohjaisen rakennusurakan rakentamisvaihe .....	103
4.3 Tietomallipohjaisen rakennusurakan laadunvalvonta .....	104
4.4 Kaupallisten sovellusten kelpoisuus .....	108
4.5 Inframodel3-tiedonsiirtoformaatin täydennystarpeet.....	110
4.6 Dynaamisen ohjausmenetelmän soveltuvuus radanrakentamiseen.....	111
LÄHDELUETTELO .....	115
LIITEET	



## MERKINNÄT JA LYHENTEET

ATU	Aukean tilan ulottuma. Pitkin raidetta ulottuva tila, jonka sisällä ei saa olla kiinteitä rakenteita tai laitteita ( <i>ks. RSU</i> ).
BIM	Building Information Model, englanninkielinen lyhenne sanoille tietomalli tai tietomallintaminen
Dynaaminen	voimakas, energinen, aktiivinen, elävä, liikkuva, muuttuva, kehittyvä, voimaa koskeva
Dynaaminen ohjausmenetelmä	Tässä työssä dynaamisella ohjausmenetelmällä tarkoitetaan reaaliaikaisesti ja voimakkaasti työmaan impulsseihin vastaavaa tietomalleja hyödyntävää kokonaisvaltaista, yhteisöllistä ja muuntumiskykyistä rakennusprojektin ohjausta.
Inframodel 3/IM3	Inframodel3-tiedonsiirtoformaatti, joka perustuu LandXML-formaattiin. Kehitetty vastaamaan suomalaisen infrarakentamisen tiedonsiirron tarpeita.
Kokonaisurakka	Perinteisin urakointimuoto, jossa rakennuttaja teettää suunnitelmat ja sopii koko työstä yhden pääurakoitsijan kanssa.
KV	Radan korkeusviiva, joka määrittelee raiteen korkeuden alimman kiskon aluslevyn tai välilevyn alapinnan tasossa kiskon kulkureunan kohdalla.
Lean	Johtamisfilosofia, joka keskittyy seitsemän erilaisen hukun poistamiseen. Filosofian tavoitteena on parantaa asiakastyytyväisyyttä ja laatua, pienentää kustannuksia ja lyhentää tuotannon läpimenoaikoja.

JIT	Just-In-Time, Leaniin pohjautuva joukko periaatteita, työkaluja ja menetelmiä, joilla oikea määrä oikeita asioita saadaan oikeaan aikaan oikeaan paikkaan. JOT Juuri Oikeaan Tarpeeseen, suomalainen käännös termistä JIT
TPS	Toyota Product System. Toyotan hienostunut tuotantojärjestelmä, joka toimii pohjana Lean-johtamisfilosofialle
Rautatie	Yksi- tai useampiraiteisen radan kaikki rakennukset ja laitteet, jotka tarvitaan liikenteen hoitamiseksi ja turvaamiseksi. Kaikki alueet, jotka tarvitaan rataa, rakennuksia ja laitteita sekä liikenteen hoitamista ja kaikkea siihen liittyvää toimintaa varten.
RSU	Ratatyön suojaulottuma. Pitkin raidetta ulottuva tila, jonka sisällä ei saa työskennellä ilman ratatyölupaa tai turvamiesmenettelyä. Yksi raiteisella radalla 2,5m lähimmästä kiskosta tai sähköratapylväslinja. Useampiraiteisella radalla tai ratapihalla 2,5m ulompien raiteiden uloimmasta kiskosta tai sähköratapylväslinja. Raiteiden välissä RSU on sama kuin aukean tilan ulottuma (ATU).
ST-urakka	Suunnittele ja toteuta -urakka. Urakkamuoto, jossa rakennuttaja tilaa pääurakoitsijalta sekä suunnittelun, että rakentamisen.
Tarkemittaus	Mittaushenkilöstön toteuttama laadunvalvonnallinen toimenpide, jolla todistetaan valmiin rakenteen korko ja sijainti.
Tarkepiste	Tarkemittauksella tuotettu piste, joka sisältää pisteen yksilöintitiedot ja XYZ -koordinaatit.

Tietomalli	Yleisnimitys talon-, sillan- ja infrarakentamisessa käytettäville digitaalisille, tietoa sisältäville malleille. Tuotteen ja tuoteprosessin elinkaaren aikaisten tuotetietojen kokonaisuus
Toteutusmalli	Rakentamistöiden ohjaukseen käytettävä tietomallista jalostettu toteutuksen tietomalli. Työkoneohjauksessa käytettävä toteutusmalli muodostuu jatkuvasta kolmiulotteisesta rakennepintojen kokonaisuudesta.
Toteumamittaus	Koneenkuljettajan tai työmaahenkilön toteuttama muu laadunvarmistuksellinen mittaus kuin tarkemittaus rakenteilla olevasta tai valmiista rakenteesta, joiden avulla seurataan työn laatua ja etenemää.
Toteumapiste	Tarkemittauksella tuotettu piste, joka sisältää pisteen yksilöintitiedot ja XYZ -koordinaatit.
InfraRYL	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Sisältää kuvauksen infrarakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista ja määrittelee työn lopputuloksen rakennusteknisen laadun sekä hyvän rakennustavan.

# 1 JOHDANTO

Infra-alalla on käynnissä koko toiminnan elinkaaren käsittävä systeeminen muutos, jossa suunnittelu, rakentaminen ja kunnossapito pyritään muuttamaan mallipohjaiseksi toiminnaksi lisäten samalla koko alan tuottavuutta. Sekä infran omistajat että tilaajat ovat aktiivisesti mukana toiminnan kehittämisessä palveluntuottajien ja asiantuntijoiden kanssa. Muutoksen tueksi on perustettu useita tutkimus- ja kehitysprojekteja kuten Infra FINBIM, joka kuuluu yhteen RYM Oy:n käynnistämistä PRE-tutkimusohjelman (Built Environment Process Re-engineering) työpaketeista. Infra FINBIM -työpaketin tavoitteeksi on kirjattu siirtyminen perinteisestä vaiheajattelusta älykkääseen koko elinkaaren ja kaikki osa-alueet, toimijat ja toiminnot kattavaan tietomalleja hyödyntävään palvelutuotantoon. Työpakettiin osallistui yhteensä 15 yritystä VR Track Oy:n toimiessa työpaketin veturiyrityksenä. (RYM Oy 2010)

Rakennusalan kehityksen myötä myös infrarakentamisessa on omaksuttu tietomallintaminen ja automaation käyttö työkoneissa. Etenkin maarakentamisessa hyödynnetään jo laajasti tietomallipohjaista koneautomaatiota opastavissa ja ohjaavissa koneohjausjärjestelmissä niillä saavutettavien laadullisten ja taloudellisten hyötyjen vuoksi. Koneohjauksen ja sen järjestelmien kehittymisen myötä myös kiinnostus työmaan ohjauksen modernisointiin on herännyt. Tietomalleissa ja koneautomaatiassa on havaittu olevan runsaasti hyödyntämätöntä potentiaalia myös työnohjauksen näkökulmasta.

Työmaan ohjauksessa haasteellisinta on kokonaisuuden jatkuva johtaminen, sillä toteutussuunnitelmat on sidottu kolmeen ulottuvuuteen, joita ovat aika, paikka ja kustannukset. Jo yhden ulottuvuuden muuttuminen vaikuttaa väistämättömästi jollain tavoin myös kahteen muuhun. Toteutussuunnitelmat luovat pohjan työmaan ohjaukselle ja monet niistä, kuten yleisaikataulu ja kustannussuunnitelma lyödään lukkoon jo paljon ennen rakentamisen aloittamista.

Työmaalla tilanteet elävät huomattavasti mm. sään, vuodenaikojen ja mahdollisten konerikkojen vuoksi ja tällöin toteumatilanteen vertaaminen jäykkiin ja muuttumattomiin alkuperäisiin toteutussuunnitelmiin ei anna täydellistä kuvaa työmaan

todellisesta tilanteesta ja sen etenemisestä. Esimerkiksi jonkin työvaiheen myöhästymisen vaikutusten hahmottaminen aikataulusuunnitelmaa vasten ei kerro koko totuutta projektin kustannuskehityksestä ja aiemmin tapahtuneiden muutosten kumuloituvista vaikutuksista.

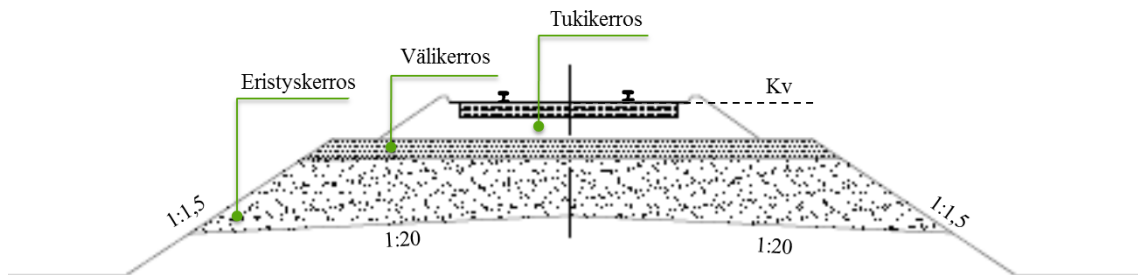
Työmaalta ja sen toiminnoista saatavia reaaliaikaisia tietoja, kuten työvaiheiden etenemää, koneiden käyttöasteita ja maastossa tehtyjä havaintoja voitaisiin hyödyntää työmaan ohjauksessa. Niistä voitaisiin johtaa mallipohjaisia esityksiä koko projektin etenemän seurantaan. Tällä hetkellä työmaalta reaaliaikaisesti saatavien tietojen hyödyntäminen työmaanohjauksessa on kuitenkin hyvin vähäistä, sillä koko rakennusprosessin kehitys ja yksilöiden asenteiden muuttuminen tietomalleja ja koneohjausta tukevaksi on vielä kesken. Reaaliaikaisesti saadun informaation tehokas analysointi ilman siihen tarkoitettuja uusia työkaluja on myös lähes mahdotonta saatavan informaatiomäärän vuoksi.

## **1.1 Rautatien rakentamisen ominaispiirteet**

Radan rakennekerrokset poikkeavat tien rakennekerroksista merkittävästi. Radan kerrospaksuudet ovat suuremmat, muototoleranssit ovat pienemmät ja radan kaarrekallistukset huomioidaan ainoastaan vain ylimmässä tukikerroksessa muiden kerrosten yläpintojen säilyessä vaakasuorina. Ratarakenne koostuu kahdesta osasta, päällysrakenteesta ja alusrakenteesta. Radan päällysrakenteella tarkoitetaan raidetta ja tukikerrosta, jonka tarkoituksena on säilyttää raiteen geometria, jakaa kuormat alusrakenteelle sekä muodostaa raiteelle tasainen ja kantava pohja. Alusrakenne muodostuu välikerroksesta, eristyskerroksesta sekä mahdollisesta suodatinkerroksesta ja routalevystä (*ks. Kuva 1*).

Välikerros muodostaa radan päällysrakenteelle tasaisen ja kantavan pohjan sekä estää tukikerroksen sekoittumisen alla oleviin kerroksiin. Eristyskerroksen tarkoituksena on estää alla olevien maakerrosten routuminen, muodostaa välikerrokselle tasainen ja kantava pohja sekä siirtää kuormitukset pohjamaalle. Eristyskerros toimii osittain myös suodatinkerroksena, sillä sen tarkoituksena on pysäyttää kapillaarinen vedennousu kerroksen alaosaan. Rakennekerrospaksuudet määräytyvät rataluokan, rataosan

suurimman sallitun nopeuden, kiskonpituuden, käytettävän maamateriaalin ominaisuuksien ja käytettävän ratapölkkytyypin perusteella. Esimerkiksi tukikerroksen rakennekerrospaksuus on 550 mm ja välikerrospaksuus 300 mm käytettäessä nykyisin yleisiä betonipölkkyjä. Eritys- ja suodatinkerrospaksuudet määräytyvät sijaintikohtaisesti rakenteelle asetettujen kantavuus- ja eristävyysvaatimusten perusteella. (Ratahallintokeskus 2008)



**Kuva 1.** Tyypillinen radan poikkileikkaus ja rakennekerrokset.

Ratapenger rakennetaan tasatulle ja tiivistetylle maapenkereelle tai leikkauspohjalle, eli leikatun pohjamaan yläpinnalle. Radan pohjarakennustyöt ja alusrakennetyöt ovat tyypillisiä kaivinkoneilla, puskutraktoreilla, tiehöylillä ja jyrillä tehtäviä maanrakennustöitä. Päälysrakenteen rakentamisessa käytetään sitä vastoin erilaisia erikoistyökoneita, kuten tukikerroksen muotoilukonetta, raidestabilisaattoria, raiteenvaihtokonetta ja raiteentukemiskonetta. Maamateriaalin kuljettamisessa hyödynnetään rakennuskohteesta riippuen maansiirtoautoja, dumppereita tai kiskoilla liikkuvia sepelivaunuja.

Radan geometrian pituus- ja vaakasuuntaiset prosentuaaliset kallistukset ovat pieniä ja kaarresäteet suuria, esim. matkustajaliikennoradoilla pituuskaltevuuden suositus on alle 10 ‰ ja 220 km/h mitoitusnopeudelle suositeltava kaarresäde on 5000 m maksimi raidekallistuksen ollessa 80 mm. Tästä syystä radan rakennekerrosten yläpintojen sijainti- ja korkeustoleranssit ovat todella tarkkoja, jotta radan geometria sekä kuormituksen kesto- ja routaeristävyysvaatimusten mukaisesti suunnitellut rakennekerrospaksuudet toteutuvat. Infrarakentamisen yleisten laatuvaatimusten (InfraRYL)

mukaan esimerkiksi valmiin eristyskerroksen yläpinnan korko saa poiketa enintään 30 mm alaspäin suunnitellusta pinnasta ja pinta ei saa olla lainkaan suunniteltua pintaa korkeampi tai kapeampi. Välikerroksen osalta sen yläpinta saa poiketa 20 mm alaspäin ja vaakasuunnassa sijaintipoikkeamaa saa olla 50 mm ulospäin suunnitellusta luiskasta.

Rakennekerrosten laatuvaatimukset asettavat suuret tarkkuusvaatimukset radanrakennustyökoneille ja niiden kuljettajille etenkin välikerroksen yläpinnan rakentamisessa. Tiukkojen tarkkuusvaatimusten sekä pitkien ja tasaisten pintojen vuoksi koneohjauksen hyödyntäminen työkoneissa on kannattavaa ja koneohjaus nopeuttaakin huomattavasti radan maarakennustöitä sillä saavutettavan tasaisemman laadun myötä. Koneohjausta hyödynnettäessä on kuitenkin tarpeen varmistua aina ennen töiden aloitusta työkoneiden riittävästä paikannustarkkuudesta, jotta laatuvirheiltä vältytään. Työmaan mittausperustan on tästä syystä oltava myös kunnossa, sillä ilman hyvää mittausperustaa ei luotettavia mittauksia voida suorittaa eikä koneohjauksella päästä riittävään paikannustarkkuuteen.

Rakennusteknisesti radanrakennustyöt voidaan jakaa alusrakenne-, päällysrakenne- ja sillanrakennustöihin, jotka poikkeavat huomattavasti toisistaan mm. työmenetelmien ja tarvittavan kaluston vuoksi. Lisäksi työmaiden koolla on merkitystä, uuden radan rakentaminen kymmenien kilometrien matkalla verrattuna pistemäiseen vanhan vaihteen uusimiseen vaatii täysin erilaiset alkujärjestelyt sekä erilaista työmaanohjausta.

Rakennusurakoiden sopimusmuodot vaihtelevat suuresti, mutta yleisimpiä ovat mm. päällysrakenneurakoissa käytettävät kokonaisurakat, joissa tilaaja toimittaa myös suunnitelmat. Radanrakennuksessa kokonaisurakoiden ohella käytettyjä ovat erilaiset suunnittele ja toteuta -urakkamuodot (ST-urakat), joissa päästään hyödyntämään ja kehittämään koko rakennustuotannon elinkaarta aina suunnittelusta toteutukseen ja takuuajkaan asti.

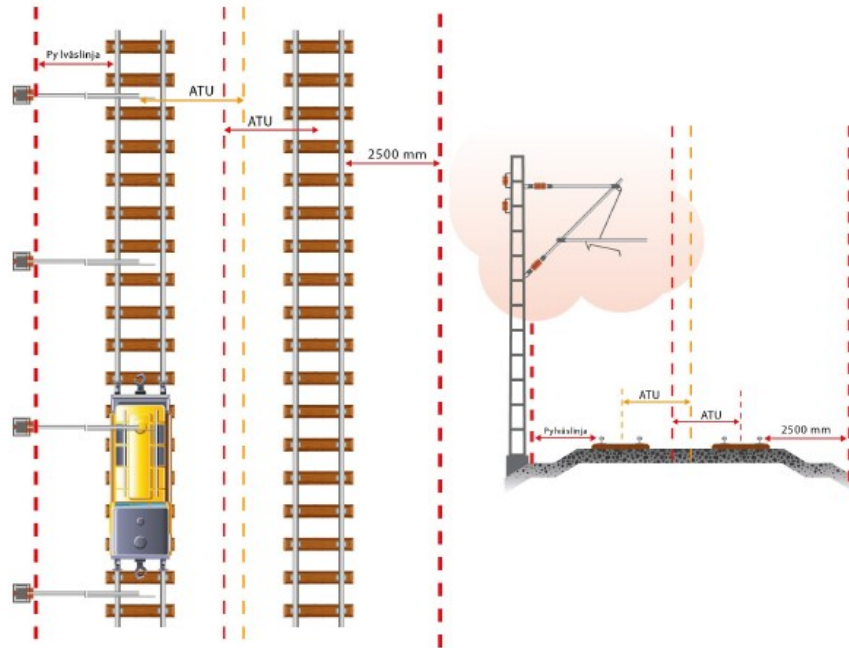
Radanrakennustöiden suunnittelussa ja toteutuksessa on ensisijaisesti otettava huomioon myös turvallisuus, niin työ- kuin junien liikennöintiturvallisuus, sillä yleensä töitä tehdään liikennöidyillä rataosuuksilla junaliikenteen armoilla ja virheellinen toiminta voi vaarantaa myös junaliikenteen. Töiden suunnittelussa on otettava huomioon useita junaliikenteestä johtuvia työturvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten:

- junaliikenteen suuret nopeudet (jopa 220 km/h)
- kaluston suuret massat (veturi 60 t, raskas tavarajuna 3000-5000 t)
- kaluston pitkät jarrutusmatkat (jopa 1,5 km)
- äänetön sähkökalusto
- liikenteen määrän huomattava vaihtelevuus
- vaativat työolosuhteet (lämpötilat, sää, näkyvyys, valaistus, melu)
- kävelyreitit lähellä rataa (jätkänpolut)
- puutteet valaistuksessa (vain ratapihat ja erikoiskohteet on valaistu)
- ratapihat (paljon kiinteitä rakenteita sekä seisovaa että liikkuvaa kalustoa)
- tunnelit, sillat ja muut vastaavat rakenteet, joissa ei ole riittävästä väistö- tai näkemäaluetta (työskentely vaatii ratatyöluvan) (Ratatyöturvallisuuskoulutus 10.5.2012, Liikennevirasto)

Turvallisuuden takaamiseksi on ennen rakennustöiden aloittamista laadittava kirjallinen turvallisuussuunnitelma, joka sisältää oman osionsa rautatieturvallisuudesta. Työvaiheiden ja vaarallisten töiden suunnittelussa on otettava huomioon sekä rautatieliikenteen aiheuttamat uhkat työnteolle, että työn aiheuttamat uhkat rautatieturvallisuudelle ja pyrittävä varmistamaan turvallisuus kaikin puolin. Kaikki työmaalla liikkuminen ja työskentely on myös suunniteltava tapahtuvan ratatyön suojausalueen (RSU) ulkopuolella (ks. Kuva 2) ja radanylitykset tulee ensisijaisesti tehdä eritasoliittymien kautta. (Liikennevirasto 2012a)

Rautatiealue on Liikenneviraston hallinnoima alue rakennuksineen ja rakennelmineen, jota käytetään rautatieliikenteen hoitamiseen, kuten rata, liikenteenohjaus- ja turvalaitetilat, sekä muut rautatiejärjestelmän turvallisuuteen vaikuttaville laitteille tarkoitettut tilat. Liikenteen turvallisuusviraston ja Liikenneviraston määräyksien mukaisesti kaikkiin rautatiealueella tehtäviin töihin tarvitaan lupa liikenteenohjaukselta ja rautatiealueella saavat liikkua vain ne henkilöt, joiden työtehtävä sitä edellyttää ja joilla on tarvittavat pätevyudet ja koulutus. (Liikennevirasto 2012a)





**Kuva 2.** Ratatyön suojalottuma (RSU). Kuva: Liikennevirasto 2012a, Liite 1

Kaikista ennakkoon suunnitelluista ratatöistä, eli muista kuin kiireellisistä korjaus- ja pelastustöistä, on tehtävä myös ennakkosuunnitelma huomioiden toteutukseen tarvittava työaika, liikennöinnin keskeytykset ja muut poikkeukselliset järjestelyt. Ennakkosuunnitelma on tehtävä myös sellaisista radan sivussa tehtävistä töistä, joissa työkonetta tai sen osa saattaa ulottua RSU:aan (ks. Kuva 3). Ennakkosuunnitelma on toimitettava hyvissä ajoin liikennesuunnitteluun, jotta matkustaja- ja tavaraliikenteen kuljetukset ehditään järjestämään muilla tavoin pitkiä liikennöintikatkoksia vaativien töiden ajaksi esim. viikonloppukatkot. (Liikennevirasto 2012a)

Ratatyöstä on annettava myös kirjallinen ratatyöilmoitus enintään 7 päivää ennen kyseisen työn aloittamista sille liikenteenohjauskeskukselle, jonka alueella ratatyö tehdään. Ilmoitusten perusteella myönnetään ratatyöluva, jonka jälkeen työt voidaan aloittaa. Ratatyöhön on oltava aina liikenteenohjauksen lupa, kun työ estää tai vaarantaa liikennöinnin, kone tai sen osa saattaa ulottua RSU:n sisälle, työ vaikuttaa radan rakenteeseen, kohdistuu käytössä olevaan turvalaitokseen, tehdään työkonella tai ajoneuvolla matkustajalaiturilla tai se edellyttää liikennöinnin keskeyttämistä työturvallisuuden takia. (Liikennevirasto 2012a)

Vaikka työkone voi ylittää radan RSU:aan, liikennöintiä raiteella ei tarvitse keskeyttää turvallisuuden vuoksi silloin, kun raiteen suurin sallittu nopeus on alle 140 km/h, sillä työkoneelle voidaan tällöin määrätä turvamies, jonka tehtävänä on varoittaa lähestyvistä rautatieliikenteestä ja huolehtia turvattavien henkilöiden ja työvälineiden siirtymisestä väistöalueelle. Turvamiestä lisäksi työkoneen on liikennöidyn raiteen vieressä työskenneltäessä keskeytettävä työskentely ja lopetettava näkyvästi liikkeet, esim. laskettava kauha maahan, rautatieliikenteen lähestyessä. Turvamiehet ja ratatyöntekijät näyttävät havainneensa lähestyvän kaluston nostamalla käden pystyyn merkiksi turvamiehelle ja kaluston kuljettajalle. Näin ratakalustonkuljettaja voi varmistua ohitusturvallisuudesta ja välttyä turhilta hätäjarrutuksilta. (Liikennevirasto 2012a)



**Kuva 3.** Työkoneen työskentely yksiraiteisella radalla turvamiestä turvaamana. RSU on 2,5 m lähimmäisestä kiskosta. Kuva: Liikennevirasto 2012a, s. 66

RSU:n sisällä kaikki työntekijöiden keskittymiskykyyn vaikuttavat asiat ovat kielletty, kuten matkapuhelimien, muiden viestintävälineiden ja erilaisten tietotallentimien käyttö. Mikäli työtehtävän suorittaminen vaatii kuitenkin tällaisen laitteen käyttöä, on turvallisuus varmistettava turvamiesmenettelyllä. (Liikennevirasto 2012a) Rautatieliikenne- ja ratatyöturvallisuuden kannalta on tärkeää tietää myös oma sijainti riittävällä tarkkuudella. Sijainnin määrittelyssä käytetään rautateillä käytössä olevaa osoitejärjestelmää eli ratakilometrijärjestelmää, joka perustuu maastossa oleviin

valkeapohjaisiin kilometrimerkkeihin ja koordinaatteihin. Sijainti ilmoitetaan yleensä liikennepaikan tai liikennepaikkavälin avulla, jota tarkennetaan ratakilometritiedolla sekä liikenteenohjauksen tunnuksilla esim. ”Välillä Kälviä-Riippa, ratakilometri 572”.

Työturvallisuuden parantamiseksi työmaa-alueelle määritellään yleensä ohittavan kaluston nopeusrajoituksia ja työt pyritään toteuttamaan mahdollisuuksien mukaan liikennekatkoksissa. Turvallisuutta voidaan parantaa myös lisäämällä turvamiehiä, tekemällä väliaikaisia eritasoliittymiä radan ylittämistä varten ja hyödyntämällä koneohjausjärjestelmien ominaisuuksia, esim. lisäämällä toteutusmalleihin RSU:n rajat siten, että aina työkoneen yltäessä RSU:aan laitteisto antaa hälytyksen työkoneenkuljettajalle.

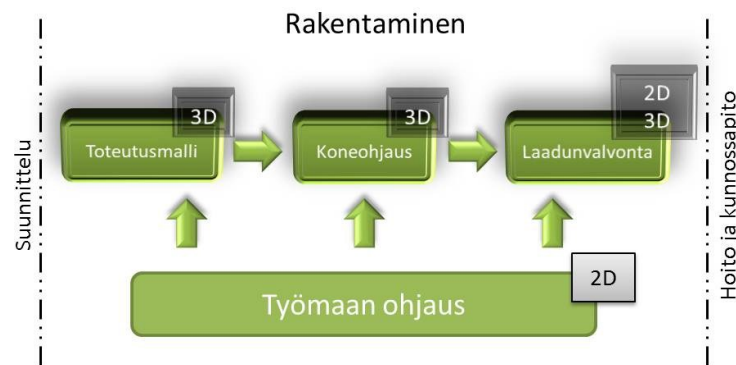
## **1.2 Tietomallipohjaisen rakentamisen asettamat vaatimukset työmaan ohjaukselle**

Radanrakennustyömailla kuten muissakin infrahankkeissa koneohjaus on yleistynyt maarakennustöissä ja suurissa hankkeissa pääurakoitsijat saattavat vaatia aliorakoitsijoiltaan koneohjausjärjestelmiä. Koneohjausjärjestelmiä käytetään kuitenkin vielä lähes yksipuoleisesti kaivinkoneissa opastavana järjestelmänä, mutta myös työterää ohjaavan järjestelmän hyödyntäminen on lisääntynyt tiehöylissä ja puskutraktoreissa.

Koneohjauksen hyödyntämiselle ei ole vielä myöskään päätetty yhtenäisiä toimintavaatimuksia, vaan koko mallipohjaisen rakentamisen prosessi on vielä kehitysvaiheessa. Tästä syystä yhtenäiset työvaihekohtaiset ohjeet ja koneohjaukselta vaadittavan tarkkuuden toleranssit ovat määrittämättä koneohjauksen näkökulmasta. Koneohjauksen tarkkuutta, laatua ja tehokkuutta seurataan nykyisin hyvin vaihtelevasti, sillä toisaalta siihen luotetaan liikaa ja toisaalta koneohjausprosessin seurannasta ja dokumentoinnista ei ole olemassa yhtenäistä ohjeistusta.

Mallipohjaisen suunnittelun sekä koneohjausjärjestelmien kattava hyödyntäminen rakentamisessa asettavat täysin uudet vaatimukset rakentamisen ohjaukselle ja seurannalle, sillä ensinnäkin paperisista suunnitelmista olisi pyrittävä irti kohti tietomalleja suoraan hyödyntävään työmaan ohjaukseen (ks. Kuva 4). Toiseksi

tietomäärät ja tiedostokoot kasvavat huomattavasti malleja hyödynnettäessä, sillä esim. maastomallin tuottamiseksi tarvittavassa laserkeilausdatassa saattaa olla käyttötarkoituksesta riippuen jopa tuhansia pisteitä neliometrillä, mikä tarkoittaa usean gigatavun tiedostoja. Kolmanneksi tiedostokokojen kasvusta ja ohjelmistojen vaatimasta reaaliaikaisesta tiedonsiirrosta johtuen vaatimukset tietoliikenneyhteyksien nopeudelle ja toimivuudelle ovat työmaiden maasto-olosuhteissa toimittaessa suuret.

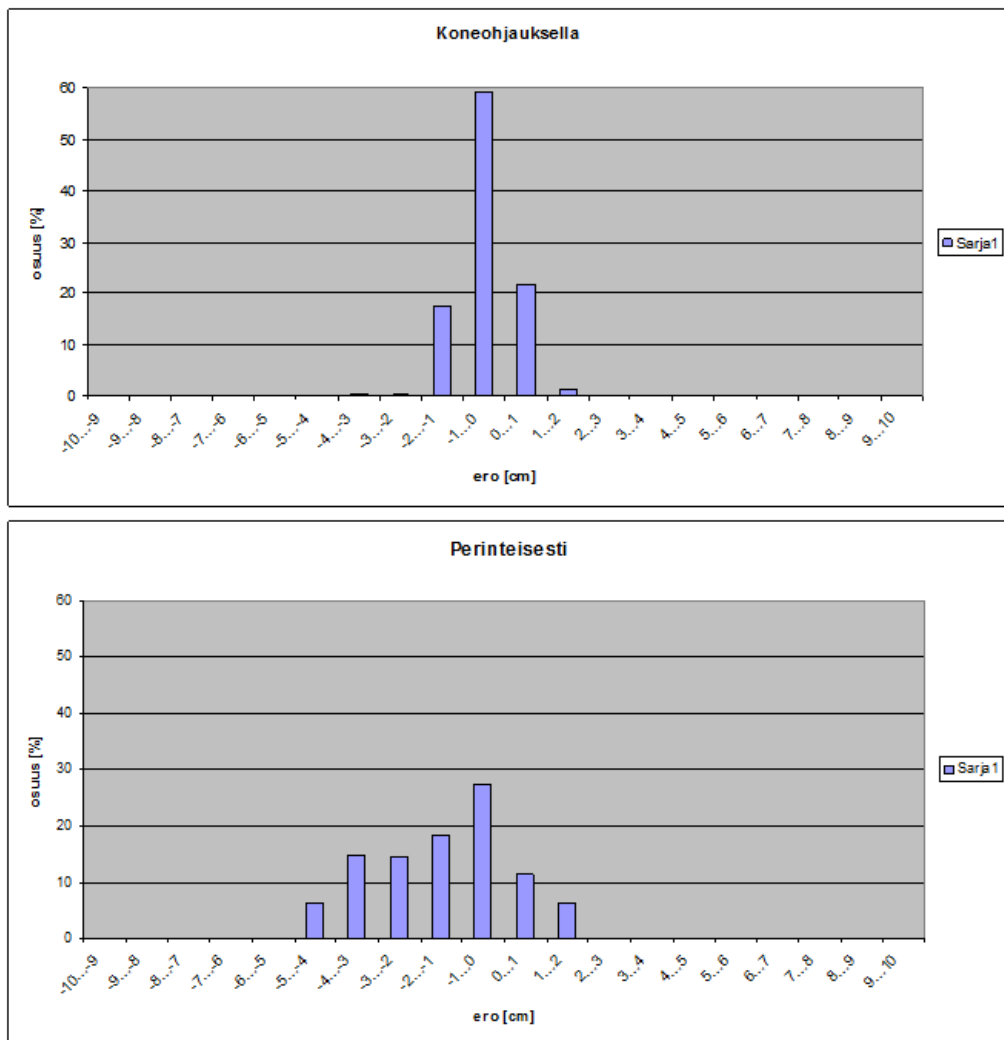


**Kuva 4.** Työmaan ohjauksen nykytila.

Mallipohjaisuudella voidaan saavuttaa suuria hyötyjä työmaanohjauksessa ja vastata mallipohjaisen rakentamisen myötä syntyneisiin ongelmiin. Esimerkiksi koneohjauksen hyödyntämisen myötä paaluttomiksi muuttuneilla työmailla tarkan käsityksen saaminen omasta tai työkoneen sijainnista ja sen vertaaminen paperisiin suunnitelmiin on usein haastavaa. Nykyaikaisilla mobiililaitteilla voidaan hyödyntää GNSS-satelliittipaikannusta sijainnin määrittämiseen ja verrata työmaalla näin saatua paikkatietoa sovelluksissa suoraan toteutusmalleihin. Oman ja työkoneiden tarkan sijainnin tietäminen on myös tärkeä osa työ- ja rautatieliikenneturvallisuutta.

Koneohjausta hyödyntävillä työmailla ei ole enää konekohtaista mittamiestä toteamassa rakenteiden toleranssipoikkeamia, vaan työkoneen paikannustarkkuuden tarkastaminen ja työnlaatu on yhä enemmän kuljettajan vastuulla. Työnsä laatua seuraamalla kuljettajat saavat välitöntä ja puolueetonta palautetta omasta työstään ja samalla he pystyvät kehittämään omia työtapojaan paremman laadun saavuttamiseksi, sillä toimintatapojen muutokset ovat välittömästi nähtävissä.

Koneohjauksen avulla saavutettava laatu on tutkitusti tasaisempaa kuin perinteisellä tavalla rakennettu. Koneohjauksella saavutettavaa laatua on tutkittu mm. VR Track Oy:n Äänekoski-Saarijärvi päällysrakennetyömaalla kesällä 2011 ja siellä saatujen tuloksien perusteella koneohjauksella leikatun tukikerroksen pohjan tarkemittauksista hieman vajaa 60 % oli -10...0 mm etäisyydellä suunnitellusta pinnasta, kun taas perinteisesti ilman koneohjausta leikatun pohjan tarkemittauksista vain n. 28 % ylsi samaan tarkkuuteen (ks. Kuva 5). Koneohjauksella leikatusta tukikerroksen pohjasta oli kaiken kaikkiaan 2398 mittaustulosta ja ilman koneohjausta leikatusta pohjasta 436 mittausta.



**Kuva 5.** Koneohjauksella ja perinteisellä tavalla leikatun tukikerroksen pohjan tarkkeiden sijainti suhteessa suunniteltuun leikkauspintaan. Kuva: Parkkari (2011b)

Koneohjausta hyödyntävä prosessi lähtee liikkeelle suunnittelijan tekemistä koneohjausmalleista, joiden muodostamista on ohjeistettu ja yhtenäistetty Infra FINBIM-projektissa. Mallien muodostamisessa on yhä pieniä ongelmia, sillä täysin mallipohjainen suunnittelu on infra-alalla vielä uutta ja siksi toteutusmalleja tuotetaan yhä osittain jälkikäteen dokumenttipohjaisten poikkileikkausten perusteella. Jälkikäteen toteutusmalleja muodostettaessa 20 m välein tulostetuista poikkileikkauksista on se ongelma, että kaikki poikkileikkauksien väliin jäävät asiat tulee suunnitella uudelleen.

Vaikka toteutussuunnitelmat saataisiin oikeassa muodossa ja oikeanlaisina työmaille on työmailla runsaasti kehitettävää toteutuman ja laadun tehokkaassa todentamisessa. Koska mittamies ei ole enää välittömästi tarkistamassa koneen tekemää työtä, mahdolliset virheet saatetaan huomata vasta viikkojen päästä, kun mittamiesten valmiista rakenteista ottamien tarkemittausten tulokset saadaan tarkastukseen. Tällöin virheen korjauskustannukset kasvavat huomattavasti suuremmiksi, kuin että virhe olisi pystytty korjaamaan välittömästi. Esimerkiksi työkoneet voidaan joutua kuljettamaan korjattavalle kohteelle kaukaakin, materiaaleja voidaan joutua tilaamaan lisää ja yleensä korjaaminen myöhästyttää huomattavasti myös seuraavia työvaiheita.

Tällä hetkellä työmaan johdolla ei ole samoja mahdollisuuksia tarkastella toteutusmalleja kuin esim. suunnittelijalla ja koneohjausta hyödyntävän koneen kuljettajalla, vaan työnjohto saa työmaakartat ja poikkileikkaukset paperitulosteina tai PDF -tiedostoina. Tällöin kuskien toteutusmalleista johtuvien ongelmien tarkastelu ja korjaus päättyy usein suunnittelijoiden tehtäväksi sen sijaan, että virheisiin voitaisiin puuttua välittömästi työmaalla.

Koneohjausta hyödyntävien työmaiden paaluttomuus vaikuttaa myös työmaan aikataulun ja etenemän seurantaan, sillä valmiiden työvaiheiden ja niiden sijainnin määrittäminen etenkin pitkillä linjatyömailla on haastavaa. Mallipohjaisilla sovelluksilla voidaan tuottaa lisäarvoa työmaan etenemän seurantaan ja tätä kautta myös aikataulun seurantaan ja tarkempaan suunnitteluun. Mallipohjaisuuden avulla myös työvaiheiden, työmaaliikenteen ja aikataulujen suunnittelua voitaisiin helpottaa monella tapaa.

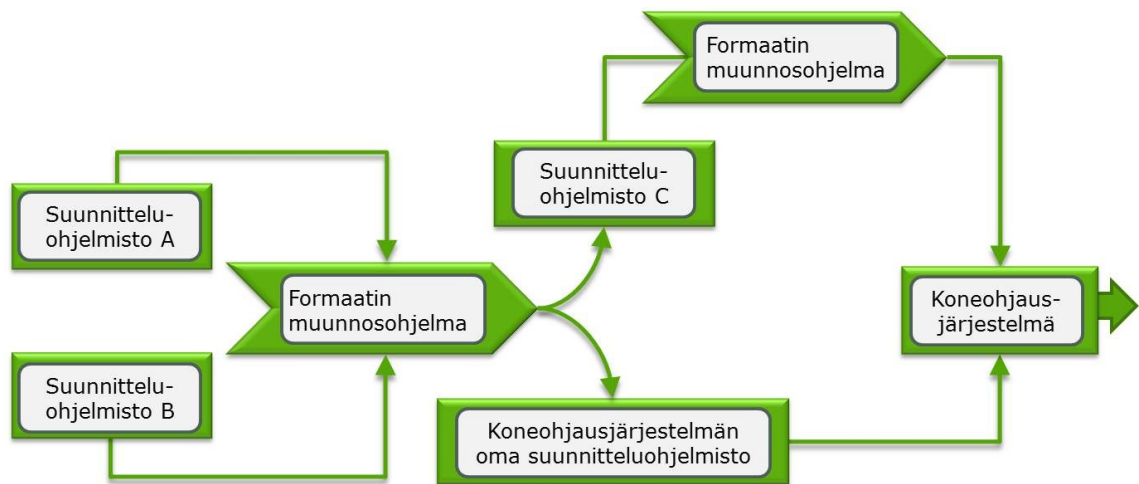
Myös tilaajat ovat tiedostaneet useita uusia mallipohjaisuuden myötä saavutettavia mahdollisuuksia. Tilaajat toivovat yhä enemmän suunnitelmien visualisointia etenkin yleissuunnitteluvaiheessa, erilaisissa yleisötilaisuuksissa sekä rakentamisaikataulun ja toteutumien havainnollistamista tietomalleissa. Muita tilaajien ehdotuksia tietomallien hyödyntämiselle ovat olleet rakennusalueen käytön mallinnus ja rakentamisvaiheiden työturvallisuusratkaisujen varmistaminen mallinnusta hyödyntäen. Rakennustyön aikaisten muutosten ja asennusten dokumentointi esim. laserkeilausta, video- ja valokuvausta hyödyntämällä, suunnitelmiin tehtyjen muutosten luotettavan dokumentoinnin ja siirron kehittäminen suoraan toteutusmalleihin sekä tietomallipohjaiset huoltokirja-aineistot ovat myös tilaajien mielestä varteenotettavia kehityskohteita. Tilaajat painottavat myös tietomallin käyttömahdollisuuksia tuotteen koko elinkaaren aikana ja etenkin huollon, ylläpidon, korjauksen ja muutostöiden lähtötietona, jolloin tietomallin riittävään todenmukaisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota rakentamisen jälkeen. (Karjula & Mäkelä 2012)

### **1.3 Tietomallipohjaisen rakentamisen asettamat vaatimukset informaation hallinnalle**

Maanrakennuskoneiden hyödyntäessä 3D-malleja rakentamisessa, seurataan työn etenemää ja laatua ensisijaisesti pohjautuen laskentataulukoihin ja paperitulosteisiin. Tietomalleissa olevan datan käsittely paperille tulostettaviksi 2D-kuviksi tai taulukoiksi aiheuttaa viivästyksiä paperitulosteita odotellessa sekä mallien sisältämän informaation laadun heikkenemistä ja jopa tärkeän informaation katoamista kokonaan. Kaiken tiedon välittyminen ja säilyminen koko tuotteen elinkaaren aikana eri toimijoiden välillä on erityisen tärkeää, ja se helpottaisi suunnitelmien keskinäistä vertailua, parantaisi rakennuskustannusten ennakoitua sekä edesauttaisi parempaa työvaihesuunnittelua verrattuna mallipohjaisen suunnittelun ja rakentamisen nykytilaan.

Nykyisin infra-alalla on käytössä runsaasti erilaisia tiedonsiirtoformaatteja (ks. Kuva 6), joiden käyttö vaikeuttaa jopa projektien sisäistä tiedonsiirtoa ja hankaloittaa eri ohjelmistojen hyödyntämistä. Yleinen suunta infra-alalla on kuitenkin kohti yhtenäistä ja avointa tiedonsiirtoformaattia. Yleisimpiä maanrakennusprojekteissa käytettävistä formateista ovat GT- tai Tielaitos-formaatiksi kutsuttu ASCII-pohjainen tekstiformaatti

ja linjan vaaka- ja pystygeometriaelementtien määrittelyt sisältävä VGP-tekstiformaatti. Muita yleisesti käytettyjä formaatteja ovat binäärimuotoinen LAS -formaatti ja Autodeskin julkaisema avoin ASCII-muotoinen DXF -formaatti, joka vastaa sen omaa suljettua binäärimuotoista DWG -formaattia. (Parkkari 2011a). Näiden lisäksi on olemassa useita suljettuja tiedonsiirtoformaatteja, jotka toimivat vain ohjelmistotuottajan omissa ohjelmistoissa ja laitteissa kuten Topcon Positioning Systems Inc:n TP3-formaatti.



**Kuva 6.** Useiden ohjelmistojen käyttö vaatii useita muunnoksia formaatista toiseen. Esimerkkinä tyypillinen prosessi toteutusmallien siirtämistä koneohjausjärjestelmään.

Tiedonsiirtoa ohjelmistojen välillä helpottaakseen ja kilpailukykyään lisätäkseen suuret kansainväliset ohjelmistotuottajat perustivat vuonna 2000 LandXML-organisaation hallinnoimaan yhtenäisen ja ohjelmisto- tai laiteriippumattoman tiedonsiirtostandardin kehitystä (Kajanan 2006). Vuonna 2012 LandXML -kehitystä hallinnoimaan siirtyi maailmanlaajuinen BuildingSMART -yhteistyöorganisaatio, joka jatkaa avoimien kansainvälisesti tunnustettujen standardien, työkalujen ja koulutuksen kehittämistä tukeakseen BIM:in laajempaa käyttöä arkkitehtuurissa, suunnittelussa ja rakentamisessa sekä tilahallinnassa (BuildingSMART 2013).



Suomessa LandXML-standardin käyttöönottoa tukemaan on perustettu Inframodel-tutkimusprojekteja, joiden pohjalta on luotu Suomen kansallisia vaatimuksia vastaavat ja LandXML-standardin v1.1- ja v1.2 -versioihin pohjautuvat Inframodel-tiedonsiirtoformaatit Inframodel ja Inframodel2, jotka eivät ole ristiriidassa kansainvälisen LandXML-standardin kanssa, vaan ovat vaikuttaneet myös sen kehitykseen. (Kajanan 2006)

InfraFINBIM -tutkimusprojektissa kehitetään LandXML v1.2 -standardiin perustuvaa Inframodel3-tiedonsiirtoformaattia ja se on tarkoitus ottaa käyttöön vuoden 2014 alkuun mennessä (ks. Kuva 7). Formaatin ensimmäinen versio julkaistiin helmikuussa 2013, minkä jälkeen formaatin kehitystyötä jatketaan käyttäjäpalautteen myötä sekä seuraavien Inframodel- formaattiversioiden parissa. Inframodel3-formaatin on tarkoitus toimia laajasti koko infra-alalla – niin suunnitteluohjelmistoissa kuin mittaus- ja koneohjaussovelluksissa. Käyttöönottohankkeen aikana formaatille luodaan yhtenäinen sisältö ja muodostetaan ohjeet suunnittelu- ja toteutusmallien tiedonsiirtoa varten. (InfraBIM, 2013)

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<!-- edited with XMLSpy v2012 rel. 2 sp1 (http://www.altova.com) by Matti Manninen (Vianova Systems Finland oy) --
>
- <LandXML date="2013-02-14" time="13:26:20" version="1.2" xmlns="http://www.inframodel.fi/inframodel"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.inframodel.fi/inframodel
  http://www.inframodel.fi/schemas/2.0.9/inframodel.xsd">
- <FeatureDictionary name="inframodel" version="1.2">
  <DocFileRef name="inframodel_tiedonsiirron_sovellusohje_v1.2.pdf"
  location="http://www.rts.fi/inframodel2010" />
</FeatureDictionary>
- <Units>
  <Metric areaUnit="squareMeter" linearUnit="meter" volumeUnit="cubicMeter" temperatureUnit="celsius"
  pressureUnit="mmHG" angularUnit="grads" directionUnit="grads" />
</Units>
- <Application name="Novapoint" manufacturer="Vianova Systems AS" version="18.20"
  manufacturerURL="www.novapoint.com">
  <Author createdBy="PLO" />
</Application>
  <CoordinateSystem rotationAngle="0" epsgCode="2392" name="KKJ / Finland zone 2"
  verticalCoordinateSystemName="N60" />
- <Project name="Rataprojekti" desc="Esimerkkirata-aineisto">
  - <Feature code="IM_codings">
    <Property label="terrainCoding" value="Tielaitos" />
    <Property label="surfaceCoding" value="Tielaitos" />
    <Property label="infraCoding" value="InfraBIM" />
    <Property label="proprietaryInfraCoding" value="Novapoint - FINLAND STANDARD" />
  </Feature>
</Project>
- <Alignments name="R001">
  - <Alignment name="001" staStart="0.000000" length="3588.455891">
    - <CoordGeom>
      - <Line staStart="0.000000" length="668.541316">
        <Start>6820360.838708 24475521.238991</Start>
        <End>6820352.301866 24474852.752182</End>
```

**Kuva 7.** Osa rautatiesuunnitelman sisältävästä Inframodel3-esimerkkiedostosta. Saatavilla [http://www.inframodel.fi/testi/2.0.9/Rata\\_esim\\_IM3\\_2.0.9.xml](http://www.inframodel.fi/testi/2.0.9/Rata_esim_IM3_2.0.9.xml).

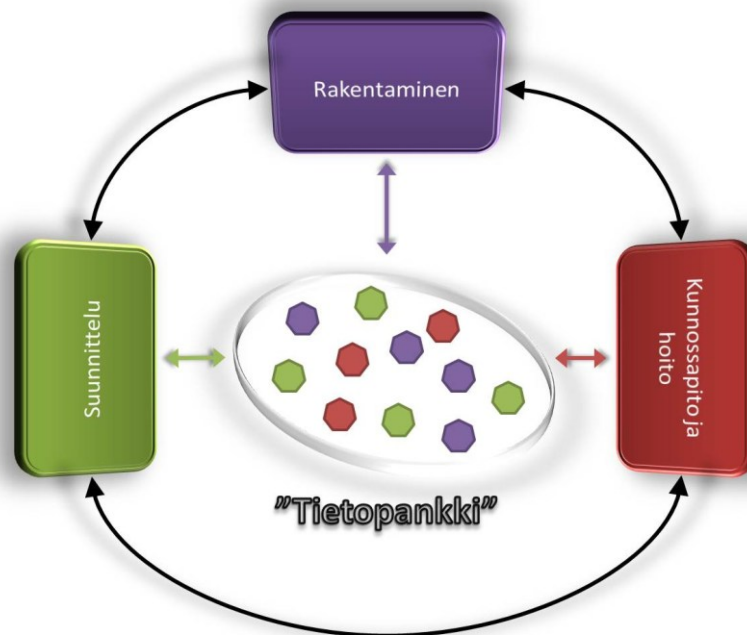
Inframodel3, eli lyhemmin IM3, sisältää kaikki samat ominaisuudet kuin kaksi aiempaa Inframodel versiota, mutta formaattiin on tullut myös paljon uusia ominaisuuksia. IM3 -formaattia voidaan käyttää mm. maastomittaustietojen siirrossa, suunnitteluohjelmistojen välisessä tiedonsiirrossa, mallien arkistoinnissa, toteutusmallien tuottamisessa sekä toteuma- ja tarketiedon siirrossa työmaalta suunnitelmiin. Inframodel -tiedonsiirtoformaattien avulla tiedonsiirto ja sen käytännöt yhtenäistyvät, virheet ja hukka vähenevät sekä metatiedon välittäminen varsinaisen datan lisäksi mahdollistuu. (Liukas & Kovalainen 2013)

Inframodel3-formaatilla on mahdollista siirtää mm. tietomallipohjaisten projektien yleistiedot, pinnat, liikenneväylät, vesihuoltoverkostot ja väylien varusteet. Formaatti tukee siis yhdeksää erilaista tietuekokonaisuutta:

1. Yleistiedot (projektin metatiedot, koordinaattijärjestelmät, yksiköt, rakennekirjastot jne.)
2. Perusaineisto (maastomallin- ja maaperämallin pinnat, viivat ja pisteet sekä näiden lajikoodaus ja kolmiopinnat)
3. Yleinen liikenneväyläsuunnittelu (tiet, kadut, vesiväylät ja rautatiet eli linjat, rakenteet taiteviivoina ja kolmiopintoina, geometria ja ominaisuuskoodit, mitoitusparametritietoa)
4. Vesihuoltoverkostot (kaivot, laitteet, putket, rummut, ominaisuudet ja perusmäärät)
5. Aluesuunnittelu (pintamaiset rakenteet, maisemointi, äänivallit, valaistus, liikennemerkit ja geotekniset rakenteet)
6. Pohjanvahvistus (pintamaiset rakenteet, vasta- ja ylipenkereet, massanvaihdot)
7. Rautatiet (kilometripaalutus, kallistus, vaiheet)
8. Varusteet (kaiteet, aidat, jalustat, valaisinpylväät ja liikennemerkit)
9. InfraBIM-nimikkeistö / Rakennusosanimikkeistö (kaikki pinnat, viivat ja muut kohteet) (Liukas & Kovalainen 2013)

Formaattia kehitetään yhdessä infra-alan mallinnuksen kanssa ja siihen on yhdistetty InfraBIM-nimikkeistön mukaiset nimikkeet mm. rakenneosille, pinnoille ja varusteille. Nimikkeistöään ei ole vielä kaiken kattava, vaan sitä päivitetään jatkuvasti uusien tarpeiden ilmaantuessa ja yleisten mallinnusohjeiden kehittyessä. Tästä syystä myös formaatissa ilmenee puutteita ja siksi sekin on jatkuvan kehityksen alla. Formaatti on tarkoitus säilyttää hyvin joustavana ja ohjelmistojen vapaan tulkinnan mahdollistavana avoimena tiedonsiirtoformaattina. (Hyvärinen, 2013)

Yhteinen ja avoin tiedonsiirtoformaatti avaa uusia mahdollisuuksia koko infra-alalla. Erityisesti tiedonhallinta helpottunee niin laadullisesti kuin määrällisesti, sekä tiedon välittäminen toimijalta toiselle yksinkertaistuu. Tiedonsiirron tavoitteena on mallipohjaisen toimintatavan myötä siirtyä mutkattomaan yhtenäisten formaattien käyttöön, jolloin kaikki mahdollinen tieto voidaan siirtää ohjelmistojen välillä eikä mitään tärkeää tietoa katoa prosesseissa. Tiedonhallinnan tulevaisuuden visio liittyy keskitettyyn ”tietopankkiin”, josta kaikki tuotettu ja projektiin liittyvä tieto on tarvittavassa muodossa kaikkien rakentamisen elinkaarivaiheiden hyödynnettävissä. (ks. Kuva 8)



**Kuva 8.** Tavoitekuva tiedonsiirrosta radanrakentamisen koko elinkaaren aikana.

Työmaan tehokkaan ohjauksen kannalta on tärkeää, että kaikki tarvittava tieto on saatavissa digitaalisessa muodossa ajasta ja paikasta riippumatta. Tiedon parempi saatavuus helpottaa tarvittavan tiedon löytymistä ja nopeuttaa siten päätöstentekoa ja parantaa työn suunnitelmallisuutta. Nykyinen informaationkulku työmaalla perustuu sähköposteihin ja niiden liitteinä lähetettäviin tiedostoihin. Kiireelliset tiedot työmaalta toimistolle välitetään yleensä puhelimitse asianomaiselle henkilölle eikä käytössä ole joukkoviestimiä, joilla tieto saataisiin kerralla kaikille työmaalla työskenteleville.

Nykyisessä toimintajärjestelmässä myös metatiedon liikkuminen on ongelmallista koko projektin elinkaaren aikana. Tarjouslaskentavaiheessa tehdyt päätökset siirtyvät kyllä suunnitteluun, mutta päätöksien taustalla oleva hiljainen tieto jää usein tarjouslaskijan omiin muistiinpanoihin. Sama koskee myös suunnittelijan tekemiä ratkaisuja, joista osaa saatetaan työmaalla jopa kyseenalaistaa tietämättä kaikkia suunnitteluratkaisuun johtaneita asioita. Tärkeä metatiedon välittymisen vaihe on myös rakentamisen aikaisten havaintojen ja informaation tallentaminen niin projektin ohjauksen ja seurannan käyttöön kuin rakennusprojektin päätyttyä kohteen kunnossapidon lähtötiedoiksi.

Yksi esimerkki metatiedon siirtymättömyydestä ovat tällä hetkellä gt-formaattiin perustuvassa Tielaitos-formaatissa siirrettävät maastomittaustiedostot. Tielaitos-formaatti ja -koodaus ovat maastomittaustiedostojen ainoa hyväksyttävä toimitustapa ja se perustuu Liikenneviraston Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot mittausohjeeseen. Tielaitos -formaattissa yksittäinen tieto koostuu yhdellä rivillä olevasta 7 eri sarakkeesta, jotka sisältävät mitatun pisteen pintatunnuksen (T1), mitatun taiteviivan numeron (T2), pisteen koodin (T3) ja järjestysnumeron sekä pisteen xyz-koordinaatit, mutta tieto mittausajasta, ajasta, käytetystä koordinaatisto- ja korkeusjärjestelmästä sekä mittausmenetelmästä, tulosten tarkkuudesta ja luotettavuudesta ei tielaitos -formaattia käytettäessä siirry loppukäyttäjälle. Formaatti on kuitenkin tekstipohjainen, joten esim. mittalaitteelta saatuun tiedostoon on mahdollista lisätä jälkikäteen tekstinkäsittely-ohjelmilla lisämäärerivejä eli ns. kommentteja kirjoittamalla rivin alkuun huutomerkki '?' (ks. Kuva 9). Nämä lisämerkinnät jäävät kuitenkin vain alkuperäiseen gt-tiedostoon eivätkä siirry eteenpäin käsiteltäessä ko. tiedostoa toisella sovelluksella tai ohjelmalla. (Liikennevirasto 2011)

TI	T2	T3	Nro	X	Y	Z
!Kartoitusaineisto lumitoissa vaistettavista varusteista						
!Ilmalan ratapiha 07022012						
9	0	755	5	6677698.115	2551556.387	21.448
9	0	755	6	6677699.234	2551557.070	21.471
9	0	90	7	6677699.507	2551556.287	21.699
9	0	285	11	6677709.921	2551560.355	21.331
9	0	285	12	6677706.173	2551559.076	21.342
9	0	755	13	6677701.553	2551552.397	21.424
9	0	717	14	6677703.925	2551553.651	21.511
9	0	717	15	6677703.000	2551556.386	21.518
9	0	717	16	6677707.633	2551557.757	21.488
9	0	717	17	6677708.457	2551555.197	21.482
9	0	717	18	6677711.154	2551556.057	21.458
9	0	717	19	6677710.319	2551558.638	21.459
9	0	717	20	6677714.846	2551560.220	21.409
9	0	717	21	6677715.740	2551557.457	21.415
9	0	755	22	6677718.944	2551557.887	21.271
9	0	755	23	6677717.440	2551562.954	21.266

**Kuva 9.** Esimerkki gt-formaatista.

## 1.4 Radan maanrakennustyömaan nykyinen ohjausmenetelmä ja sen ongelmat

VR Track Oy:ssä hyödynnetään tällä hetkellä erilaisia taulukkolaskentapohjia rakennusprojektien kustannus- ja aikatauluohjauksessa. VR Track Oy:n koulutusmateriaalissa Tuottavuus (2012) Pinomäki tiivistää, että tuottavuudella tarkoitetaan ennalta suunniteltuja työmaatoimintoja ja halua päästä eroon Leanin mukaisesta hukasta. Pinomäen havaintojen perusteella työmaan ajasta 40 % on odottelua, 30 % siirtymiä tai siirtämisiä ja vain 30 % itse arvoa tuottavaa tuotantoa.

Pinomäen (2012) mukaan kiire ei saa olla työmaata ohjaava tekijä, vaan tuottavuustyökaluilla on pyrittävä estämään kiireen syntyminen. VR Track Oy:ssä käytössä olevat tuottavuustoimenpiteet painottava tällä hetkellä eniten toimintojen ennakkosuunnittelua tehokkaamman aikataulutuksen muodossa ja suunnitelmien sekä toteutumien läpikäymistä viikkopalaverissa.

Tuotannon suunnittelu perustuu yleisaikatauluun, joka on parhaimmillaankin vain kokemuksen perusteella tehty hyvä arvaus, sillä suunniteltavan työn toteutusajankohta on yleensä puolen vuoden, vuoden tai jopa kahden vuoden päässä. Infrahankkeissa aikataulun ennustettavuutta heikentävät huomattavasti ympäristön olosuhteet, kuten sää ja maaperä. Tuottavuuden koulutusmateriaalissa painotetaan aikataulun

suunnittelussa projektille ja tilaajalle arvoa tuottavien selkeiden välitavoitteiden määrittämistä, jotta aikataulua pystytäisiin paremmin suunnittelemaan ja seuraamaan.

Työmaan aikatauluohjauksessa on käytössä 6-1 viikon ennakoiva suunnittelu, jossa suunnitellaan alkavan tehtävän rutiini 6-1 viikoksi, käynnissä olevien tehtävien viikkorutiini 3-1 viikoksi, mitataan aikataulun luotettavuutta ja tehdään poikkeuksille Lean -filosofian mukainen ”Viisi miksi”-analyysi. Huomattavaa on, että aikataulut suunnitellaan käänteisessä järjestyksessä lähtien liikkeelle jostain määritellystä välitavoitteesta nykyhetkeen. Näiden työkalujen avulla on Pinomäen (2012) mukaan mahdollista saavuttaa seuraavat hyödyt:

- Työnjohdon työkuorma pienenee
  - Työntekijöilläkin selkeä käsitys tavoitteista
  - Riitely vähenee
  - Työvaiheet saadaan kerralla kuntoon
- Häiriöt vähenevät paremman ennakkosuunnittelun avulla
  - Vähemmän ylitöitä, riitelyä ja menetettyä rahaa
- Esimiestyö paranee (työilmapiiri ja viestintä paranevat)
- Toistuvat häiriöt vähenevät (Viisi miksi -menetelmää hyödyntämällä)
- Laatu ja työturvallisuus paranevat
- Yhteistyö eri toimijoiden välillä paranee
- Projekti pysyy paremmin aikataulussa

Muutaman edellä mainittuja tuottavuustyökaluja hyödyntäneen työmaan jälkeen Pinomäki huomasi, että omien työntekijöiden ja aliurakoitsijoiden sitoutuminen projektiin parani huomattavasti, tarjoushintoja voitiin laskea häiriöiden vähentyessä ja tuotannon luotettavuuden parantuessa voitiin panostaa enemmän muihin kehitysalueisiin, kuten työmaan logistiikan kehittämiseen.

Työmaan aikataulut perustuvat kuitenkin vielä jana-aikatauluihin ja laskentataulukoihin, joihin tiedot on syötettävä käsin, eikä tieto eri taulukoiden (kustannus, aikataulu ja toteuma) välillä ole yleensä synkronoituvaa. Toisin sanoen viikkopalaverissa havaitut muutokset toteutumissa tulee päivittää käsin kirjaamalla aikatauluun ja seuraavien

viikkojen suunnitelmiin sekä kustannusten seurantataulukkoon. Taulukoiden päivittäminen vie paljon aikaa ja on myös haasteellista osittain puutteellisten toteumatietojen perusteella, sillä toteumatietoina käytetään mittaustuloksia, massansiirron kuormakirjoja sekä työmaapäälliköiden omia havaintoja.

Töiden aikataulutus on yleisesti hyvin lyhytjänteistä, sillä seuraavan viikon työt suunnitellaan aina edellisellä viikolla menneen viikon toteutumien perusteella tehden aikataulua korjaavia toimenpiteitä. Viikkopalaverissa käydään läpi nykytilanteen suhde yleisaikatauluun ja päätellään ollaanko suunnitellusta edellä vai jäljessä. Paperisina työmaalla julkaistavat aikataulut ja työohjeet hukkuvat yleensä muiden projektipapereiden sekaan ja ne ovat yleensä nähtävillä ainoastaan vain projektitoimiston ilmoitustaululla (ks. Kuva 10).

Aikataulujen määrittämisessä hyödynnetään tehojen, määrien ja suoritteiden lisäksi tilaajan määrittämiä sakollisia välitavoitteita, sekä itse asetettuja pakkopisteitä, kuten liikennekatkoksien minuuttiaikatauluja. Työvaiheiden kestot lasketaan päässä ennen taulukkolaskentaohjelmaan syöttämistä ja ainoastaan vankan henkilökohtaisen kokemuksen omaava henkilö pystyy arvioimaan aikataulun oikeellisuutta tarkemmin.



**Kuva 10.** Tyypillinen pienen radanrakennusprojektin projektitoimiston ilmoitustaulu.

Projektien kustannuksia ja etenemää seurataan esim. massojen kuormakirjoja seuraamalla Excel-taulukkolaskentapohjien perusteella. Kuormakirjojen tiedot syötetään viikoittain laskentataulukkoon ja verrataan siirrettyjä massoja suunniteltuihin määriin. Toteutumat täydennetään suunniteltuihin aikatauluihin Excel-pohjaisesti. Jokaisella projektipäälliköllä on omat taulukkopohjansa ja tapansa syöttää tietoja, yleensä myös toteutuman määrittäminen perustuu epämääräiseen arviointiin työmaapäälliköiden omien näkemysten pohjalta. Viikkopalaverissa saatetaan mm. määritellä jonkin työvaiheen olevan n. 85 % valmis, sen enempää toteutuneita massojakaan tarkistamatta.

Paperitulosteisiin ja PDF -tiedostoihin perustuvien aineistojen vuoksi jo projektin suunnittelun eri vaiheissa tietoa jää käyttämättä ja sitä katoaa eikä esim. suunnittelijoiden muistiinpanoihin jäänyt hiljainen tieto koskaan saavuta työmaata. Koska tiedonsiirrossa käytetään dokumenttipohjaisia tiedostoja, projektin suunnittelussa joudutaan tekemään paljon päällekkäistä työtä, esim. tarjousvaiheessa suunnitellut aikataulut suunnitellaan alusta asti uudelleen projektipäällikön toimesta. Paperiset tulosteet eivät myöskään ole kovin havainnollisia ja papereita kertyy projektin aikana erittäin paljon. Tällöin tarvittavan tiedon löytäminen on todella hidasta eikä aina kaikille välttämättä ole selvää mistä asiasta keskustellaan (*ks. Kuva 11*).



**Kuva 11.** Työmaanohjauskeskus projektitoimistolla.



## 1.5 Tavoite

Diplomityön tavoitteena oli tutkia ja kehittää dynaamista ohjausmenetelmää tietomallipohjaiseen rautatien maanrakennustyöhön. Tutkimuksen ensisijaisena tarkoituksena oli kehittää prosessikuvaus VR Track Oy:lle mallipohjaisen työmaan dynaamisesta ohjausmenetelmästä sekä testata ja arvioida kaupallisten sovellusten hyödynnettävyyttä tietomallipohjaisen radanrakennustyömaan dynaamisessa ohjauksessa. Lisäksi tutkittiin Inframodel3-tiedonsiirtoformaatin mahdollisuuksia ja kehityskohteita dynaamisen ohjausmenetelmän näkökulmasta.

## **2 RADANRAKENNUSTYÖMAAN DYNAAMISEN JA TIETOMALLIPOHJAISEN OHJAUSMENETELMÄN KEHITTÄMINEN**

### **2.1 Tietomallipohjaisen radanrakennustyömaan dynaamisen ohjauksen periaatteet**

Tietomallipohjaisuus yhdistettynä tiedonsiirron reaaliaikaisuuteen mahdollistaa rakennusprojektin paremman kustannus-, määrä- ja aikatauluhallinnan, eli toisin sanoen projektin ohjausta tunnettuun Toyotan tuotantojärjestelmään (TPS) pohjautuvan Lean -johtamisfilosofian mukaisesti. Lean -ajattelussa pyritään työn tuottavuuden lisäämiseen eliminoimalla tuotannon arvoketjusta seitsemän erilaista hukkaa eli kustannuksia ja viivästyksiä aiheuttavaa turhaa toimintoa koko organisaatiosta. Nämä hukat ovat siis lisäarvoa tuottamattomia kuljetuksia, liikettä, varastoja, odotusaikoja, ylituotantoa, yliprosessointia ja viallisia tuotteita. Näiden seitsemän hukan lisäksi Jeffrey K. Liker mainitsee kirjassaan Toyotan tapaan (2010) myös kahdeksannen hukan, työntekijöiden luovuuden käyttämättä jättämisen. Tämä pohjautuu käsitykseen siitä, että ihmiset ovat yrityksen joustavin resurssi ja jatkuva tuotannon kehittyminen ja parantuminen on mahdollista työntekijöiden innovaatioiden ja parannusehdotusten kautta.

TPS:n kaksi peruspilaria ovat JIT (Just In Time) ja Jidoka, joka tarkoittaa prosessin sisään rakennettua laatua. JIT, eli niin sanottu tuotannon imuohjaus, tarkoittaa sitä, että tuotteita tehdään oikea määrä oikeaan aikaan ja oikeaan paikkaan. Tämä ajattelutapa pohjautuu käsitykseen, että kaiken perustana on asiakkaan tarpeiden täyttäminen, oli se sitten prosessin sisäinen asiakas eli seuraava työvaihe tai prosessin ulkopuolinen tuotteesta maksava asiakas. JIT:n mukaisella toiminnalla pyritään estämään tärkeintä hukkaa, eli ylituotantoa, joka aiheuttaa suurimman osan muista kuudesta hukasta järkyttämällä imuohjaukseen perustuvaa tuotantoa tuottamalla ylimääräisiä tuotteita, jotka vaativat esim. kuljetuksia ja varastointia. (Liker, 2010)

JIT:n ja varastojen pienentämisen etu tulee ilmi siinä, että henkilökunnan on huolehdittava tuotantokaluston kunnosta ja seisokkeja ennalta ehkäisevistä huolloista, sillä kaluston rikkoutuminen vaikuttaa välittömästi lopputulokseen, kun puskurivarastoja ei ole ollenkaan. Tämä edesauttaa henkilöstön sitoutumista prosessien jatkuvaan kehittämiseen mm. poistamalla havaitsemansa hukka tuotannosta ja kehittämällä omaa työskentelyään mahdollisimman tehokkaaksi. (Liker, 2010)

Radanrakennustyömaalla JIT:n mukaista imuohjausta voidaan hyödyntää töiden aikataulutuksessa ja suunnittelussa siten, että aina edellisen työvaiheen valmistuttua voidaan välittömästi osoittaa seuraava työvaihe ja materiaalia tilataan vain tarpeeseen ja sen kulutusta tarkkaillaan jatkuvasti, jotta suurilta poikkeamilta vältytään. Esimerkiksi kaivinkoneen kuljettaja voisi työvaiheen viimeistelyään varata itselleen seuraavan työvaiheen odottavien töiden listalta. Maanrakennustyömailla maamateriaalin varastointitarpeet ovat yleensä hyvin suuria ja esim. poistetun, rakentamiseen kelpaamattoman maa-aineksen varastointi ennen sen loppusijoitusta on hukka, josta on mahdollista päästä eroon paremmalla massojensiirron ennakkosuunnittelulla.

Toinen Leanin peruspilareista, Jidoka, tarkoittaa vastaavasti tuotannon pysäyttämistä, mikäli havaitaan toimintahäiriö, laatuvirhe tai jonkin muu arvoa heikentävä hukka. Siitä käytetään myös termiä autonomaatio kun tarkoitetaan inhimillisen älyn yhdistämistä koneeseen, jotta se pysähtyisi automaattisesti havaitessaan ongelmia. Jidokan avulla estetään virheellisten suoritteiden siirtyminen arvoketjussa eteenpäin, tunnistetaan ja ratkaistaan ongelmia sekä rakennetaan parempaa laatua koko tuotantoprosessissa eli luodaan prosessiin sisäistä laatua. (Liker 2010)

Radanrakentamisessa Jidokan opit tulevat vastaan seuratessa valmistuvien rakenteiden laatua mittauksilla jatkuvasti työn edetessä, sen sijaan, että mittaukset suoritettaisiin vasta täysin valmiista rakenteista. Mikäli mittauksen havaitaan ylittävän koneelle tai rakenteelle määritetyt laatutoleranssit, prosessi keskeytetään välittömästi laatuvirheen paikantamiseksi ja korjaamiseksi ennen rakentamisprosessin jatkamista, jotta virheen vaikutus seuraaviin työvaiheisiin on mahdollisimman pieni. Koneohjausjärjestelmiä voidaan hyödyntää rakentamisen laadun tarkkailussa monella eri tapaa. Järjestelmä voidaan esimerkiksi asettaa ilmoittamaan kuljettajalle laatu-poikkeamasta, mikäli koneen

paikannustarkkuus ei ole riittävä kyseisen työvaiheen suorittamiseen tai kun valmiin rakenteen laatu poikkeaa liikaa sille asetetuista raja-arvoista. Tärkeää on varmistua myös itse mittalaitteiden ja työkoneiden tarkkuudesta.

Dynaaminen mallipohjainen työmaan ohjaus tukeutuu vahvasti kaiken mahdollisen tiedon tarkasteluun ja käsittelyyn digitaalisena sekä mallipohjaisena, reaaliaikaiseen työmaanseurantaan ja reaaliaikaiseen että nykyistä avoimempaan tiedonsiirtoon projektin eri osapuolten kesken. Sivistyssanakirjan mukaan dynaaminen tarkoittaa sanana voimakasta, energistä, aktiivista, elävää, liikkuvaa, muuttuvaa, kehittyvää sekä voimaa koskevaa. Sen synonyymejä ovat mm. muutoksiin valmis, eteenpäinpyrkivä, liikettä sisältävä, muutosta sisältävä ja muuttuvuus. Dynaamisen vastakohtaksi määritellään staattinen, joka kuvastaa paikallaan pysyvää ja muuttumatonta (SuomiSanakirja.fi 2013).

Urpo Jalava ja Risto Matilainen määrittelevät kirjassaan *Dynaaminen johtaminen – kohti yhteisöllistä ja näkemyksellistä johtamista* (2010) dynaamisen johtamisen olevan eteenpäin katsovaa, innovatiivista, vastuullista ja yhdensuuntaista toimintaa organisaation kaikissa osissa sekä johtamismalli, jossa strategista muutosta johdetaan kokonaisvaltaisesti ja yhteisöllisesti. Heidän mukaansa dynaamisen johtamisen malli vastaa useisiin nykyorganisaatioiden ongelmiin, sillä globalisaatio, talouden liberalisointi ja teknologioiden nopea kehitys muuttavat organisaatioiden toimintaympäristöjä jatkuvasti haasteellisemmiksi. Samaan aikaan kun johtaminen on kehittynyt mekaaniseksi, roolimaiseksi, sidottuihin tavoitteisiin, hierarkiaan ja erikoistumiseen perustuvaksi tulosjohtamiseksi, tulisi strateginen ja operatiivinen toiminta sekä näkemyksellinen ja yhteisöllinen johtaminen yhdistää, jotta johtamisesta saadaan kehitettyä älykkäämpää, tehokkaampaa, helpompaa ja miellyttävämpää edistään samalla yhteisen arvon tuottamista.

Prosessien kehittäminen ja koko organisaation systeeminen muutos onnistuvat paremmin, kun työntekijät haastetaan mukaan toiminnan kehittämiseen ja he pystyvät näkemään omat vaikutusmahdollisuutensa ja saavutuksensa. Yhteisöllisessä johtamisessa on ennen kaikkea kyse yrityskulttuurin luonteesta: sen tulee olla tukeva, salliva ja mahdollistava, ei missään nimessä rajoittava tai valvova. Organisaation tulee

arvostaa totuutta, objektiivisuutta, yhteisöllisyyttä, kokonaisuuden etua, innovatiivisuutta ja tekemisen merkitystä. Yksittäisten henkilöiden motivaatiota, sitoutumista, luottamista, arvostusta, avoimuutta, vapaaehtoisuutta, konfliktien poistoa ja vanhojen toimintatapojen kyseenalaistamista on tuettava. Yhteisöllistä toimintaa tukevat myös sosiaaliset mediat sekä riittävä määrä henkilökohtaisia tai yhteisöllisiä onnistumisen kokemuksia, tyytyväisiä asiakkaita ja pitkäkestoisia toimittajasuhteita. Jalava ja Matilainen (2010) uskovat lisäksi, että yrityksen johdon, esimiesten ja henkilöstön aikaisempaa laajempi positiivinen yhteisvaikutus niin suunnittelussa, päätöksen teossa ja toteutuksessa parantaa koko yrityksen toiminta- ja kilpailukykyä, lisää toiminnan synergiaa sekä henkilöstön sitoutumista.

Dynaaminen johtaminen on kokonaisvaltaista ja siinä sosiaalista pääomaa hyödynnetään osana strategista johtamisesta. Jalava ja Matilainen uskovat, että on mahdollista yhdistää selkeä strateginen johtamistapa sekä motivoiva työyhteisöllinen ja strategiajohtoinen autonomisuus ja omaperäisyys. He uskovat lisäksi, että työyhteisö on kyvykäs toimimaan itsenäisesti ja suuntautumaan yhä uudelleen kohti yhteisiä tarkentuvia tavoitteista. Tällainen oppiva organisaatio on edellytys dynaamiselle johtamiselle, sillä eri ryhmien välille muodostettavat sidokset edistävät innovatiivisuutta sallimalla toimintavapauden. Dynaamisen johtamisen yhtenä tavoitetilana on se, että yrityksen kaikki henkilöt, niin johto, keskijohto kuin työntekijätkin tiedostavat oman merkityksensä kokonaisuudessa ja osaavat mukautua ympäristössä tapahtuviin muutoksiin. Dynaaminen johtaminen korostaa pitkäjänteistä toimintaa kokonaisuuden hyväksi ollen eräänlainen kestävä kehityksen johtamismalli. (Jalava & Matilainen 2010)

Tämän perusteella tietomallipohjaisen työmaan dynaamisen ohjauksen voi määritellä olevan reaaliaikaisesti ja voimakkaasti työmaan impulsseihin vastaavaa tietomalleja hyödyntävää kokonaisvaltaista ja muuntumiskykyistä yhteisöllisen rakennusprojektin ohjausta.

## 2.2 Työmaan päävaiheiden dynaamisen ohjausmenetelmän kehittäminen

Työmaanohjauksen tehtävä on toimeenpanna ja valvoa rakennustyötä, analysoida havaittuja poikkeamia, tarkastaa suunnitelmat ja toteuttaa tarvittaessa työtä ohjaavia toimenpiteitä yhteisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Radanrakennustyömaan ohjauksen tärkeimmät hallittavat osa-alueet projektin tuottavuuden kannalta ovat aikataulu, kustannukset ja resurssit. Resursseina voidaan käsittää kaikki työn toteuttamiseen tarvittavat aineelliset ja aineettomat tarpeet, kuten materiaali, henkilöstö, työkoneet, motivaatio ja tietotaito. Mikäli jonkin työtehtävän suorittamiseen vaadittava resurssi puuttuu, ei tehtävää pysty toteuttamaan lainkaan tai ainakaan tarpeeksi laadukkaasti, mikä vaikuttaa negatiivisesti projektin tuottavuuteen.

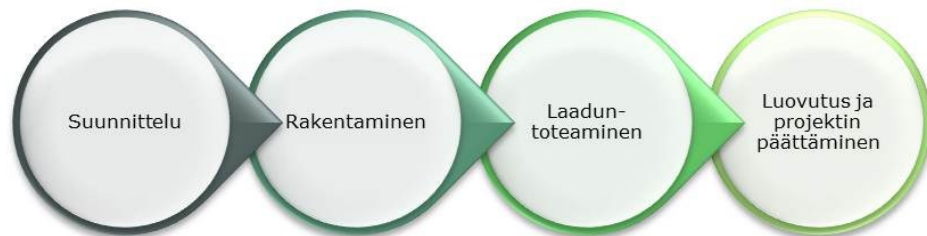
Rakennusprojektin valvonnan ja ohjauksen yhtenä työkaluna voidaan käyttää projektin tuottavuuden seurantaa, sillä sen avulla on mahdollista havaita poikkeamia ja suunnitella tuotantoa ohjaavia toimenpiteistä. Tuottavuuden tarkka mittaaminen on kuitenkin haasteellista, sillä jokainen rakennusprojekti on ainutlaatuinen eikä eri projekteja ja niiden tuottavuutta voida näin ollen verrata keskenään luotettavasti. Tästä syystä rakennusprojektin tuottavuutta mitataan osatuottavuuksien avulla ja työmaan tehokkuuden ja onnistuneisuuden arviointiin kannattaa käyttää kuvaavia tunnuslukuja.

Heikki Jokiniemen (1993) mukaan yritystasolla projektien tuottavuusmittareita ovat työpanoksen suhde tuotantotulokseen, pääomapanoksen suhde tuotantotulokseen ja materiaalipanoksen suhde tuotantotulokseen eli toisin sanoen työn tuottavuus, pääoman tuottavuus ja materiaalituottavuus sekä projektin kokonaistuottavuus, joka tarkoittaa koko toiminnan tuloksellisuutta. Yksittäisten rakennusprojektien tuottavuuden arviointiin käytetään vastaavasti tunnuslukuja, joilla on selkeä mittauskohde, tavoitearvo ja riittävä informaatioarvo, jotta tunnuslukuja voidaan hyödyntää tuottavuuden arvioinnissa. Tunnuslukuja voidaan hyödyntää myös työnsuunnittelussa ja -seurannassa, tuotannon diagnosoinnissa sekä hälyttämään tuotantopoikkeamista. Tunnuslukuja seuraamalla ja diagnosoimalla niiden muutoksia, saadaan projektin tuottavuuskehityksestä arvokasta tietoa ja tuotantomenetelmiä voidaan kehittää oppimisen kautta. Näitä yksittäisten projektien tuottavuuden arviointiin käytettyjä tunnuslukuja ovat Jokiniemen mukaan osatavoitteiden mukaan jaoteltuina:

1. Työmaaresurssien käytön tunnusluvut
  - työmenekit, poissaolot, keskituntiansiot, työvoiman resurssi- eli vahvuuskäyrät
  - materiaalimenekit
  - aliurakoiden työnohjaus, aliurakoiden kustannukset
  - koneiden ja kaluston käytön suunnitelmien toteutuneisuus ja onnistuneisuus, kone- ja kalustokustannukset
2. Laatumavoitteet ja tunnusluvut
  - reklamaatiot
  - laatumavoitteiden toteutuneisuus
  - jälkihoidot ja vuosikorjaukset
3. Aikataulutavoitteiden tunnusluvut
  - valmistumisen myöhästyminen
  - aikataulupoikkeamat
4. Logistiikan tunnusluvut
  - hankintojen toimitus ja ajoitus
  - työmaan materiaalin käsittely
  - siirrot ja varastointi
5. Työmaan käyttö- ja yleiskustannusten tunnusluvut
  - energian käyttösuunnitelmat
  - muut käyttö- ja yhteiskustannukset
6. Projektiasiakirjojen ja rakennuttamisen tunnusluvut
  - suunnittelu-aikataulun noudattaminen
  - lisä- ja muutostyöt
  - rakennuttajan tyytyväisyys
7. Pääoman käyttö ja sen tunnusluvut
  - yksikkökustannukset
  - laskutus-kustannustasapaino
  - projektin kate ja lopputulos
8. Työturvallisuuden tunnusluvut
  - tapaturmataajuus
  - sairauspoissaolot

Edellä mainitut tunnusluvut kuvaavat tuottavuutta lähinnä niiden onnistuneisuuden perusteella ja kääntäen ajateltuna, näiden tavoitteiden onnistuminen parantaa projektin tuottavuutta. Huomattavaa kuitenkin on, että kaikkia edellä mainittuja tunnuslukuja ei voi eikä kannatakaan käyttää samanaikaisesti niiden seurannan vaatiman työmäärän vuoksi, vaan projektin alussa tulisi yhteisesti valita muutama kyseisen projektin kannalta tärkeä tunnusluku jatkuvaan seurantaan. (Jokiniemi 1993)

Rakennusprojekti on perinteisesti ajateltu muodostuvan neljästä järjestyksessä etenevästä vaiheesta, jotka ovat suunnittelu, rakentaminen, laaduntoteaminen sekä luovutus ja projektin päättäminen (ks. Kuva 12). Perinteisessä rakennusurakassa eli niin kutsutussa kokonaisurakassa urakoitsija saa valmiit ja hyväksytyt suunnitelmat tilaajalta ennen rakentamisen aloittamista. Laaduntoteaminen tarkoittaa rakenteiden paikalleen mittausta rakentamisen jälkeen ja tuloksien vertaamista suunnitelmiin. Asiakkaalle luovuttamista varten projektin kaikista raporteista ja laatudokumenteista kootaan tuloksena erilaisia kansioita, joista jää kopiot sekä urakoitsijalle että asiakkaalle projektin päättämisen jälkeen.



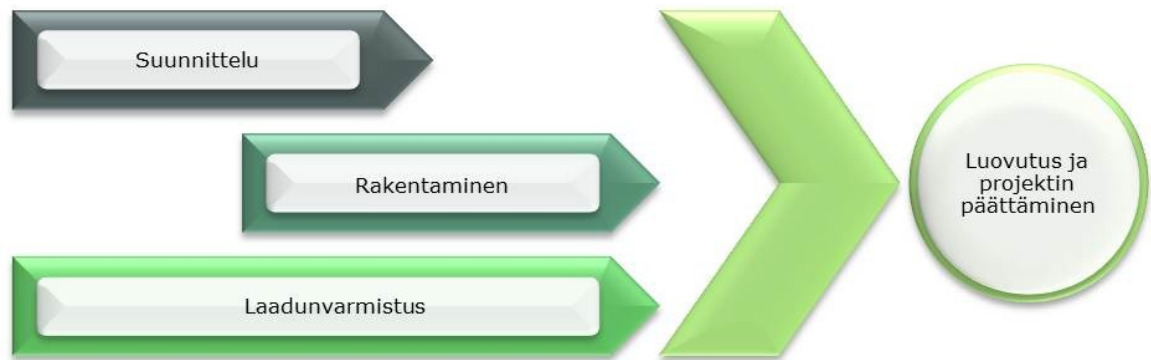
**Kuva 12.** Perinteinen rakennusprosessi.

Urakkamuotona ST -urakat (suunnittele ja toteuta) poikkeavat jo lähtötilanteeltaan perinteisistä rakennusprojekteista, sillä suunnittelu sisältyy urakkaan ja tilaaja toimittaa usein vain alustavat yleissuunnitelmat tarjouspyynnön yhteydessä urakoitsijoille. Yksi ST -urakoiden etu on aikataulun tiivistämisessä, sillä kaikkien suunnitelmien ei tarvitse olla valmiina ennen rakentamisen aloittamista. Tämä lyhentää koko rakennusprojektin



kestoja vaikuttaen ensisijaisesti hankesuunnitteluun ja tarjousvaiheisiin. Muina ST -urakoiden etuina voidaan pitää urakoitsijoiden parempaa mahdollisuutta hyödyntää omaa tietotaitoaan suunnitteluratkaisuissa sekä parempia vaikutusmahdollisuuksia projektin aikataulutuksen- ja toteutuksen suunnitteluun.

Uutena piirteenä niin ST -urakoihin kuin muihinkin urakoihin on tullut jatkuva prosessinsisäinen laadunvarmistus, joka tähtää Lean -johtamisfilosofian mukaiseen tuottavuuden kasvuun (ks. Kuva 13). Laadunvarmistus kuuluu kaikkiin projektin vaiheisiin kiinteänä osana, jotta toiminnan sujuvuudesta voidaan varmistua. Karsimalla tuotannosta ylimääräiset hukat ja rakentamalla kerralla oikein, voidaan saavuttaa suuria taloudellisia säästöjä.



**Kuva 13.** ST-urakassa hyödynnettävä laadunvarmistuksen integroiva rakennusprosessi.

### 2.2.1 Ohjaus rakennusurakan aloituksessa

*Ennen hyvin suunniteltu oli puoliksi tehty*

*– Nykyisin hyvin tehty saattaa olla jopa puoliksi suunniteltu (Hedvall)*

Mallipohjaisen rakennusurakan aloituksessa määritellään yleensä jo tarjousvaiheessa valitun projektipäällikön johdolla urakan aikataulu, budjetti ja resurssitarpeet riippumatta urakkatyypistä. Projektin suunnittelussa hyödynnetään tarjousta varten laskettuja aikatauluja, budjetteja ja resurssitarvemääryksiä dokumenttipohjaisten tarjousasiakirjojen pohjalta, mutta yleensä tietoa ei saada suoraan tarjousvaiheesta malleina tai muussa jatkohyödynnettävässä muodossa.

ST-urakoissa projektin aloituksella on yleensä todella kiire, sillä projektit on aikataulutettu hyvin tiukoiksi ja rakentamaan on päästävä mahdollisimman pian. Tästä syystä rakentaminen aloitetaan sitä mukaa kuin suunnitelmia tehdään, mikä tarkoittaa joskus rakentamisen aloitusta myös tilaajan myöntämällä erikoisluvalla yleissuunnitelmien pohjalta. Kappaleen alussa olevassa Hedvallin lainauksessa mainitaan nykyinen ja vanha rakennusprosessi (ks. Kuva 12 ja Kuva 13). Hedvallin toteama liittyy osittain myös siihen, että nykyisin tietomalleja hyödyntävä suunnittelu tehdään usein puutteellisesti, sillä suunnittelijalta edellytetään edelleen vanhaan tapaan tulostettuja poikkileikkauksia rakenteesta 20 m paaluvälein. Tällöin suunnittelijan ei ole kannattavaa käyttää aikaa poikkileikkausten väliin osuvien kohteiden tarkkaan suunnitteluun, vaan ne jätetään työmaan ratkaistaviksi ja haastavat rakenteet voidaan jättää kokonaan suunnittelematta mallipohjaisesti ja piirtää poikkileikkauksiin jälkikäteen. Dokumenttipohjaisten poikkileikkaukuvien ulkopuolelle ja työmaan ratkaistavaksi saattaa jäädä paljon sellaisia asioita, joita suunnittelussa ei ole huomioitu vaikka tietomallipohjaisuus olisi mahdollistanut yksityiskohtaisenkin suunnittelun.

Tarjousta edeltävässä vaiheessa tilaajan suunnittelukonsultilta tilaama kokonaissuunnitelma kiertää suunnitteluohjelmasta tulostettuina 2D-kuvina, joko paperisina tai PDF -tiedostoina, hyväksyntäkierroksen rakennuttajakonsultin kautta ennen urakoitsijoiden tarjouskilpailua. Yleensä tarjouspyyntö on paperikansio, jonka dokumentit voivat olla myös sähköisinä dokumentteina CD-levyillä tai USB -muistitikulla, kuten esim. massaluettelot. Dokumenttipohjaisten tarjousasiakirjojen pohjalta urakoitsijalla on yleensä laskenta-aikaa 3-4 viikkoa. Tämä tarkoittaa pahimmassa tapauksessa sitä, että urakoitsija joutuu suunnittelemaan kohteen uudelleen 20 m välein tulostettujen paperisten poikkileikkaukuvien perusteella, jotta mallipohjaisten työkalujen hyödyntäminen olisi mahdollista urakkatarjousvaiheessa. Tässä toimintatavassa informaation laatu heikkenee ja sitä saattaa jopa kadota, etenkin jos tilaajan suunnittelukonsultilta tilaamista mallipohjaisista suunnitelmista tuotetaan 2D- kuvia ja taulukoita urakkalaskentaan eikä jo suunniteltua tietomallia siirretä tarjouspyynnön mukana urakoitsijoiden käyttöön.

Mikäli rakennusurakkaa edeltää edes osittain mallipohjainen tarjousvaihe, kannattaisi myös kaikki urakkaan liittyvät tilaajan suunnittelukonsulttien hanke- ja kokonaissuunnitteluvaiheessa käyttämät aineistot siirtää lähtötiedoiksi rakennusurakan aloituksessa tehtäviin tarkempiin määrityksiin. Tämä edistäisi tietomallien hyödyntämistä kattavasti koko rakennusurakan elinkaaren aikana aina yleissuunnittelusta rakentamissuunnitteluun, aikataulutukseen ja työvaiheistukseen, sekä toteuman- ja laadunvarmistukseen.

Kaikissa rakennusprojektin vaiheissa, sen eri osapuolilla, on kasvanut tarve määritellä aiempaa tarkemmin mitä suunnitelmilta vaaditaan ja miten se tulee mallintaa. Talonrakennusalan tietomallivaatimuksia ja tietomallipohjaista elinkaariosaamista on tutkittu ja kehitetty laajassa COBIM -kehittämishankkeessa ja sen pohjalta on koottu julkaisusarja Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Julkaisusarja kokoaa yhteen tietomallipohjaisen toiminnan ohjeistukset ja kokemukset sekä selkeyttää tietomallinnuksella saavutettavia hyötyjä, kuten suunnittelun ja rakentamisen parempaa laatua, tehokkuutta, turvallisuutta ja kestäväen kehityksen mukaisen hanke- ja elinkaari-prosessin tukemista. Julkaisusarjan osassa 12 Tietomallipohjaisen projektin johtaminen on käsitelty paljon myös infra-alalle soveltuvia keinoja tietomallien kattavampaan hyödyntämiseen projektin ohjauksessa. (YTV 2012, osa 11)

Yleisten tietomallivaatimusten mukaan tarjousvaiheessa urakoitsijalle luovutettavia aineistoja olisivat Inframodel -muotoiset yleissuunnittelun tietomallit, jotka sisältäisivät tarvittavan informaation, kuten määräluettelot. Mikäli urakan suunnittelu on tilaajan vastuulla, voitaisiin tietomallit liittää urakkasopimukseen teknisiksi asiakirjoiksi, joilla on keskinäinen pätevyysjärjestys. Malleilla täytyy olla myös ajantasaiset tarkastuspöytäkirjat, eli ns. tietomalliselostukset, jotta niiden luotettavuudesta, laajuudesta, tarkkuudesta ja valmiusasteesta voidaan varmistua. Jos urakoitsijalta edellytetään tietomallien hyödyntämistä rakentamisessa, voitaisiin mallit toimittaa tältä osin tilaajaa ja suunnittelijaa sitovina. (YTV osa 11 2012)

Hyödynnettäessä tietomalleja tuotteen koko elinkaaren ajan, suunnittelusta käyttöön ja ylläpitoon, mahdollistetaan mm.:

- Eri investointiratkaisujen toimivuuden, laajuuden ja kustannusten vertailu
- Suunnitelmien havainnollistaminen ja rakennettavuustarkastelut
- Laadunvarmistuksen, tiedonsiirron ja koko suunnitteluprosessin tehostaminen
- Hankkeen aikana kertyneen tiedon hyödyntäminen käytön ja ylläpidon prosesseissa
- Energia-, ympäristö- ja elinkaarianalyysit toteutusratkaisujen vertailua, suunnittelua ja ylläpidon tavoiteseurantaa varten (YTV 2012, osa 11)

Tarjousvaiheen aikaisia asiakirjoja ja tietomalleja tulisi mahdollisuuksien mukaan hyödyntää myös rakennusprojektin perustamisessa, kun rakentamista ollaan todella aloittamassa. Projektin perustamisessa pohjaksi olisi saatava yleisaikataulun lisäksi muut tarjousvaiheessa muodostetut tiedot, kuten esimerkiksi alustava resurssisuunnittelu, jonka pohjalta on helpompi tehdä tarkempia aikatauluja ja työvaihesuunnitelmia.

Maanrakennusurakan seurannan pohjana toimii suunnitelmien mukainen määrä- ja suoriteluettelo, johon työmaan toteutumia tulisi olla mahdollista verrata. Maanrakennusurakoissa maamassat ja niiden kuljetukset muodostavat yleensä huomattavan osan koko projektin kustannuksista. Tästä syystä määrä- ja suoriteseurannalla on mahdollista seurata kattavasti koko projektin etenemää. Mitä tarkemmin projekti pystytään suunnittelemaan aikataulutuksen, resursoinnin sekä määrä- ja suoriteseurannan perusteella ennen rakentamisen käynnistymistä, sitä helpompi projektia on ohjata rakentamisen ollessa käynnissä.

### **2.2.2 Ohjaus rakennusurakan rakentamisvaiheessa**

Rakentamisvaiheen ohjauksella varmistetaan, että rakentaminen tapahtuu sopimuksien mukaisesti, turvallisesti ja tehokkaasti. Ohjauksen tavoitteena on varmistaa, että asiakkaalle luovutettava tuote vastaa sille asetettuja teknisiä ja laadullisia vaatimuksia sekä omaa tarvittavat käyttö- ja ylläpitovalmiudet.

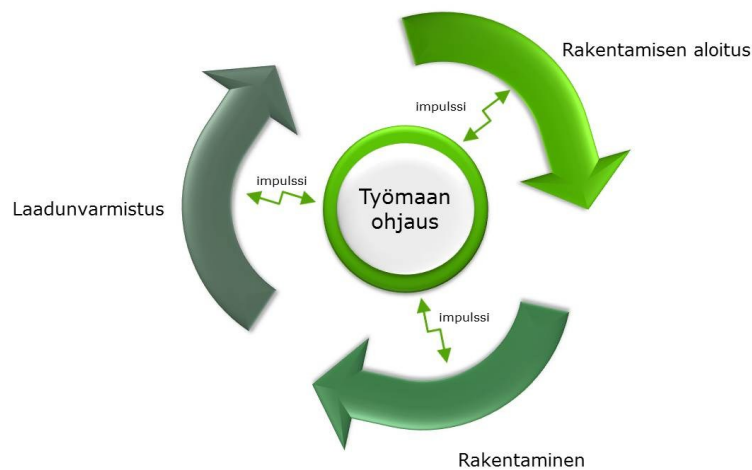
Mallipohjaisessa rakennusurakassa rakentamisvaiheen ohjaus on todella haastavaa perinteisin ohjausmenetelmin eivätkä työmaiden toimintamallit ole muuttuneet yhtä radikaalisti, kuin itse rakentaminen 3D-koneohjausjärjestelmien yleistymisen myötä. Tietoisuus ja ymmärrys tuotannon tehokkuuden ja tuottavuuden parantamiseksi on kuitenkin lisääntynyt huomattavasti. Työmaan ohjauksen kehittymisen yhtenä esteenä on ollut mallipohjaisen työmaanohjauksen mahdollistavien työkalujen puuttuminen, minkä vuoksi työmaan ohjaukseen osallistuvilla henkilöillä ei ole ollut muuta mahdollisuutta, kuin ottaa paperikuvat mukaan työmaalle ja pyrkiä parhaansa mukaan pysymään ajan tasalla työmaan edistymisestä laskentataulukoiden ja kuormakirjojen avulla.

Tietomallipohjaisen työmaan ohjaus vaatii työmaanjohtolta erikoisosaamista uusien ohjelmistojen käytön ja tietomallien käsittelyn vuoksi. Tietomallipohjaisella ohjauksella on kuitenkin saavutettavissa lukemattomia hyötyjä työmaan rakentamisvaiheen ohjauksessa, kuten mm.:

- reaaliaikainen toteumatieto työmaalta
- reaaliaikainen käsitys työmaan aikataulusta
- etäyhteydet työkoneiden ja työmaan ohjauksen välillä
- suunnitelmien visuaalinen tarkastelu ja vertailu
- ongelmakohtien visuaalinen tarkastelu
- toteutusmalleja voi tuottaa tarvittaessa lisää
- työmaa-alueen tilanhallinnan suunnittelu
- rakenteiden laadun mallipohjainen ja visuaalinen tarkastus
- rakennettavuus- ja työturvallisuussuunnittelu
- materiaalien hankinnan ohjaus
- paikkatietoon sidotut määräluettelot
- reaaliaikaiset massansiirtosuunnitelmat (sähköisen kuormakirjat)

Rakennustoiminnan kehittyminen mallipohjaiseksi vaikuttaa vääjäämättä myös työmaiden organisaatorakenteeseen, sillä erikoisosaamista vaaditaan ja työmaa tarvitsee tukihenkilöitä, jotka hallitsevat laajasti tietomallit, niiden käsittelyn ja malleilla saavutettavat hyödyt ja osaa ottaa mallipohjaiset työkalut hallitusti käyttöön.

Dynaamisessa ohjausmenetelmässä ohjauksen perustana käytettävän tiedon reaaliaikaisuus on tärkeää ja se mahdollistetaan seuraamalla työmaata reaaliaikaisesti ja keräämällä työmaan edistymää mittaavia havaintoja jatkuvasti. Rakentamisen jatkuva laadunvarmistus ja toteumamittaukset antavat arvokasta tietoa työmaan etenemästä ja rakentamisen laadusta. Työmaan ohjauksen olisi pysyttävä vastamaan työmaalta tuleviin havaintoimpulsseihin välittömästi, jotta mahdollisista laadunalituksista ja muista ongelmatilanteista selvittäisiin nopeasti ja ongelmat eivät kumuloituisi seuraaviin työvaiheisiin (ks. Kuva 14).



**Kuva 14.** Työmaan ohjauksen ja rakennustyömaan väliset impulssit, joihin ohjauksen on reagoitava.

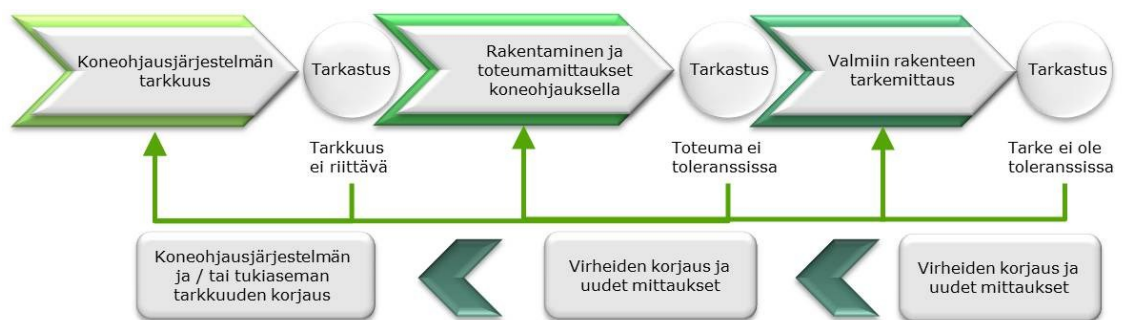
Reaaliaikaisesti radanrakennustyömaalta saatavia impulsseja, joihin työmaan johdon on pikaisesti pystyttävä reagoimaan, ovat mm.:

- toteuma- ja tarkemittaustulokset
- tuotannon häiriöt
- ilmaantuneet muutostarpeet
- poikkeamat suunnitelmista
- innovaatiot
- aikatauluhavainnot
- säämuutokset

Tietomallipohjaisten suunnitelmien tarkastamiseen tarvitaan tietomalleihin perehtynyt henkilö, ns. tietomallikoordinaattori, jonka vastuuna on toteutusmallien tarkastaminen ja mallien rakennettavuuden toteaminen. Työmaan ohjauksen pitää pystyä varmistuman siitä, että työmaalla olevat mallit ovat ajan tasalla ja virheettömiä, jotta niiden avulla voidaan rakentaa kerralla oikein eikä korjaavia toimenpiteitä tarvitse suorittaa. Mallipohjaisuuden myötä on mahdollisuus helpottaa ja yksinkertaistaa myös työmaiden informaatioliikennettä ja laajentaa projektinjohdon käsitystä projektin todellisesta tilanteesta.

### 2.2.3 Ohjaus rakennusurakan laadunvalvonnassa

Työmaan dynaaminen ja mallipohjainen ohjaus edellyttää reaaliaikaista työmaan toteuman ja laadun seurantaa, joka on samalla osa projektin sisäistä laadunvalvontaa. Mallipohjaisessa rakennusurakassa laadunvalvonta integroidaan prosessin sisäiseksi toiminnoksi, mikä kuuluu kiinteästi dynaamiseen työmaan ohjaukseen. Mallipohjaisen rakennusurakan laadunvalvonta voidaan toteuttaa monella eri tapaa, se voi perustua perinteiseen jälkikäteen tapahtuvaan laadun toteamiseen, mutta jotta siitä saataisiin enemmän hyötyä koko projektin dynaamisessa ohjauksessa, laadunvalvontaa tulisi toteuttaa jatkuvana prosessina työmaan tärkeisiin toimintoihin sisältyen (ks. Kuva 15).



**Kuva 15.** Tietomallipohjaisen työmaan laadunvalvonnan ohjaus koneohjauksen näkökulmasta.

Tärkein tekijä tietomallipohjaisen työmaan laadunvalvonnassa on suunnitelmien, eli tietomallien riittävä laatu. Työmaan pitää pystyä varmistumaan siitä, että suunnitelmat, aikataulut ja tietomallit ovat oikeasisältöisiä, niissä ei ole virheitä ja niiden muoto ja

formaatti ovat oikeat, sillä kaikki muut toiminnot perustuvat näihin malleihin. Mikäli mallien oikeellisuudesta ei voida varmistua ja niiden sisältämät virheet huomataan vasta työmaalla rakentamisvaiheessa tai lopullisessa rakenteiden laadunvarmistuksessa, ovat mallien laatu puutteiden seuraukset huomattavat. Virheiden korjaaminen lisää kustannuksia, viivästyttää aikataulua ja vaikuttaa seuraaviin työvaiheisiin. Lopullisen rakenteen sovittua huonommasta laadusta voidaan joutua myös tekemään arvon alennuksia, jolloin kustannusvaikutukset ovat merkittävät.

Toteutusmalleja hyödyntäessä on mallien riittävän laadun toteamisen jälkeen varmistuttava päivittäin itse työkoneiden ja niiden mittalaitteiden riittävästä tarkkuudesta kyseessä olevan rakenteen rakentamiseen. Työkoneen työterän paikannustarkkuuden riittävydestä voidaan varmistua seuraamalla tukiaseman ja työkoneen GNSS-vastaanottimien antamia tarkkuustietoja sekä suorittamalla tukiasemien ja työkoneiden tarkistusmittauksia tunnetuilla työmaan mittausperustan pisteillä takymetrillä. Mikäli paikannustarkkuus havaitaan riittämättömäksi tai siinä on virheitä, tulee havaitut ongelmat korjata ennen kuin työskentelyä voidaan jatkaa esim. kalibroimalla työkoneet uudelleen ja korjaamalla tukiaseman antennin sijaintivirheitä.

Jatkuvassa laadunvalvonnassa työkoneen kuljettajat ottavat toteumapisteitä valmiista rakennepinnasta rakentamisen edetessä. Näiden toteumapisteiden avulla koneenkuljettaja voi seurata oman työnsä laatua ja työnjohto voi tarkkailla työmaan etenemää ja valmiiden rakenteiden laatua. Mikäli toteumapisteiden perusteella havaitaan toleranssiarvot ylittäviä poikkeamia suunnitelluista rakenteista, voidaan poikkeamat aiheuttaneet virheet paikantaa ja korjata nopeasti ennen suurempaa vahinkoa.

Kun tehtyjen toteumamittausten perusteella voidaan silloisen työvaiheen todeta olevan oikealaatuista, tehdään lopullinen rakenteen laadunvarmistus lopputuotteen tarkemittauksilla. Tämä tarkoittaa mittaushenkilöstön takymetrillä toteuttamia tarkemittauksia, joilla varmistetaan rakenteen lopullinen sijainti ja korko. Mikäli tarkemittauksissa havaitaan vielä rakenteen laatu poikkeamia, ne korjataan tai tilaajan kanssa neuvotellaan arvon alennuksista.



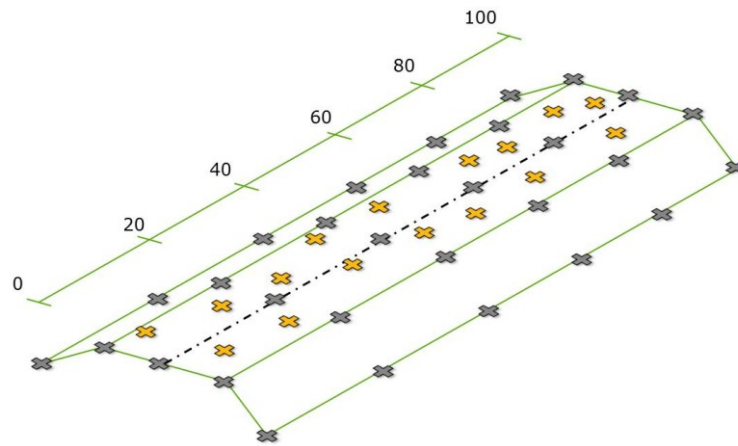
Koneohjauksella toteutettavassa laadunvalvonnassa on tärkeää määrittää yhtenäiset toimintatavat, jotta mittaustulokset ovat keskenään vertailukelpoisia ja lopputuotteen laadukkuudesta voidaan varmistua. Työkoneiden työterien paikannustarkkuus eli rakentamistarkkuus on selvitettävä, jotta erityistä tarkkuutta vaativat rakenneosat, kuten välikerroksen yläpinta voidaan ohjeistaa tekemään ainoastaan sellaisilla työkoneilla, joiden tarkkuus on riittävä (ks. *Taulukko 1*).

**Taulukko 1.** Maarakenteiden mittavaatimukset ja työkoneautomaatiojärjestelmältä vaadittava tarkkuus. (Jaakkola 2014)

Rakenneosa	Suurin sallittu yks. sijainnin poikkeama (InfraRYL) [mm]	Suurin sallittu yks. korkeuden poikkeama (InfraRYL) [mm]	Työkoneautomaatio - järjestelmältä vaadittava tarkkuus XY;Z [mm]
Maaleikkaus (201100), maa- tai louhepengeri (18100), tie ja rata	-0/+200	+0/-100	±100; ±30
Suodatinkerros, tie/rata (211100)	-0/+150	±40	±100; ±30
Jakavakerros, tie (212100)	-0/+150	±30	±100; ±30
Kantavakerros, tie (213100)	-0/+150	±20	±50; ±20
Eristyskerros yläpinta, rata (212200)	-0/+100	+0/-50	±50; ±30
Välikerros yläpinta, rata (212300)	-0/+50	+0/-20	±50; ±20

Tie- ja ratarakentamisen mallipohjaisen laadunvalvontamenetelmä -ohjeen (Jaakkola 2014) mukaan työkoneautomaatiolla tehdään toteumamittauksia vähintään 20 m välein poikkileikkauksittain rakenteen taiteviivojen kohdalta ja rakenteen pituussuuntaisista taitteista, jotta rakenteen muodosta ja sen sijaintitarkkuudesta voidaan varmistua. Rakennusteknisesti rakenteen yläpinnan tasaisuus on merkittävää etenkin ratarakenteiden eristys- ja välikerroksen osalta. Tällöin työkoneiden koneohjausjärjestelmillä kannattaisi rakenteen yläpinnasta ottaa useampia toteumapisteitä satunnaisista sijainneista taiteviivojen lisäksi, jotta pinnan tasaisuudesta voitaisiin varmistua (ks. *Kuva 16*).

Ohjeen mukaisesti mittaushenkilöstö toteuttaa hyväksytyjen toteumamittausten jälkeen tarkemittaukset suoralla osuudella enintään 200 metrin välein poikkileikkauksittain sekä rakenteiden muutoskohdista. Kaarteissa mittausväliä lyhennetään vastaavasti 100 ja 50 metriin riippuen kaarresäteestä. (Jaakkola 2014)



**Kuva 16.** Toteumamittausten toteuttaminen mittaamalla rakenteen poikkileikkaus 20 m välein ja yläpinnan tasaisuuden varmistaminen satunnaisilla lisämittauksilla.

Koneohjausjärjestelmien paikannustarkkuuden parantuessa ja koneohjausprosessien hioutuessa toimivammiksi erillisistä tarkistusmittauksista olisi mahdollista jopa luopua kokonaan. Tällöin rakenteen teknisen laadun mittareiksi riittäisivät koneohjausjärjestelmien rakentamistarkkuuden seuranta, toteumapisteiden analysointi ja valmiiden rakenteiden silmämääräinen tarkastus sekä valokuvaus. Tarkemmittauksia käytettäisiin vain pistokoeluontoisesti ja niillä tarkastettaisiin ensisijaisesti rakenteiden sijainnin oikeellisuus.

Maanrakennustyömaan dynaamista laadunvalvontaa ja -hallintaa pitää ajatella myös laajemmin kuin pelkästään itse rakentamisvaiheeseen kohdistuvana teknisenä laatuna. Rakentamisen kokonaislaatua tulisi arvioida teknisen laadun lisäksi myös subjektiivisena laatuna työn onnistuneisuuden arvioinnin kautta. Subjektiivinen laatu ilmenee mm. työnjohdon, työntekijöiden, koneenkuljettajien sekä rakennuttajan että tilaajan omista havainnoista ja mielipiteistä arvioidessa työn onnistuneisuutta eri kriteerien kautta. Näitä kriteerejä ovat mm. työn aikataulutuksen onnistuminen, työn toteutuksen mielekkyys, toimintatapojen oikeellisuus ja työskentelyn tehokkuus (ks. s.35–36).

### 2.3 Kaupalliset sovellukset työmaan dynaamisen ohjaukseen

Useat ohjelmistojen tuottajat ovat vastanneet työmailla heränneeseen kysyntään työkaluista, jotka mahdollistavat rakentamisen reaaliaikaisen seurannan ja dynaamisen ohjauksen. Ohjelmistokehittäjät lähestyvät mallipohjaisen työskentelyn asettamia vaatimuksia hieman eri tavoin ja tästä syystä sovelluksien ominaisuuksien kirjo on laaja. Ohjelmistot ja laitteet ovat tästä syystä hyvin erilaisia toimintoiltaan ja palvelevat loppukäyttäjää eri tavoin. Tässä diplomityössä perehdyttiin Tekla Oyj:n Tekla Civil - työmaasovellukseen, Hohto Labs Oy:n Kuura-palveluun (7.1.2014 alkaen Infrakit), Vianova Systems Finlandin Novapoint Virtual Map for Construction (VMC) - sovellukseen ja Topconin 3D Office- järjestelmään.

Sovelluksille yhteistä on se, että niillä on mahdollista tarkastella työmaaolosuhteissa mallipohjaisia suunnitelmia. Muilta ominaisuuksiltaan sovellukset poikkeavatkin jo huomattavasti toisistaan. Toisella sovelluksella voidaan malleja tarkastella GNNS-paikannuksella määritetyn käyttäjän fyysisen sijainnin perusteella ja toisella koneohjausjärjestelmien ja mittalaitteiden mittaustuloksia voidaan tarkastella karttapohjalla heti mittausten jälkeen.

Ohjelmistojen tuottajat kehittävät tuotteitaan jatkuvasti ja uusia ominaisuuksia kehitetään yhteistyössä loppukäyttäjien kanssa. Ohjelmistoja on kehitetty niin työmaaolosuhteisiin, kuin myös työmaatoimistoon projekti-insinöörien ja projektipäälliköiden työkaluiksi projektin seurantaan. Osa sovelluksista on jatkumoa suunnittelijoiden työkaluiksi kehitetyille mallipohjaisille suunnitteluohjelmistoille ja osa lähestyy ohjauksen tarpeita suoraan työmaan näkökulmasta ilman suunnittelijoiden tarvitsemia työkaluja.

## 2.4 Empiria

### 2.4.1 Radanrakennustyömaan nykyisen ohjausmenetelmän havainnointi

Työmaan ohjausta havainnoitiin kevään ja kesän 2013 aikana Kokkola-Riippa -kaksoisraidetyömaalla maanrakentamisen, mittauksen ja projektinohjauksen näkökulmasta. Rakennusurakka oli arvoltaan 73 M€ ja se sisälsi nykyisen raiteen perusparantamisen ja kaksoisraiteen rakentamisen 25 km pituiselle rataosalle sekä taseasteusten korvaamisen eritasoliittymillä ja tiejärjestelyillä. Työmaa oli osa Liikenneviraston Seinäjoki-Oulu-ratahanketta, jonka tavoitteena oli parantaa rautatieliikenteen toimintaedellytyksiä, turvallisuutta ja sujuvuutta. (VR Group 2013).

Kokkola-Riippa -rakennusurakka toteutettiin ST -urakkana, jossa VR Track Oy toimii pääurakoitsijana. Urakkaan sisältyi kaikki työt rakennussuunnittelusta käyttöönottoon pois lukien turvalaitteet, jotka hankitaan erikseen. Urakka oli teknisesti vaativa useiden siltojen, taajama-alueiden, eritasoliittymien ja vaativien pohjarakennuskohteiden vuoksi. Yksi merkittävimmistä kohteista oli Perhonjoen silta, jonka pituus oli 100 m. (VR Group 2013)

Urakka toteutettiin yhteistyön sujuvuuden takaamiseksi VR Track Oy:n sisäisenä työyhteisöliittymänä maa- ja sillanrakentamisen, radanrakentamisen ja sähköliiketoiminnan kesken suunnittelun ollessa sisäisenä aliurakoitsijana. Suunnitteluun osallistuvat VR Track Oy:n oman suunnittelun lisäksi Sito Oy ja Pöyry Finland Oy sekä siltasuunnittelussa Insinööritoimisto Rantala Oy. (Pouta 2012)

Kokkola-Riippa (KORI) -urakassa hyödynnettiin koneohjausta maarakennustehtävissä kaivinkoneiden, puskutraktorien ja tiehöylien ohjauksessa. Urakassa kokeiltiin myös työkonien hyödyntämistä toteumamittauksissa, työmaan toteuman määrittämiseen ja sisäiseen laadunhallintaan. Projektin ohjauksessa hyödynnettiin VR Track Oy:n kokemuksia tuottavuuden kasvusta ja virheiden vähentymisestä Lielähti-Kokemäki-allianssihankeessa (LIEKKI). Erityisesti projektin johtamisrutiineihin kiinnitettiin huomiota luomalla selkeät käytännöt palaverien, kokousten ja perehdytysten pitämiseen sekä työilmoitusten laatimiseen (Pouta 2012).

Työmaateiden rakentaminen aloitettiin huhtikuussa, jonka jälkeen aloitettiin uuden radan maaleikkaukset ja massanvaihdot. Linjatyömaalle tyypillisesti samaa työvaihetta tehtiin useissa kohteissa samanaikaisesti ja työmaa edistyi pätittäin. Kun uuden raiteen pohjatyöt saatiin kuntoon, alkoi pohjarakenteiden laadunvarmistuksen jälkeen heinäkuussa eristys- välikerroksen rakentaminen valmiille osuuksille. Maarakennustöiden ohessa työmaalla rakennettiin ratasiltoja ja valmisteltiin tiejärjestelyjä korvaamaan poistettavat tasoristeykset.

Diplomityöntekijä vieraili työmaalla vähintään kerran viikossa ja liikkui työmaalla mittausvastaavan, aluevastaavan sekä diplomityön ohjaukseen osallistuneen Teppo Rauhalan kanssa ja haastatteli työmaahenkilökuntaa sekä työkoneenkuljettajia. Projektitoimistolla tutustuttiin työmaan viikkopalaveri käytäntöihin ja diplomityöntekijä osallistui omalta osaltaan koneohjausmallien eli toteutusmallien tekemiseen sekä työmaateille että eristys- ja välikerrosten tiivistyskerroksiin. Projektilla käynnistettiin myös pilotti koskien koneohjauksella toteutettavaa laadunvalvontaa, jonka tutkimukseen diplomityöntekijä myös osallistui.

#### **2.4.2 Haastattelututkimus työmaan dynaamisen ohjauksen kehittämistä**

Radanrakennustyömaan nykyisiä toimintatapoja niin työmaanohjauksessa kuin laadunvarmistuksessa selvitettiin haastattelututkimuksella. Samassa haastattelussa kerättiin mielipiteitä nykyisten toimintatapojen eduista ja ongelmista sekä kehitysehdotuksia toimintatapojen kehittämiseksi mallipohjaisemmiksi ja reaaliaikaisemmiksi. Haastattelu suunnattiin VR Track Oy:n infrarakentamisen divisioonan radanrakennuksen ja työmaiden johtohenkilöille sekä koneohjausjärjestelmien kanssa toimineille yhteistyökumppaneille. Haastattelukysymykset ovat *liitteenä 1*.

Haastattelukysymykset lähetettiin sähköpostitse vaihtoehtona vastata kysymyksiin sähköpostitse tai haastattelussa kasvotusten. Haastatteluun osallistuivat VR Track Oy:n projektipäällikkö Mikko Ylikulju, vastaava työnjohtaja Antti Heikka ja mittauksen aluevastaava Janne Mikkonen Kokkola-Riippa -työmaalta. Muita VR Track Oy:stä haastatteluun osallistuneita olivat tuotekehityspäällikkö Kimmo Laatonen, työpäällikkö Markus Malmivuori, tarjouspäällikkö Jyrki Kataja, rakennuspäälliköt Pasi Kiiski, Timo

Pouta, Mika Tepsa ja Katja Pekkanen, projektipäälliköt Antti Korhonen ja Eemeli Kaasinen, vastaava työnjohtaja Timo Lehto, kehitysinsinööri Pasi Kråknäs sekä asiantuntija Jarmo Mikkola. Muita haastatteluun osallistuneita olivat aluemyyntipäällikkö Mikko Salonen, 3D-asiantuntija Pekka Kotala ja 3D-asiantuntija Sami Mäkelä Scanlaser Oy:stä sekä projektipäällikkö Teppo Rauhala CC Infra Oy:stä.

Haastattelujen vastaukset käsiteltiin täysin luottamuksellisesti eikä tuloksista voi poimia yksittäisen henkilön antamia vastauksia. Vastauksien perusteella arvioitiin mm. työmaan ohjaukseen käytettävän sovelluksen ominaisuusvaatimuksia sekä muita työmaan ohjauksen kehittymisen vaatimia toimenpiteitä.

### **2.4.3 Kaupallisten sovellusten kokeilu työmaaympäristössä**

Tutkimuksessa perehdyttiin nykyhetken työmaasovellustarjontaan esitteiden ja internetlähteiden avulla. Tarkempaan vertailuun valittiin neljä sovellusta, jotka olivat Tekla Civil, Kuura, Virtual Map for Construction ja 3D Office. Nämä pilottikäyttöön saadut sovellukset pisteytettiin haastattelutulosten perusteella niiden sisältämien ominaisuuksien painoarvojen perusteella ja tarkempaan kokeiluun VR Track Oy:n Kokkola-Riippa -ratatyömaalle valittiin näistä kaksi. Valittuja työmaasovelluksia testattiin Kokkola-Riippa -työmaalla kesän 2013 aikana aluevastaavien, mittausvastaavan ja diplomityöntekijän toimesta.

### **2.4.4 Inframodel3 -tiedonsiirtoformaatin täydennystarpeiden selvittäminen**

Inframodel3-tiedonsiirtoformaatin täydennystarpeita dynaamisen työmaanhjauksen kannalta selvitettiin tuottamalla samankaltaiset suunnitelma-aineistot kahdella VR Track Oy:ssä käytössä olevalla suunnitteluohjelmistolla Inframodel3-tiedonsiirtoformaattissa. Tuotettujen aineistojen sisältöä analysoitiin XML Notepad 2007 -ohjelmalla ja aineistojen kuvautumista ja ominaisuuksia tutkittiin tarkastelemalla niitä Novapoint VirtualMap -sovelluksella. Luodut inframodel3-aineistot sisälsivät tyypillisimpiä rautatien maanrakennustöissä tarvittavia olioita, kuten ympäröivän maaston kolmioverkkopintamallin, radan geometrialinjan, kilometripaalutuksen, päällysrakenteen kaarrekallistukset, rakennepintojen kolmioverkot, taiteviivat, kaarrelevitykset sekä vesihuollon varusteista esimerkkinä ojarummun.

## 3 TULOKSET

### 3.1 Työmaanohjauksessa havaitut ongelmat ja kehittämiskohteet

Ensimmäinen havaittu ongelma työmaan ohjauksessa liittyy jo rakennusurakan tarjouslaskentavaiheeseen ja siihen, että tarjouslaskennan toteuttava taho on usein eriytetty täysin urakan myöhemmin toteuttavasta organisaatiosta tai ainakin tarjouslaskentavaiheessa valittu projektipäällikkö vaihtuu varsinaisen rakentamisen alkaessa. Kun rakennusprojektilla ei ole suoraa yhteyttä tarjouslaskentaan, tieto siitä miten tarjous on tehty ja mihin sen tiedot perustuvat, ei siirry rakentamiseen. Tästä aiheutuu yleensä muutostöitä ja ylimääräistä riitelyä sekä tilaajan, muiden urakoitsijoiden että oman organisaation kanssa.

Havainnoinnin perusteella työmaan ohjaus on nykyisinkin hyvin dynaamista ja reaaliaikaista, sillä vastaavan työjohtajan on reagoitava välittömästi työmaan impulsseihin ja osattava ratkaista viipymättä työmaalla ilmeneviä häiriöitä, mielellään jopa ennen kuin niistä ehtii muodostua ongelmia. Nykyinen työmaan ohjausprosessi kuormittaa kuitenkin todella paljon vastuussa olevia henkilöitä, sillä muistettavaa ja tehtävää on todella paljon ja lisää asioita ilmaantuu jatkuvasti. Esimerkiksi vastaavan työnjohtajan työmaalla tekemät havainnot täytyy ensin kirjoittaa muistiin ja mahdollisesti myös valokuvata ja vasta työpäivän päätteeksi ne on mahdollista raportoida tarkoituksen mukaisesti taulukoihin ja raportointipohjiin työmaatoimistolla tietokoneen ääressä. Yleisesti on totuttu siihen, että projektipäälliköiden ja työmaavastaavien työpäivät venyvät varsinkin kiivaimpaan rakennusaikaan yli 12 tuntiseksi tehtäessä työmaanohjauksen vaatimia paperitöitä iltaisin muiden töiden jälkeen.

Havainnoinnin aikana huomattiin myös, että projektipäiväkirjojen täyttäminen ja niiden ajan tasalla pitäminen oli erittäin työlästä. Eri henkilöiden tekemien päiväkirjamerkintöjen koonti tilaajalle luovutettavaksi raportiksi osoittautui haastavaksi, sillä päiväkirjojen täyttämisessä ei ollut yhtä yhtenäistä tapaa ja tiedot olivat osittain puutteellisia. Raportin kirjoittajan piti poimia päiväkirjoista tietoja ja soitella merkinnät kirjoittaneille henkilöille selvittääkseen merkintöjen tarkoitusta. Myös työmaan

tilanteen läpikäyminen päiväkirjamerkintöjen pohjalta ei ollut kaikista havainnollisin tapa, sillä merkintöjen epäselvyyksiä jouduttiin selvittämään vielä viikkopalaverieissakin.

Työmaan asiakirjat, suunnitelmat ja viikkopalaveriaineistot säilytettiin yrityksen sisäisillä verkkoasemilla sekä tilaajan kanssa yhteisessä SokoPro -projektipankissa. Metatiedon siirtymisen merkitys korostui huomattavasti työmaan ohjauksessa. Erityisen tärkeää metatiedon siirtyminen olisi tarjouslaskennasta ja suunnittelusta työmaalle sekä työmaalta projektin johdolle ja tilaajalle. Esimerkiksi tieto siitä, miksi jokin on suunniteltu johonkin ja miksi jonkin paikkaa vaihdettiin tai miksi jokin työvaihe on myöhässä, ovat tärkeitä tietoja sovittaessa esim. lisätöistä.

Kokkola-Riippa -työmaan erityisenä ongelmana oli havainnointihetkellä toteumatilanteen seuranta ja etenkin massanvaihtojen ja maaleikkauksien massamäärien seuranta. Havaittiin, että tehokkaan ohjauksen kannalta olisi tärkeää saada määrä seuranta reaaliaikaiseksi esim. toteuma- ja tarkemittausten perusteella, sillä toteumatiedot saattoivat olla jopa viikkoja myöhässä johtuen kuormakirjojen ja muiden havaintojen kuten tarkemittaustulosten käsittelyn ja taulukoinnin viiveistä. Rakentamisen aikataulutuksessa ja toteumatiedon hankinnassa ongelmia aiheutti se, että mittaryhmä ei kuulunut kiinteästi projektin omaan organisaatioon, vaan heillä oli paljon työtehtäviä myös muissa rakennusprojekteissa eikä mittaryhmän aikatauluja ollut alun perin huomioitu projektin aikataulutuksessa.

Työmaalla hyödynnettiin koneohjausjärjestelmiä kattavasti maarakentamisessa ja lähes jokaisessa työkoneessa oli toimiva koneohjausjärjestelmä. Koneohjausjärjestelmiä hyödynnettiin alusrakenteen rakentamisessa havaintohetkellä kaivinkoneissa, paalutuskoneissa ja puskuotraktoreissa. Koneohjausmallit tulivat työmaalle suoraan suunnittelusta mallikoordinaattorin tarkastamina, eikä niihin tarvinnut tehdä muutoksia enää työmaalla. Suunnittelijat toimittivat rakenteiden pintamallit inframodel2-formaatissa työmaan verkkoasemalle, josta ne päivitettiin työkoneiden järjestelmiin, joko langattomasti tai muistitikulla. Koneohjausta hyödyntävän rakentamisen laadunvarmistus perustui mittaryhmän toteuttamiin tukiasemien ja työkoneiden tarkastusmittauksiin sekä koneen kuljettajien toteuttamaan järjestelmän sisäisen



tarkkuuden seurantaan. Mikäli työkoneiden paikannustarkkuudet ylittivät niille annetut raja-arvot, koneet tarkastettiin ja tarvittaessa ne kalibroitiin uudelleen työmaan koordinaatistoon mittaryhmän toimesta. Koneen kuljettajia oli ohjeistettu lopettamaan työskentely ja ottamaan yhteyttä mittaryhmään, mikäli he havaitsivat järjestelmässä epätarkkuutta tai ottivat käyttöön kalibroimattomia kauhoja tai vaihtoivat työteriä.

Valmiiden rakenteiden laadunvarmistus toteutettiin mittaryhmän toimesta tarkemittauksilla InfraRYL:n ohjeiden ja toleranssirajojen mukaisesti. Koneohjausjärjestelmiä hyödyntävien työkoneiden tekemien toteumamittausten hyödyntämistä tarkemittauksina tutkittiin ja kehitettiin rakentamisen aikana aloitetussa pilottihankkeessa. Työmaalla toteutetuissa kokeiluissa oli tiedostettu ja havaittu, että koneohjausjärjestelmiä hyödyntämällä saavutetaan huomattavasti tasalaatuisempaa ja laadukkaampaa tulosta kuin perinteisellä rakentamisella, mutta koneohjausjärjestelmien mittaustarkkuus on kuitenkin huomattavasti tarkemittaukseen hyväksytyä takymetrimittausta heikompi ja tästä syystä GNSS-paikannukseen perustuvilla koneohjausjärjestelmillä on haastavaa saavuttaa InfraRYL:n mittaustarkkuusvaatimukset. Kokeilujen perusteella tarkkuustaso oli hyväksyttävissä rajoissa radan leikkauspohjissa, massanvaihoissa sekä erityskerroksen yläpinnassa, mutta välikerroksen 20 mm tarkkuusvaatimus osoittautui liian tiukaksi kaivinkoneella tehtäviin toteumamittauksiin (ks. *Taulukko 1*).

Isoilla maarakennustyömailla saattaa toimia samanaikaisesti useitakin aliurakoitsijoita ja yleensä käytössä on myös paljon erilaisia koneohjausjärjestelmiä, mikäli käytettäviä järjestelmiä ei lähdetä urakkasopimuksissa rajoittamaan. Aliurakoitsijoiden käytännöt ja koneohjausjärjestelmien ominaisuudet poikkeavat hyvin paljon toisistaan, mikä tekee työmaan ohjauksesta entistä haastavampaa ja vaatii paljon myös tietoteknistä osaamista vastaavilta työnjohtajilta. Aliurakoitsijoiden töiden seuranta on myös työlästä riippuen aliurakoitsijan raportointikäytännöistä ja -aktiivisuudesta sekä teknisistä edellytyksistä.

Monen toimijan kanssa työskennellessä myös tiedon välittyminen ja sen siirtäminen aiheuttavat omat ongelmansa, sillä aliurakoitsijoilla saattaa olla käytössä eri ohjelmistoja, mittalaitteita ja koneohjausjärjestelmiä kuin pääurakoitsijalla ja pääurakoitsijan täytyy tällöin hallita kaikki muunnokset, jotta pystyy raportoimaan

työmaan etenemästä tilaajalle. Kokkola-Riippa -radanrakennustyömaalla myös kielelliset erot tulivat selvästi ilmi: osalla aliurakoitsijoista äidinkielenä oli ruotsi suurimman osan työmaan henkilökunnasta puhuessa äidinkielenään suomea. Kommunikointi ruotsinkielisten aliurakoitsijoiden kanssa tuotti jonkin verran ongelmia ja aiheutti pieniä väärinkäsityksiä yhteisen kielen puuttuessa.

Työmaan henkilöstön pitämässä viikkopalaverissa aikataulu käytiin läpi vertaamalla toteutunutta suunniteltuun yleisaikatauluun ja työvaiheiden valmiusaste arvioitiin ko. työvaiheen vastaavan työjohtajan tietämyksen perusteella. Aikataulutuksen ja sen seurannan kehittämiseksi haastatteluissa nousi esille aika-paikkakaavioiden hyödyntäminen, jotta nähtäisiin välittömästi miten ja missä työt etenevät. Muuttuneen resurssitarpeen seuraaminen koettiin tärkeäksi kuin myös mahdollisimman nopea puuttuminen havaittuihin epäkohtiin. Työmaan ohjauksen kannalta on tärkeää, että työmaan ohjaukseen osallistuvat henkilöt pystyvät seuramaan työmaan toimintoja, aikatauluja, taloustilannetta, suunnitelmia, resursseja, toteutumia ja tapahtumia mahdollisimman reaaliaikaisesti ja myös reagoimaan niihin mahdollisimman nopeasti.

Uusien työmaan ohjaukseen tarkoitettujen ohjelmistojen käyttö jää usein hyvin pintapuoleiseksi, sillä ohjelmistoihin ei enää rakentamisen alettua ole aikaa perehtyä tarkemmin ja toiseksi virheiden tekemistä pelätään niiden korjauksen vaativan työmäärän vuoksi. Jotta ohjelmia tultaisiin työmailla käyttämään oikein ja kattavasti, tulee työmaahenkilöille tarjota tarpeeksi opastusta ja koulutusta ennen ohjelman varsinaisen käytön aloittamista. Ohjelmistojen käytön jatkuvuus vaatii suoraviivaista ohjelmistotukea sekä täydennyskoulutusta ja ohjeistusta juuri henkilöiden omien työtehtävien suoritukseen.

## **3.2 Dynaamisen ja mallipohjaisen ohjausjärjestelmän kehittämistarpeet**

VR Track Oy:n infrarakentamisen divisioonan radanrakennuksen ja työmaiden johtohenkilöille sekä koneohjausjärjestelmien kanssa toimineille yhteistyökumppaneille suunnatussa kyselyssä käsiteltiin työmaanohjauksen sekä laadunvarmistuksen nykytilaa ja kehityskohteita. Vastaukset jakautuivat selkeästi kolmeen ajallisesti eroavaan rakennusprojektin vaiheeseen eli rakennusurakan aloittamiseen, rakentamisvaiheen ohjaukseen ja laadunvarmistukseen.

### **3.2.1 Rakennusurakan aloittaminen**

Mallipohjainen suunnittelu tulisi huomioida jo tarjousvaiheessa, jotta tarjousvaiheen tuloksia voitaisiin kattavammin hyödyntää myöhemmin myös rakentamisen suunnittelussa, kuten aikataulutuksessa, työvaihesuunnittelussa ja resursoinnissa. Esimerkiksi rakennusalueen raivauksia ja kaapelisiirtoja olisi mahdollista tehdä jo tarjousvaiheesta saatavan tietomallipohjaisen suunnitelman avulla, ennen kuin varsinaiset rakennesuunnitelmat ja toteutusmallit ovat valmiita.

Paperisista ja dokumenttipohjaisista tarjouspyynnöistä olisi päästävä pikimmiten eroon ja pyrittävä kohti tietomallipohjaisia tarjouspyyntöjä. Tietoa katoaa suunnattomat määrät, sillä esim. kokonaisurakoissa tilaajan konsulteilta tilaamat mallipohjaisetkin kokonaissuunnitelmat muunnetaan paperisiksi ja dokumenttipohjaisiksi kartoiksi ja tasapaaluittain tulostetuiksi poikkileikkauksiksi tilaajan ja rakennuttajan tarkastukseen ja sitä kautta samanlaiseksi dokumenttipohjaiseksi aineistoksi urakoitsijoiden tarjouskilpailuun. Perinteisesti tarjouspyyntö on kansiollinen tulostettuja papereita, mutta nykyisin tarjouspyyntö toimitetaan usein myös sähköisenä cd-levylle ja muistitikuille tallennettuina pdf-tiedostoina ja joskus dokumenttiaineiston mukana on myös muutamia dwg-tiedostoja. Esimerkiksi määräluettelot toimitetaan yhä paperisina tulosteina ja niiden sisältämät massat on määritetty poikkileikkauksittain laskettujen pinta-alojen perusteella. Perinteisten dokumenttipohjaisten tarjouspyyntöasiakirjojen perusteella urakoitsijalla on tarjouksen laskenta-aikaa 3-4 viikkoa, jona aikana urakoitsijat hinnoittelevat massa- ja määräluettelot sekä tarkistavat 2-3 päämassaa tarkemmin vertaamalla omia laskelmia tilaajan toimittamaan määräluetteloon.

Vastaavankaltaista tiedonsiirto-ongelmaa ei ST-urakoissa ole, sillä suunnitelmat voidaan tehdä alusta alkaen hyödyntäen tietomallipohjaista suunnittelua ja tarjouksen laskenta-aikakin on yleensä pitempi, noin 6 viikkoa. Tilaajan tulee kuitenkin vastaavasti käyttää enemmän aikaa tarjouspyynnön laadintaan, jotta tilaajan määrittelemät raja-arvot ja ehdot tulevat selkeästi esiin. Tarjousvaiheen tietomallien avulla voidaan kuitenkin paremmin innovoida muista kilpailijoista erottuvia ratkaisuja, vaikka suunnittelu-aika rajoittuu vain muutama viikkoon, sillä tarjouksen laskennallekin on jätettävä riittävästi aikaa.

Innovointi on nykyään kuitenkin tarjouskilpailuissa arka-aihe mm. urakoitsijoiden ohjelmistoteknisten eroavaisuuksien vuoksi. Tämän vuoksi tarjouksia on rajattu nykyään huomattavasti eikä suunnitelmaratkaisujen innovointiin ole erikseen kannustettu. Muuttamalla julkista hankintamenettelyä tietomallipohjaisen suunnittelun myötä enemmän innovointiin kannustavaksi esim. huomioimalla lisääntyneen ajan tarpeen laskenta-ajassa, olisi urakoitsijoiden mahdollista löytää paremmin sekä tilaajaa, urakoitsijaa että loppukäyttäjää palvelevia ratkaisuja ja saavuttaa samalla kustannussäästöjä.

Eskola-Ylivieska kaksoisraiteen rakentaminen oli ensimmäinen ratahanke, jossa tilaajana toimivan Liikenneviraston tarjouspyyntö oli tietomallipohjainen. Mallipohjaisen tarjouspyynnön etuja perinteiseen ovat muun muassa se, että määrä- ja massatiedot ovat luettavissa suoraan malleista ja kaikki urakoitsijat ovat paremmin samalla lähtötasolla kun massamäärissä ei enää ole huomattavia eroja eri tarjoajien välillä. Kilpailu keskittyy määrälaskennan virheiden sijasta enemmän suunnitteluratkaisujen innovointiin, suunnittelun laatuun, aikataulutukseen, maamateriaalin hankintakustannuksiin ja kuljetusmatkojen minimointiin. Tietomallien avulla myös urakkarajat voidaan suunnitella tarkemmin, esimerkiksi määrittämällä mallin sisältämien objektien värit eri osurakoiden mukaisiksi. Mallipohjaiset tilaukset aiheuttavat tietysti suuremmat kustannukset tilaajalle, sillä suunnitelmien täytyy olla tarkemmat kuin paperisissa tarjouksissa. Mallipohjaisten tarjousten myötä on kuitenkin odotettavissa nämä lisäkustannukset ylittäviä säästöjä urakan rakentamisvaiheessa.

Tarjous- ja rakentamisvaiheen aikaiset projektiorganisaatiot ovat yleensä perinteisissä urakkamuodoissa täysin eriytettyjä, sillä projektipäällikkökin saattaa muuttua rakentamisen alkaessa. Tästä syystä informaatio ei kulje laskennasta rakentamiseen. Optimitilanteessa samat henkilöt olisivat mukana sekä tarjousvaiheessa, että rakentamisessa, sillä silloin kaikki olisivat tutustuneet projektiin kokonaisuutena ja tietäisivät sen perusteet. Projektin aikataulutuksessa ja työvaiheiden suunnittelussa pitäisi pystyä hyödyntämään mahdollisimman pitkälle tarjousvaiheesta saatua informaatiota ja esim. mittauksen osuus projektin perustamisessa ja laadunvarmistuksessa olisi otettava huomioon projektin aikataulutuksessa jo ennen rakentamisen aloittamista. Aikataulutuksen tulisi perustua sekä tilaajan että projektin omien osatavoitteiden saavuttamiseen ja niitä tulisi käyttää aikataulusuunnittelun pohjana.

### **3.2.2 Rakennusurakan rakentamisvaihe**

#### **Työmaan toteuman ja etenemän seuranta**

Työmaan toteutuman ja etenemän seuranta toteutettiin haastatteluhetkellä projektikohtaisesti ja toimintatavat riippuivat paljon projektipäälliköstä sekä tilaajan että rakennuttajakonsultin kanssa sovituista toimintatavoista. Etenkin isoilla päällysrakennetyömailla etenemän seuranta oli yleisesti ottaen hyvin järjestettyä ja toteutuneita raidemetrejä seurattiin tarkasti. Kustannusten seuranta perustui kuormakirjoihin ja muihin työmaalla tehtyihin havaintoihin.

Nykyisistä toimintatavoista johtuen toteuman ja etenemän seuranta oli maanrakennustöissä usein jälkijättöistä. Maarakennustyömaan etenemän seuranta perustuu vasta lopullisiin tarkemittauksiin, joilla todetaan valmiin rakenteen olevan tekniseltä laadultaan riittävää. Tästä syystä etenemän seuranta on sidoksissa myös laadunvarmistukseen. Rakentamisen aikana etenemää seurataan kuitenkin myös silmämääräisesti ja toteumaennusteet pohjautuvat vastaavan työnjohtajan arvioon.

Työkaluina etenemän ja toteutuman seurantaan käytettiin Excel-laskentataulukoita ja joskus hyödynnettiin myös PlaNet -ohjelmistolla tuotettuja jana-aikatauluja. Seuranta tapahtui seuraamalla tiettyjä ennalta valittuja pääsuoritteita ja kirjaamalla taulukoihin

niiden edistyminen. Haastattelussa tuli hyvin usein ilmi, että työmaan toteuman seuranta varten ei ollut etukäteen tehtyjä seurantalomakkeita, vaan niitä tehtiin ja täydennettiin sitä mukaa kun toteumatietoa saatiin työmaalta. Tarjousvaiheessa tehtyjä laskelmia ei hyödynnetty työmaan toteutuksessa, vaan toteuman ja kustannuskertymien seuranta oli aloitettava aina alusta. Hyvin usein rakennustyöt aloitettiin heti kun se oli mahdollista ja seuranta unohdettiin tyystin siihen asti, kunnes tilaaja vaati tilanneraporttia. Haastatteluhetkellä toteumanseurannassa ei hyödynnetty tietomalleja tai koneohjausta.

Työmailla seurattiin tuottavuustyökalujen mukaisilla viikkosuunnitelmilla tehtyjä ja tekemättömiä töitä viikkopalaverissa, toteutuneita massoja seurattiin kuormakirjojen perusteella Excel-laskentataulukoissa ja työntekijöiden tuntiseuranta pidettiin yllä työmaan päiväkirjoissa. Työmailla käytössä oleilla sovelluksilla pystyi seuraamaan myös suoritteita, mutta kokemusten mukaan sovelluksen käyttö on hidasta ja monimutkaista ja se työllistäisi entisestään työmaan ohjaukseen osallistuvia henkilöitä etenkin rakentamisen alkuvaiheessa. Haastatteluhetkellä työmaan seurantaan ei ollut käytössä helppoja ja nopeita työkaluja eikä käytössä olevien työkalujen käyttöön ollut yhtenäistä ohjeistusta, jota noudatettaisiin kaikilla projekteilla.

Haastatteluissa toistui kehitysehdotus työnseurannan ja työn ohjauksen yhdistämisestä eli työnjohdon entistä aktiivisemmasta osallistumisesta työmaan seurantaan. Vastaavat työnjohtajat voisivat toteuttaa pistokoeluontoisia tarkemittauksia ja valokuvata toteutuneita rakenteita ja poikkeamia. Toinen kehitysehdotus koski seurannan kehittämistä niin, että seuranta pohjautuisi tarjouslaskennasta saataviin suoritelistoihin ja kustannuslaskentaan. Toteutumia tulisi pystyä vertaamaan suunniteltuihin ja tarjouksen pohjana olleisiin määriin, aikatauluun ja kustannuksiin.

Vaikka työmaanohjaus olisi mallipohjaista ja ohjauksessa hyödynnettäisiin uusia työkaluja, tarvitsee työmaa edelleen mittaus tietoa seurannan lähtöarvoiksi. Mittauksia tarvitaan esim. leikkauspohjasta ja pengerpinnoista, sillä vain mittausten perusteella voidaan arvioida riittävän tarkasti toteutuneita todellisia määriä. Hyvällä toteutuman määrähallinnalla päästään paremmin kiinni todelliseen valmiusasteeseen ja sitä kautta saadaan reaaliaikaista tietoa työmaan etenemästä. Työmaan valmiusaste on vastaavasti

helppo kääntää rahaksi budjetin ja laskutuksen perusteella. Seurattavat suoritteet ja määrät tulisi kuitenkin pilkkoa pieniin ja ajallisesti lyhyisiin tehtäviin, jotta toteuman ennustaminen ja seuranta olisi mahdollisimman helppoa ja yksinkertaista. Nykyisin seurattavat massa- ja suoritelmäärät ovat liian suuria ja pitkäkestoisia, jotta määrissä tapahtuneet poikkeamat huomattaisiin ja niihin pystyttäisiin vaikuttamaan nopeasti.

Riittävän tarkan toteumatiedon avulla olisi mahdollista seurata myös laatua pelkän etenemän lisäksi, jolloin laadunvarmistuksen työvaiheita voitaisiin keventää. Mitatut toteumapisteet kertovat yleensä siitä, että koneenkuljettaja on saanut kyseisen työvaiheen valmiiksi, joten toteumapisteiden avulla valmiusasteen arviointi olisi helpompaa. Määräseurannassa voidaan hyödyntää toteumapisteiden ja suunnitellun pinnan eroa. Kun työkoneella otetut toteumapisteet ovat tietyssä toleranssissa, voidaan toteutuneiden massojen ajatella vastaavan teoreettisia massoja. On kuitenkin muistettava, että mikäli työkoneilla mitattuja toteumapisteitä hyödynnetään toteuman seurannassa, on työkoneiden tarkkuudesta ja kalibrointi tiheydestä huolehdittava ja lopulliset tarkemittaukset on toteutettava erillisellä mittalaitteella.

Toteuman eli määrien seuranta on maarakennustöissä saatava työmaanjohtolle mahdollisimman helpoksi ja nopeaksi toiminnaksi esim. sähköisten kuormakirjojen ja aliurakoitsijoiden sähköisen tunti- ja työseurannan avulla. Työmaan seurantaan tarkoitetun työkalun tulisi olla koko yhtiön yhteinen ja sen käyttötavat tulisi olla yhteisesti sovitut. Lisäksi nykyisiä projektikohtaisia laskutusperustoja olisi mahdollisuuksien mukaan yhtenäistettävä ja pyrittävä parantamaan projektipäälliköiden nykyisiä projektitalouden seurauksen- ja vaikutusmahdollisuuksia.

### **Työmaan aikataulutuksen sekä sen seuranta ja ohjaus**

Aikataulun seuranta on osa työmaan toteutumisen ja etenemisen seuranta, sillä massat ja määrät on sidottava sekä paikkaan että aikaan. Haastattelussa nähtiin työmaan aikataulutuksen yhtenä kehitysaskeleena siirtyminen janakaavioista paikka-aikakaavioihin, jotta nähdään yhdellä vilkaisulla mitä missäkin kohteessa tehdään ja miten työ etenee. Paikka-aikakaavio olisi ihanteellinen työkalu etenkin linjamaisille työmaille sekä paljon pieniä eri paikoissa sijaitsevia kohteita sisältäviin projekteihin,

sillä sen avulla on helppo tarkastaa miten mikäkin työvaihe vaikuttaa muihin työvaiheisiin sekä ajallisesti että sijaintinsa perusteella.

Haastattelussa ilmeni, että työmailla oli tiedostettu projektin alussa työsuunnitteluun käytetyn ajan helpottavan ja nopeuttavan työmaan seuranta ja sen asiakirjojen ylläpitoa rakentamisen aikana sitä enemmän mitä enemmän aikaa töiden ennakkosuunnitteluun käytettiin. Liian usein projektin alku on liian kiireinen ja tiukkaan aikataulutettu, jotta seurannan pohjustusta ehdittäisiin huolellisesti suunnittelemaan ja toteuttamaan. Hyvällä alkusuunnittelulla, seurannan pohjustamisella, paremmilla työkaluilla ja esim. nykyistenkin taulukkopohjien valmistelulla saavutettaisiin nykyistä tehokkaampaa projektin ohjausta.

Haastattelun vastauksissa haluttiin painottaa sitä, että jokaiselle työvaiheelle tulisi määrittää selkeät tavoiteajat ja aikatauluun tulisi merkitä koko projektin yhteiset, joko tilaajan tai projektin johdon määrittämät, välitavoitteet. Välitavoitteista on kuitenkin pystyttävä erottamaan tilaajan sakolliset välitavoitteet sakottomista välitavoitteista, jotta ne on mahdollista huomioida aikataulun ohjauksessa. Yksittäisten työvaiheiden aikataulun ohjaus on lähes mahdotonta ja siksi projektin alussa pitäisi sakollisten välitavoitteiden avulla määrittää ne ensisijaiset työvaiheet, joiden aikataulua seurataan ja ohjataan reaaliaikaisesti.

Haastateltujen mielipide oli, että tarjousvaiheesta saatavan aikataulun pohjalta muodostetun projektin yleisaikataulun muodoksi riittää jatkossa janakaavio, josta erityisesti isoilla työmailla tehdään lyhyemmiltä aikajaksoilta tarkempia paikka-aikakaavioita. Tarjousvaiheen aikataulu koettiin liian tiukaksi, jotta kunnollinen paikka-aikakaavio ehdittäisiin sen aikana tekemään. Pienillä ja yksinkertaisilla rakennusprojekteilla pelkkä janakaavioluontoinen yleisaikataulu on riittävä, eikä paikka-aikakaaviota välttämättä tarvita. Yhteinen mielipide oli myös yleisaikataulun säilyttäminen koskemattomana vertailupohjana toteutuneille aikatauluille koko projektin ajan. Yleisaikataulua saa päivittää ainoastaan silloin kun määrät, suoritteet tai toteutusaika muuttuvat radikaalisti ja siitä on erikseen sovittu tilaajan kanssa.



Aikataulun laadinnassa ja seurannassa on tärkeää, että työmaan henkilökunta saadaan sitoutettua aikatauluun heti projektin alusta alkaen. Esimerkiksi mittaryhmän tarpeet olisi huomioitava jo aikatauluja suunniteltaessa ja kaikkien työntekijöiden ammattitaitoa ja innovaatioita kannattaisi hyödyntää mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Toteutumien kirjaaminen aikatauluun tekee sen seurannasta reaaliaikaisen sekä jokapäiväisen työkalun työmaan ohjaukseen ja parantaa osaltaan tiedonkulkua niin mittauksen ja rakentamisen, kuin myös suunnittelun ja kunnossapidon välillä.

Aikataulun seurantaan toivottiin työkalua, joka ilmoittaisi vastuuhenkilölle, mikäli jokin tehtävälle määritetty aikaraja olisi ylittymässä. Tällöin aikataulun viivästyksiin olisi pakko reagoida edes kuittaamalla ilmoitus ja toteuttamalla aikataulua ohjaavia toimia. Aikataulun tarkempaa seuranta olisi pystyttävä tekemään valituille päätyövaiheille, sillä niiden perusteella pystytään arvioimaan helposti koko työmaan etenemää. Päätyövaiheita määritettäessä ei kuitenkaan pidä unohtaa muita vaativia töitä, sillä yleensä erikoiset ja uudet työvaiheet aiheuttavat viivästyksiä, esim. ponttiseinäkaivannot ja pienet loppuvaiheen viimeistelyt.

### **Työmaan tiedonkulku**

Haastatteluissa kävi ilmi, että työmaiden tiedonkulkua tulisi yksinkertaistaa ja suoraviivaistaa, esim. sähköisten työkalujen avulla MVR -mittausten, eli maa- ja vesirakennustyömaan turvallisuustasomittausten, tulokset saataisiin eteenpäin tarvittavalla jakelulla välittömästi mittauksen suorittamisen jälkeen, sillä haastatteluhetkellä mittauksen tulokset kirjoitettiin paperille, joka skannattiin työmaatoimistolla ja lähetettiin sähköpostin liitteenä eteenpäin. Yleinen mielipide oli, että informaation tallentamisen, arkistoinnin ja siirtämisen tulisi toimia yhdessä sähköisessä järjestelmässä, johon asianomaisilla henkilöillä olisi tarvittavat henkilökohtaisesti määritetyt käyttöoikeudet.

Tällaisen projektiportaalin hyödyt ovat suuret koko hankkeen elinkaaren läpi, aina yleissuunnitelmasta toteumatietoon ja ylläpitoon saakka. Projektin kaikki keskustelut, päätökset, suunnitelmat ja muut asiakirjat säilyisivät kootusti tallessa ja asianomaisten henkilöiden saatavilla tarkastelua varten. Oikeanlainen tiedonhallinta edesauttaa rakennustoiminnan tehostamista ja näin ollen sen paremmalla hallinnalla on mahdollista

saavuttaa suuria säästöjä niin aikataulullisesti kuin taloudellisestikin. Tiedon etsinnän on oltava nopeaa ja helppoa, tiedon on oltava helposti jäsennehtynä ja välitettävissä eteenpäin sitä tarvitseville.

Nykyisin suunnitelmien ja muiden asiakirjojen sisältö pyritään kirjoittamaan kattavasti jo tiedoston nimeen, sillä aineistojen kanssa ei ole mahdollista tallentaa erillistä metatietoa järkevästi. Monet uudet sähköiset projektiportaalit tukevat metatietominaisuutta tiedostojen yksilöimiseksi ja tiedon alkuperän kirjaamiseksi. Tärkeitä metatietoja olisivat mm. mittausraportit, mittauksissa käytetyt koordinaatitot ja tehtyjen muutoksien listaukset sekä yksinkertaisesti aineistojen muokkauksen aika, paikka, tekijä ja aineiston vastuuhenkilö johon voi tarvittaessa olla yhteydessä.

Tiedostojen versiohallinta koettiin myös tärkeäksi kehityskohteeksi, sillä usein oli ollut epäselvyyksiä mitä tiedostoversiota tulisi käyttää. Versio- ja metatiedonsäilymisellä voitaisiin varmistaa se, että työmaalla on käytössä oikeat versiot suunnitelmista ja muista asiakirjoista, eikä hyväksytyjä suunnitelmia voisi muokata muiden huomaamatta. Versiotiedon hallinnasta olisi apua myös hyödynnettäessä koneohjausta, sillä koneohjausjärjestelmä voisi antaa virheilmoituksen ja estää vanhan toteutusmallin käytön, mikäli havaitsee avatusta tiedostosta olevan myös päivitetyn version palvelimella. Näin voitaisiin vähentää sekaannuksia toteutusmalliversioiden kanssa sekä estää virheiden syntymistä.

Projektin suunnittelussa ja ohjauksessa haluttiin tehdä enemmän yhteistyötä eri yksiköiden kuten mittauksen ja suunnittelun kanssa. Esimerkkinä käytettiin mittauksen tarpeiden huomioiminen jo aloituspalavereissa suunniteltaessa koneohjauksen tukiasemia ja projektin laadunvarmistusta. Viikkopalaverit koettiin hyväksi työkaluksi projektin sisäiseen tiedotukseen edellyttäen, että palavereihin osallistuu motivoitunutta henkilökuntaa. Nopeaa tiedotusta varten tulisi parantaa työmaiden langattomia yhteyksiä sekä sähköisiä projektiportaaleja tiedon jakamiseen.

Nykyisin tieto kulkee työmaalla usein suullisesti, mikäli asioista uskalletaan tai viitsitään kertoa eteenpäin. Työntekijöiden havaintojen ilmoitusmahdollisuuksia olisi yleisesti parannettava ja pyrittävä varmistumaan siitä, ettei mitään tärkeää jää ilmoittamatta parantamalla työntekijöiden osallistumismahdollisuuksia ja

sitoutumishalukkuutta. Haastatteluhetkellä projekteilla oli käytössä ryhmätiedonvälitystoiminto, mutta sitä ei ollut juuri hyödynnetty projektin ohjauksessa tai tiedon jakamisessa.

Informaation kulkua projektin ulkopuolelle haluttiin myös parantaa. Esimerkiksi tilaajalle raportoidessa tulisi miettiä yhteisesti sitä, mitä tietoja kohteen käytön ja kunnossapidon aikana tarvitaan. Tiedostojen jakamisen tulisi olla helppoa ja sähköpostien liitetiedostoista pitäisi pyrkiä eroon hyödyntämällä projektiportaaleja. Sähköpostilla välitetään nykyisin paljon luottamuksellista ja tärkeää tietoa, jolla on suuri vaara hukkaa muiden sähköpostien sekaan sekä joutua vahingossa väärille henkilöille liitetiedostojen kautta välitettäessä sähköpostikeskusteluja eteenpäin.

### **Radanrakentamisen ohjaus**

Työtehtävien ja resurssien määrittäminen sekä rakennustöiden ohjaus toteutetaan maarakentamisessa yleisesti kuutiomäärien ja koneiden tehojen mukaan. Työvaiheiden kestot saadaan kokemuksen ja eri lähteiden perusteella arvioiden työkonekohtaisia kestoja työvaiheittain. Esimerkiksi maaleikkaustöissä helppossa maastossa 25 tn kaivinkone kaivaa 80 kuutiota tunnissa. Kun tiedetään kyseisen tehtävän maaleikkauksen määrä, voidaan työvaiheen kesto arvioida ja varata sen perusteella työn toteuttamiseen tarvittavat resurssit. Haastatteluiden kehitysehdotuksena oli rakentamisen ohjauksen optimointi nykyistä tarkemmalla määrälaskennalla sekä paremmalla tutustumisella työvaiheisiin jo ennen rakentamisen aloittamista. Isot suoritteet ja selkeät työvaiheet on helppo määrittää etukäteen, mutta pienet, useaan eri paikkaan sijoittuvat, hetkitäiset työtehtävät on vaikea määrittää ja huomioida kattavasti työsuunnittelussa.

Haastattelun vastauksista kävi ilmi, että rakentamisen ohjauksessa olisi tärkeää nähdä työvaiheittaisen aikataulutuksen yhteydessä myös tehtäväkohtaiset resurssit, jotta saataisiin kokonaiskäsitys siitä, mitä tehdään, missä aikataulussa ja millä resursseilla. Haastatteluhetkellä käytössä olevista resursseista ei pidetty kirjaa, eli työnjohdon tuli muistaa mikä työkone on sidottu mihinkin työvaiheeseen ja kuinka kauan ko. resurssi on käytössä. Yleinen käsitys oli, että resurssiohjauksen tulisi käsittää työkoneet,

kuljettajat, mittaryhmän ja muun työmaahenkilökunnan, kuten esimerkiksi aliurakoitsijat ja vuokratyövoiman.

Resurssiohjaus voisi toimia myös henkilöiden sekä työkoneiden työsuunnittelun työkaluna, josta kaikki voisivat tarkastaa omien tehtäviensä aikataulut sekä mahdollisesti merkitä itsensä seuraaviin työvaiheisiin resursseiksi. Pienemmillä työmailla resurssiohjausta voitaisiin hyödyntää myös henkilökohtaisten työvuorolistojen tuottamiseen. Resurssiohjaus mahdollistaisi myös entistä paremman seurannan resurssien tarpeesta ja niiden todellisista käyttöasteista, mikä edelleen helpottaisi vastaisuudessa projektien resurssisuunnittelua tuottamalla kokemuseräistä tietoa päätösten tueksi.

Haastatteluhetkellä työvaihesuunnitelmia ei ollut sidottu suoraan aikatauluun, vaan työt aloitettiin projektin alussa arvatuilla tai sillä hetkellä saatavilla olevilla resursseilla, joita myöhemmin joko vähennettiin tai lisättiin toteuman mukaan. Resurssivajeen vuoksi oli yleistä hamstrata resursseja silloin kun niitä oli saatavilla ja etenkin päällysrakennetöissä käytettäviä työkoneita saatettiin varata huomattavasti pitemmäksi aikaa kuin niitä olisi oikeasti tarvittu, mikä taas aiheutti resurssipulaa muilla projekteilla kyseisistä koneista. Haastattelujen perusteella myös koko yhtiön tasoisen työkoneresurssien hallinnassa eli rakennusprojektien välisellä yhteistyöllä resurssitarpeiden suunnittelussa ja käytössä olevien työkoneiden todellisten käyttöasteiden seurannassa olisi kehitettävää.

Päällysrakentamisessa resurssit eli tehot, työryhmät ja työajat mitoitetaan hyvin tarkasti hyvin tiukkojen työrajojen vuoksi, sillä ratatyöt pyritään mahdollisuuksien mukaan tekemään liikennekatkoksissa työ- ja liikennöintiturvallisuuden takaamiseksi. Lyhyissä liikennekatkoksissa noudatetaan jopa minuuttiaikatauluja ja tällöin jokaisen koneen ja henkilön tulee tarkasti tietää omat tehtävänsä, jo ennen liikennekatkon alkua. Päällysrakennetöissä resurssit ohjataan nopeasti aina uusiin tehtäviin, sillä rakentamisaikataulut ovat kokonaisuudessaankin hyvin tiukkoja.

## **Tieto- ja toteutusmallien hyödyntäminen**

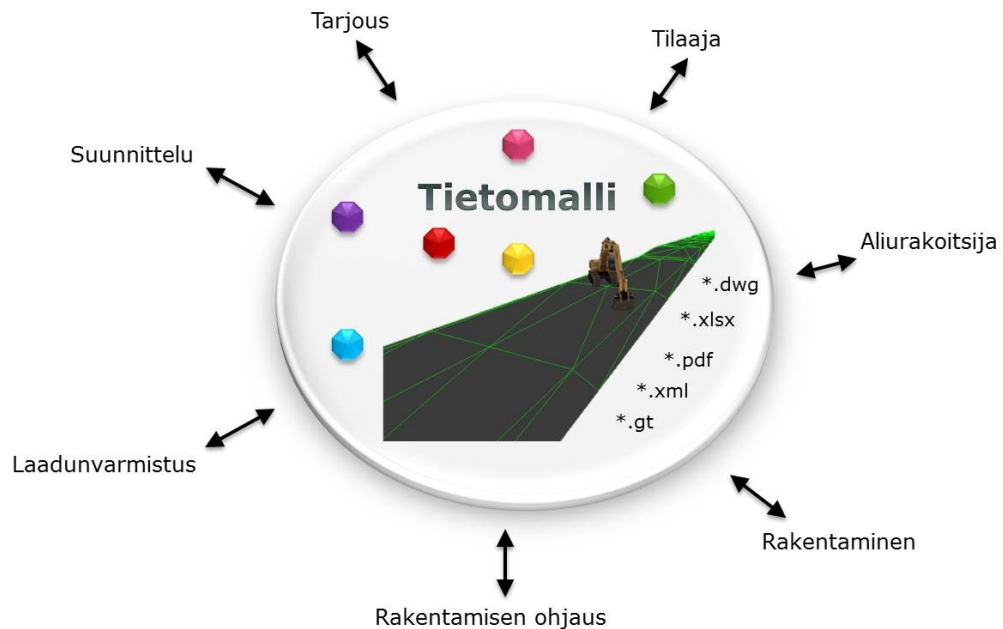
Toteutusmalleja ei hyödynnetty tuotannossa haastatteluhetkellä muuhun kuin työkoneiden ohjaukseen. Mittauksessa mallien hyödyntämistä oli tutkittu ja niitä oli alettu hyödyntää mahdollisuuksien mukaan mittauslaitteissa työkoneiden tarkistuksissa, merkintämittauksessa ja rakenteiden laadunvarmistuksessa. Toteutusmalleja hyödynnettiin kuitenkin jo kattavasti suunnittelun toteuttamassa määrälaskennassa ennen rakentamisen aloittamista. Tietomallien sisältämät määrätiedot eivät vielä kuitenkaan suoraan palvele esim. aikataulutusta, sillä maanrakennustyömailla on paljon muuttujia, jotka tulevat ilmi vasta rakentamisen alettua. Esimerkiksi todelliset kalliopinnat ja turpeenpoistovyvydet voivat poiketa paljonkin suunnittelun pohjana olleista pintatiedoista.

Pääasiassa koneohjausta hyödynnettiin haastatteluhetkellä maanrakennustöissä tavanomaisissa maansiirtokoneissa, eikä esim. silta- tai päällysrakennetöissä, joissa käytettiin paljon erikoistyökoneita. Koneohjausjärjestelmien laajemman käytön hidasteiksi koettiin järjestelmien suuret asennuskustannukset, tekniikan riittämättömyys erikoistyökoneisiin sekä se, että kokonaisurakoissa suunnitelmat tulevat tilaajalta dokumenttipohjaisina PDF-tulosteina, eikä suunnitelmien uudelleen mallintaminen toteutusmalleja varten ole kannattavaa pienissä hankkeissa sen vaatiman suuren työmäärän vuoksi.

Haastatteluissa tietomalleille nähtiin useitakin eri käyttömahdollisuuksia. Suurissa maarakennushankkeissa mittausten perusteella tuotettuja toteutusmalleja toteutusmalleihin vertailemalla voitaisiin käyttää perusteluina tilaajalta laskutettaville määrämuutoksille. Samalla perusteella voitaisiin tarkastaa myös aliurakoitsijoiden esittämiä määrämuutosvaatimuksia. Visuaalisesti paperitulosteita helppolukuisempien mallien perusteella voidaan tutkia helpommin myös suunnitelmien toteuttamiskelpoisuutta sekä hahmottaa paremmin koko työmaa jo projektin aloitusvaiheessa. Niiden avulla voitaisiin siirtää myös suunnittelun ja tarjouslaskennan aikaista ns. hiljaista tietoa eteenpäin rakentamiseen, käyttöön ja kunnossapitoon koko tuotteen elinkaaren ajan. Tietomallit helpottaisivat tiedonsiirtoa niin tilaajaorganisaation, konsulttien ja rakentajien välillä sekä selkeyttäisivät esim.

urakkarajojen hallintaa värikoodien avulla. Määrälaskennan lisäksi tietomallien hyödyntäminen mahdollistaisi myös objektiokohtaisen määrätarkastelun, esim. mistä objekteista määräluettelon 1000 kuutiota betonia muodostuu.

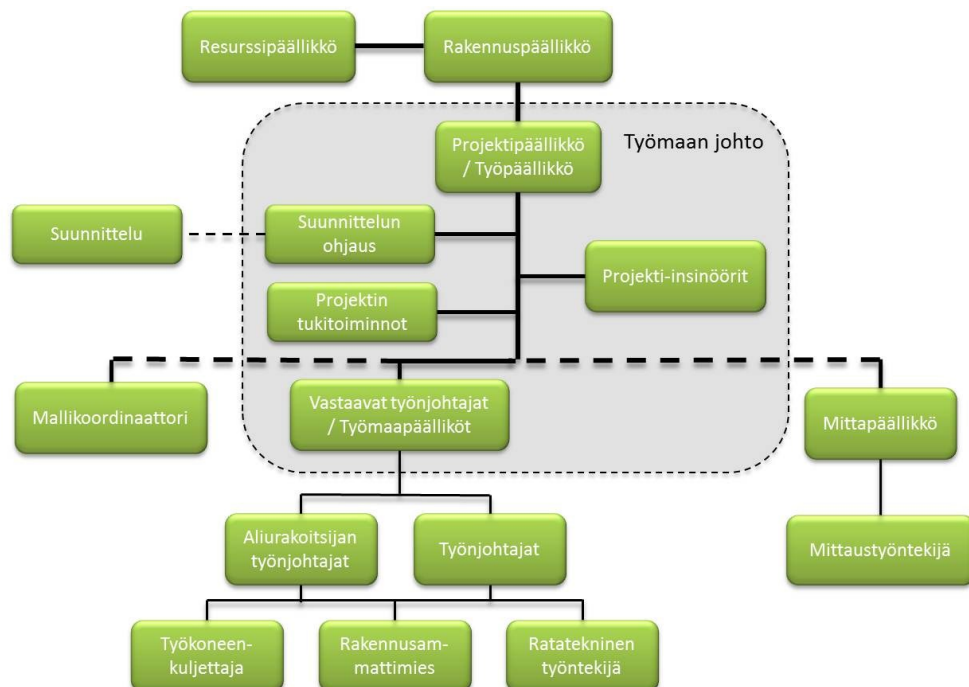
Työmaille tarvitaan työkaluja ja koulutusta mallien hyödyntämiseen, jotta mallit saataisiin päivittäisiksi työkaluiksi myös työmaalla. Haastatteluhetkellä työmaiden käyttämät mallit työllistivät suunnittelijoita, sillä työkaluja ja osaamista esim. mallien tarkasteluun ja muokkaamiseen ei työmailla ollut. Visuaalisista malleista voitaisiin lähteä kehittämään työkaluja projektin ohjaukseen, sillä malleihin pystytään syöttämään rakentajan tarvitsemaa tietoa, rakenteita, paalukohtaisia poikkileikkauksia silloista ja muita objektiokohtaisia tietoja, kuten sähköratapylväiden perustuksien asennusohjeet ja -toleranssit. Tietomalleilla voitaisiin tulevaisuudessa korvata myös nykyisin käytössä olevat laatukansiot osana digitaalista tallennusmuotoa, sillä laadunvalvonta ja kelpoisuuden osoittaminen on myös mahdollista tehdä mallipohjaisesti. Tietomallit voisivat toimia laajemmin ajateltuna projektiportaalina sisältäen mm. malleja, dokumentteja ja havaintopohjaisia aineistoja. (ks. Kuva 17)



**Kuva 17.** Tietomallin toimiminen projektiportaalina tukien tiedonsiirtoa eri osapuolten ja eri rakennusvaiheiden välillä.

## Työmaan organisaatorakenne

Vastaajat olivat yhtä mieltä siitä, että tavanomaista työmaan organisaatorakennetta olisi kehitettävä vastaamaan paremmin mallipohjaisen toiminnan, kuten mallipohjaisen suunnittelun, koneohjauksen, tietomallipohjaisen laadunvarmistuksen sekä tiedonkulun asettamia vaatimuksia (ks. Kuva 18). Haastatteluhetkellä ST-urakoissa puuttui linkki työmaan ja suunnittelun väliltä, vaikka suunnittelu- ja rakentamisyksiköt toimivat liian irrallaan toisistaan.

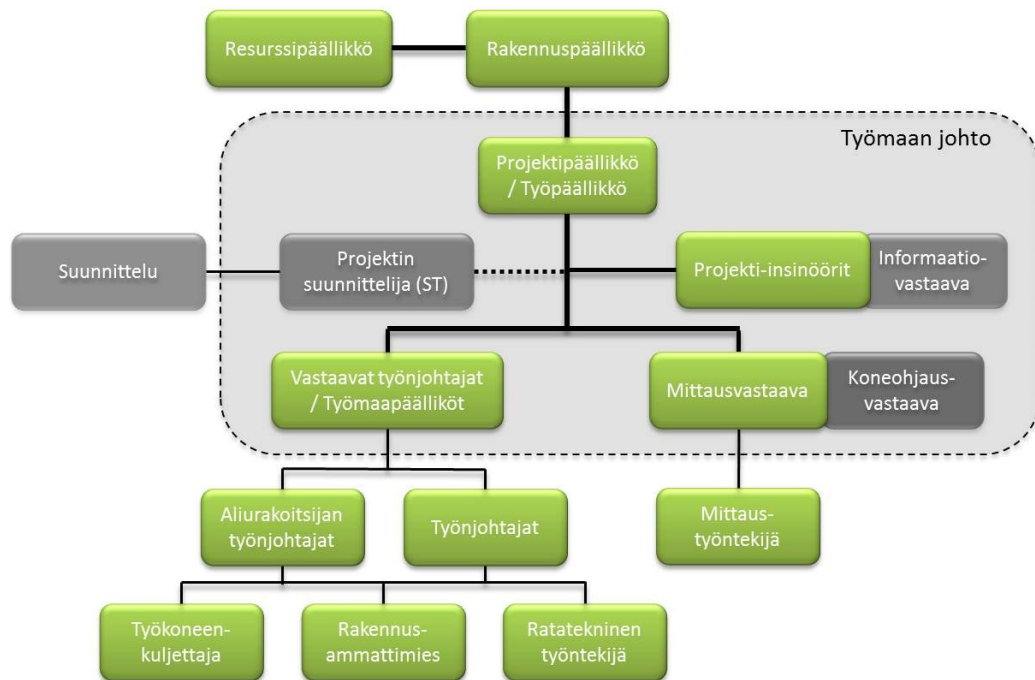


Lähteet: Työjärjestys: Maa- ja sillanrakentaminen (2011), Työjärjestys, Rakentaminen (2013), VR Track Rakentaminen (2013), Haastattelut

**Kuva 18.** Rakennusprojektin nykyinen organisaatorakenne.

Nykyisessä organisaatorakenteessa oli epäselvyyksiä mm. toimihenkilöiden vastualueissa esim. koneohjauksen ja laadunvarmistuksen kehittymisen kautta tulleiden uusien tehtävien suorituksessa, kuten mallien ja toteumatietojen käsittelyssä. Koneohjausta hyödyntäville projekteille oli nimetty suunnittelu- ja rakentamisyksiköstä tietomallikoordinaattori, joka vastasi toteutusmallien tarkastuksesta ja mallien siirtämisestä ja kokoamisesta rakentamisen palvelimelle.

Haastattelussa käytyjen keskustelujen myötä toivottiin mallipohjaisen työmaan dynaamista ohjausta tukevassa organisaatorakenteessa (ks. Kuva 19) selkeämpää tiedonkulkua ja esim. kaiken tietomalleihin liittyvän tiedon liikkuvan vain yhden henkilön tai projektiportaalin kautta. Muusta työmaan tiedonkulusta ja projektiportaalin päivittämisestä voisi vastata erikseen tehtävään nimetty informaatiovastaava, sillä tietomäärät ja niiden versiohallinta tulevat lisääntymään huomattavasti siirryttäessä mallipohjaiseen toimintaan.



Lähteet: Haastattelut

**Kuva 19.** Haastattelujen perusteella muodostettu mallipohjaisen työmaan dynaamista ohjausta tukeva organisaatio.

Yksi isoimpia ja näkyvämpiä muutoksia nykyiseen organisaatioon olisi mittauksen ottaminen mukaan työmaan ydinorganisaatioon ja projektin ohjaustehtäviin. Tällöin pystyttäisiin tehostamaan ja varmistamaan monia työmaan toimintoja mm. laadunvarmistusta, koneohjausta ja minimoimaan tarvittavia jälkimittauksia. Projektin koneohjausvastaava vastaisi kokonaisuudessaan koneohjauksesta yhteistyössä mittauksen kanssa, sillä mittaryhmää tarvitaan tarkistamaan koneiden ja tukiasemien tarkkuutta säännöllisesti. Koneohjausvastaavan vastualueeseen kuuluisivat koneohjausjärjestelmien tarkkuuden seuranta, niiden toiminnan varmistaminen, ja



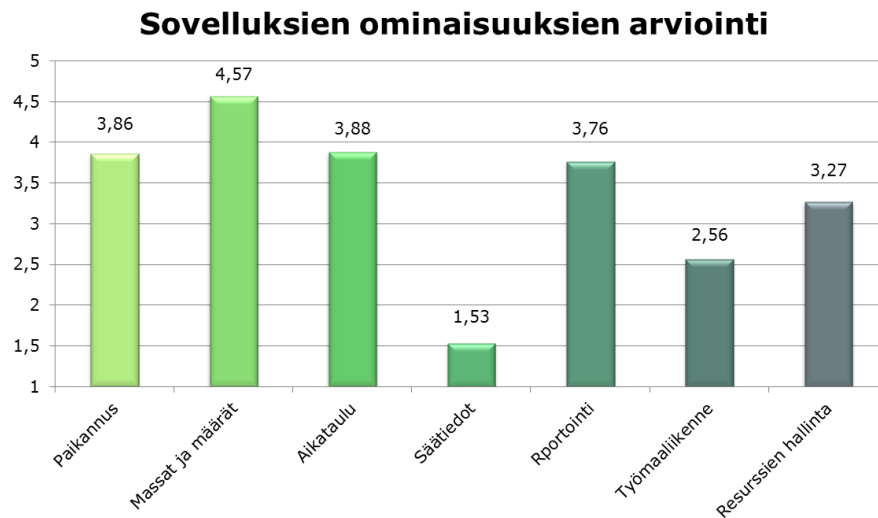
toteutusmallien oikeellisuuden tarkastaminen. Koneohjausvastaavalla tulisi lisäksi olla suora yhteys projektin vastuusuunnittelijaan, jotta malleissa havaitut virheet saataisiin tarkastettua ja korjattua mahdollisimman nopeasti.

Laadunvarmistusorganisaatiota haluttiin vastauksien perusteella kevennettävän keskittämällä sen vastuuta pois vastaavilta työnjohtajilta enemmän mittauksen ja projekti-insinöörien tehtäväksi. Haastatteluissa toivottiin myös parempaa projektin sisäistä valmiutta pieniin mallipohjaisiin suunnittelutehtäviin sekä tieto- ja toteutusmallien käsittelyyn esim. tuotantoinsinööri nimikkeen alla.

Haastatteluissa korostui myös yhteisöllisyyden tunne, sillä viikoittaiset työmaapalaverit koettiin hyväksi tavaksi käydä projektin tilanne läpi kaikkien työmaan johtamiseen osallistuvien henkilöiden kanssa. Yhteisöllisyyden lisäämiseksi ehdotettiin jopa päivittäisiä aamukahvipalavereita työmaan johtohenkilöiden kesken sekä kaikkien työntekijöiden viikoittaista informointia työmaan tilanteesta esim. teksti- tai sähköpostiviestillä, jotta kaikki pysyisivät mukana projektin kokonaiskuvassa. Haastattelussa toivottiin myös parempia mahdollisuuksia kehittää työskentelytapoja työmaalta tulevien kehitysehdotuksien ja työsuhteinnovaatioiden kautta.

### **Työmaan ohjauksessa käytettävältä ohjelmistolta vaadittavat ominaisuudet**

Haastattelun yhteydessä määriteltiin tärkeimmät työmaan ohjauksessa sovelluksilta vaadittavat ominaisuudet sekä pisteytettiin ne asteikolla 1-5, siten että 1 tarkoittaa vähiten tarpeellista 5 ollessa tarpeellisin ominaisuus. Arvioitavia ominaisuuksia olivat GNSS-paikannus, massa- ja määrähallinta, aikatauluohjaus, säätiedot, raportointi mahdollisuus, työmaaliikenteen seuranta sekä resurssien hallinta. Arvioinnin tulokset on esitetty *Kuva 20*. Sovelluksen käyttöympäristöä ei erikseen ollut rajattu joko työmaa- tai toimisto-olosuhteisiin, vaan kyselyllä kartoitettiin työkalujen tarvetta.



**Kuva 20.** Työmaanohjaukseen käytettävän sovelluksen ominaisuusvaatimusten arviointi asteikolla 1-5.

Ensimmäinen arvioitavista ominaisuuksista oli paikannus, sillä sijainnin tarkka tietäminen on merkittävää mm. rautatieturvallisuuden kannalta. Arvioitavana olivat käyttäjän oma sijainti, työkoneiden sijainti, työntekijöiden eli käynnissä olevien työkohteiden sijainnit sekä käyttäjän sijaintikohtainen suunnitelmien tarkastelu. Oman sijainnin arviointi liikkui koko arviointiskaalan läpi, sillä pienillä työmailla oman sijainnin tietää helposti, mutta pitkillä linjatyömailla, joissa maasto on samankaltaista läpi koko työmaan, omasta sijainnistaan voi olla epävarma ja siksi sijainnin näkeminen suhteessa työmaasuunnitelmiin koettiin erittäin hyödylliseksi. Työkoneiden sijainnin näkeminen järjestelmästä koettiin keskimäärin 3 arvoiseksi ja työkohteiden sijainnit 1 arvoiseksi, sillä työmaalla työskentelevän tulee haastatteluvastauksien perusteella tietää nämä muutenkin. Suunnitelmien ja tietomallien tarkastelu oman sijainnin perusteella sai parhaan mahdollisen arvosanan paikannuksen kokonaisarvion ollessa 3,86.

Massojen ja määrien toteuma-asteen seurantamahdollisuuden todettiin olevan hyödyllinen työtilanteen ja toteutumien seurantaan sekä aikataulussa pysymisen kontrollointiin. Työmaalla on tarpeellista tietää suunnitelmien mukaiset määrät, toteutuneet määrät sekä verrata näitä kahta keskenään työmaan etenemän seurannan kannalta. Toteutuneet massat saadaan kiinni mitatuista tarketiedoista ja samalla mitatut rakenteet voidaan merkitä valmiiksi toteutuneiksi massoiksi. Määrien tai rakenneosien

merkitseminen rakennetuiksi ja mitatuiksi olisi hyvä olla mahdollista suoraan työmaalta, jotta tieto olisi mahdollisimman reaaliaikaista. Massojen ja määrien hallinta arvioitiin tärkeimmäksi ominaisuudeksi 4,57 pisteen arviolla.

Aikataulutus sai pisteitä 3,88, sillä etenemän seuranta tapahtuisi ensisijaisesti toteutuneiden massojen ja määrien avulla kuten edellä kuvattiin. Tärkeänä ominaisuutena pidettiin kuitenkin toteuman päivittymistä aikatauluun. Raportointityökalun tarpeellisuus arvioitiin 3,76 pisteen arvoiseksi ja siihen toivottiin etenkin mahdollisuutta liittää paikkatiedon omaavia kuvia ja muistioita suoraan työmaalta päiväkirjojen ja raporttien liitteiksi. Myös sähköiset työmaapäiväkirjat, kuormakirjat ja aliurakoitsijoiden tuntiilaput koettiin hyödyllisiksi kehityskohteiksi.

Resurssienhallinta, eli mihin tehtävään ja mille aikavälille työntekijät ja työkonet on sidottu, sekä koneiden käyttötiedot ja toteutuneet tehot arvioitiin 3,27 pisteen arvoiseksi. Ohjelmistolla tulisi pystyä tekemään työsuunnittelu ja määrittämään työtehtävät siten, että ohjelmistolla voitaisiin helpottaa työmaan johtoa resurssienhallinnassa. Lisäarvona ohjelmistolle nähtiin mahdollisuus tarkistaa esim. onnettomuustilanteissa välittömästi vaara-alueella olevat henkilöt ja koneet niiden varoittamista varten.

Työmaaliikenteen suunnittelu, ohjaus ja seuranta koettiin keskimäärin 2,56 pisteen arvoiseksi, sillä kokonaisuudessa työvaiheet pitäisi pystyä suunnittelemaan alusta asti tarkemmin, jotta ylimääräisiltä kuljetuskustannuksilta säästyttäisiin. Enemmän on merkitystä siirrettyillä massoilla ja määrillä kuin niiden käyttämällä reiteillä. Sää tiedot koettiin kaikista tarpeettomimmaksi ominaisuudeksi, sillä säätilalla ei ole kuin erityistapauksissa merkitystä työn tekoon, kuten kiskonhitsauksen suosituslämpötilat. Sää tiedot tarkastetaan etukäteen ilmaisista nettipalveluista tai ulkolämpömittareista, mutta sää tietojen, kuten lämpötilojen ja ilman suhteellisen kosteuden, automaattinen päivittyminen esim. sähköisiin raportteihin ja työmaapäiväkirjoihin nopeuttaisi raportointia. Sää tiedot saivat keskiarvosanaksi 1,53.

### 3.2.3 Rakennusurakan laadunvalvonta

#### Laadunvarmistuksen nykytila ja sen kehityskohteet

Haastatteluhetkellä laadunvarmistus oli järjestetty projektikohtaisesti noudattaen projektin sopimuksia ja InfraRYL:n sekä Liikenneviraston antamia ohjeita ja määräyksiä seuraten laatua mittauksilla ja silmämääräisesti. Yleinen toimintatapa oli osoittaa rakenteiden laatu rakennushankkeen päätyttyä valvojan ohjatessa laadunvarmistusta. Kelpoisuusaineiston tuottaminen urakan lopussa oli haastattelujen mukaan usein ongelmallista, sillä osa rakentamisen aikaisista paperisista raporteista saattoi olla hukassa ja jotain oli saattanut kaikessa kiireessä jopa jäädä kokonaan tekemättä. Kaikki ylimääräinen raporttien puhtaaksi kirjoittaminen, yhteen kokoaminen ja sähköinen arkistointi rakentamisen aikana työllistävät työmaahenkilökuntaa huomattavasti. Raportointi kannattaisi huomioida jo projektin alusta alkaen ja helpottaa työtä esim. valmiilla sähköisillä raportointipohjilla.

Laadunvarmistusprosessi koettiin haastattelussa hitaaksi ja pitkäksi, sillä prosessi muodostui monesta vaiheesta sekä tarkastuksesta ja lisäksi mittausryhmän aikataulujen sovitus työmaan aikatauluihin aiheutti viivästyksiä laadunvarmistusprosessiin. Ensin valmiille rakenteelle suoritettiin mittausryhmän toimesta Infra RYL:n ohjeiden mukaisesti tarkemittaukset, jotka tarkastettiin projektin sisäisesti ja kaikki havaitut virheet korjattiin ja tarkkeet mitattiin sen jälkeen uudelleen. Kun tarketiedot läpäisivät sisäisen tarkastuksen ja rakenteen laatu todettiin riittäväksi, tulokset lähetettiin tilaajan tai tilaajan edustajan tarkastettavaksi ja hyväksyttäväksi. Mikäli vielä tässä vaiheessa tilaaja huomasi jotain laatuvirheitä tai poikkeamia, alkoi koko laadunvarmistusprosessi uudelleen alusta hidastaen kohteen rakennustöitä tai laatu-poikkeamat huomioitiin lopullisen tuotteen arvon alennuksina.

Kehitysehdotuksena mainittiin laadunvarmistuksen helpottaminen ja nopeuttaminen esim. koneohjausta hyödyntämällä. Maarakentamisessa rakenteiden teknisiä laatuvaatimuksia olisi kehitettävä yleisesti vastamaan paremmin mallipohjaisen rakentamisen myötä parantunutta kokonaislaatua. Nykyisin laadunvarmistus työllistää projektin mittaryhmää ja vastaavia työnjohtajia huomattavasti, vaikka rakenne voidaan todeta silmämääräisesti rakennetun voimassa olevan toteutusmallin mukaisesti tai ilman

koneohjausta rakennettaessa vertaamalla rakenteen yläpintaa sihtilappuihin. Laadunvarmistusta olisi kehitettävä enemmän rakenteellisen toimivuuden todentamiseksi kuin muutaman senttimetrin sijaintitoleranssien tutkimiseksi.

Haastatteluissa nähtiin puutteita myös tarketietojen toimitusmuodoissa, sillä tarketietojen muokkaus on helppoa ja nopeaa nykyisillä ohjelmistoilla. Tarketiedon oikeellisuudesta ei voi olla täysin varma, ellei sitä saada suoraan ilman välikäsiä mittalaitteesta tarkastukseen. Tämän ongelman ratkaisemiseksi olisi kehitettävä tuotantoteknologisia ratkaisuja, jotta mittaustulosten luotettavuutta pystyttäisiin parantamaan ja mittausten työllistävyttä vähentämään. Mittaustulosten hyödynnettävyys työmaanohjauksessa nähtiin myös kannattamattomaksi, sillä tulosten sisältämä informaatio on jo käytännössä vanhentunutta eikä niiden poikkeamat kannusta riittävästi työtapojen kehittämiseen paremman laadun saavuttamiseksi, sillä rakenteet on jo rakennettu valmiiksi.

Kehitettävää koettiin olevan myös hankekohtaisissa laatusuunnitelmissa, joissa urakoitsija pyrkii nykyisin lupaamaan tilaajalle mahdollisimman vähän laaduntarkastusmittauksia ja -toimenpiteitä oman työmäärän helpottamiseksi. Toisaalta tilaajakin on kiinnostunut vain projektista tuotettavista laatudokumenteista ja niiden sisällöstä, eikä niinkään fyysisistä rakenteista ja niiden toimivuudesta tai käytön ja kunnossapidon tarvitsemista dokumenteista. Hankekohtaisia laatusuunnitelmia olisi kehitettävä yhteistyössä urakoitsijan, tilaajan ja kunnossapidon kanssa, jotta rakentamisen aikana osattaisiin mitata vain ja ainoastaan sellaista informaatiota, jota tarvitaan rakenteen elinkaaren hallinnassa.

Suurimpana työmaanohjauksellisena ongelma koettiin mittauksien aikataulullinen sovittaminen rakentamistyöhön, sillä laadunvarmistusmittauksia ei yleensä ole huomioitu työmaan aikataulutuksessa. Mittausten aikataulutuksen helpottamiseksi toivottiin työkalua, jonka avulla mittausryhmä voisi ennakkoon suunnitella missä ja milloin laadunvarmistusmittauksia voidaan suorittaa, sillä esim. konekukset saattavat virheellisesti pyytää mittauksia keskeneräisistä rakenteista. Yleinen mielipide oli, että mittaustyön ohjaus vaatii kehittämistä ja usein työmaalta sekä työnjohdolta annetaan ristiriitaisia ohjeistuksia mittauksille johtuen huonosta informaation kulusta projektin ja

mittausryhmän välillä. Laadunvarmistuksen kehityksen esteinä nähtiin yleinen toimintojen muutosvastarinta ja se, että virheitä ja niistä aiheutuvia sanktioita pelättiin jopa siinä määrin, että tapahtuneista virheistä raportoitiin vasta pakon edessä. Isommissa projekteissa ongelmia saattaa aiheutua myös siitä, että laatua ohjaava henkilö ei ole perillä koko projektista ja sen tapahtumista, vaan ohjaa laatua pelkästään saamiensa tarkemittaustulosten perusteella.

### **Laadunvarmistuksen kehittäminen**

Haastateltavat uskoivat yleisesti, että tietomallien hyödyntäminen parantaisi eri toimijoiden välistä yhteistyötä laadunvarmistuksessa ja helpottaisi laadunvarmistusprosessin resurssiohjausta. Laadunvarmistusta haluttiin kehittää enemmän ennakoivaksi ja toteutusta ohjaavaksi sekä nykyistä kevyemmäksi toiminnaksi mm. panostamalla enemmän töiden ennakkosuunnitteluun ja rakentamisprosessien kehittämiseen ja yhtenäistämiseen. Myös koneohjauksen hyödyntämistä mittausten toteuttamiseen pidettiin mahdollisena, mutta se vaatisi vielä koneohjauksen mittaustarkkuuden tutkimista sekä tarkempia määrittämiä kelpoisuuden osoittamiselle tilaajan puolelta jo urakoiden tarjousvaiheessa.

Haastattelujen perusteella tietomallipohjaisella työmaalla laadunvarmistusprosessin olisi aina lähdettävä liikkeelle toteutusmallin oikeellisuuden ja laadun tarkastamisesta sekä työkoneiden riittävän paikannustarkkuuden ja kelpoisuuden todentamisesta rakentamiseen sekä toteutumamittauksiin. Kun toteutusmallien ja työkoneiden riittävästä tarkkuudesta voidaan varmistua, voisi yksinkertaisten rakenteiden laadun toteutukseksi riittää silmämääräinen tarkastelu sekä pistokoeluontoiset mittaukset ja laatudokumentteina toimitettavat työkoneen tekemät toteutumamittaukset ja muut mittaustulokset sekä tarkistuksen yhteydessä otetut valokuvat ja sanallinen raportti kohteesta.

Uusi laadunvarmistusprosessi siirtäisi enemmän vastuuta työkoneen paikannustarkkuudesta sekä toteutumamittausten toteuttamisesta suoraan työkoneenkuljettajille, joiden tulisi seurata sekä työkoneen suhteellista tarkkuutta että oman työnsä laatua ja raportoida eteenpäin vastaaville työnjohtajille tekemistään havainnoista. Laadunvarmistusprosessin nopeuttamiseksi ja kokonaislaadun

parantamiseksi työkoneilla tuotetut toteumamittaukset tai mittalaitteilla tuotetut tarkemittaukset valmiista rakennepinnoista tulisi voida siirtää mahdollisimman reaaliaikaisesti projektin sisäiseen tarkastukseen, jotta mahdollisiin laatupoikkeamiin voitaisiin puuttua välittömästi ja tarkastetut tulokset saataisiin mahdollisimman nopeasti myös tilaajan hyväksyttäväksi.

Yhtä tärkeää kuin yleisten laaduntodentamistapojen ja mittausten kehittäminen on myös laadunvarmistusprosessin tuloksena syntyvän laaturaportoinnin kehittäminen. Toteuma- ja tarkemittauksien tulokset, maamateriaalien seulontakäyrät, sijaintitoleranssit sekä muut laadunvarmistustulokset olisi saatava mahdollisimman reaaliaikaisesti tallennettua projektin sisäisen tarkastuksen jälkeen tietokantaan, jonne myös tilaajalla olisi käyttöoikeudet tuotettujen laatudokumenttien tarkastamiseen, kommentointiin ja hyväksyntään. Tietokantaa hyödyntämällä kaikki tuotetut laadunvarmistusdokumentit olisivat kootusti tallessa ja helposti kaikkien saatavilla sähköisesti ajasta ja paikasta riippumatta.

### **Koneohjauksen hyödyntäminen mittauksissa**

Koneohjauksella tuotetuissa toteumamittauksissa on tutkitusti pienempi hajonta ja tasaisempi laatu kuin perinteisellä tavalla mitattaessa (ks. Kuva 5) ja koneohjauksen myötä myös tarvittavat mittausresurssit pienenevät. Haastatteluun vastanneet olivat yhtä mieltä siitä, että koneohjauksen hyödyntämällä on mahdollista säästää aikaa, vähentää laadunvarmistuksen kuormittavuutta, parantaa työkoneenkuljettajien sitoutumista, vähentää päällekkäisiä mittauksia sekä parantaa aikataulun seurantaa ja ohjausta laadunvarmistuksen reaaliaikaistumisen myötä.

Koneohjauksen hyödyntäminen laadunvarmistusmittauksissa ei kuitenkaan ollut vielä täysin ongelmatonta vastaajien omien kokemusten perustella, vaan se vaatii vielä paljon opettelua ja kehittämistä mm. tukiasemien tarkkuuden, työkoneiden ohjaus- ja paikannusjärjestelmien, mittausten luotettavuuden ja toistettavuuden sekä henkilöiltä vaadittavan tietotaidon osalta. Mittauksissa ongelmia olivat aiheuttaneet useat muuttuvat tekijät, kuten vaihtuvat kuljettajat ja työkoneet, koneohjausjärjestelmät, mittauslaitteistojen sekä koneiden huollot jne. Laadunvarmistusprosessi olisi saatava kehitettyä riippumattomaksi mahdollisimman monesta edellä mainituista tekijöistä esim.

kehittämällä työkoneiden kalibrointia niin, että työkoneen rakennus- ja mittaustarkkuudesta voitaisiin varmistua huoltojenkin yhteydessä.

Työkoneella tehtävien toteumamittausten hyvinä puolina koettiin työmaan toteumatiedon reaaliaikaistuminen perinteiseen toimintatapaan nähden ja se, että koneenkuljettaja tietää milloin tietty pinta tai rakenneosaa on valmis seuraamalla toteutusmalleja. Toteumamittaukset toimivat myös kuljettajan oman työn laadun mittareina ja hyötyä saavutetaan myös sillä, että mittausryhmän resursseja vapautuu muihin tehtäviin kuten kartoitukseen, sekä tukiasemien ja työkoneiden tarkkuuden tarkistusmittauksiin.

Koneohjausjärjestelmissä käytettävän GNSS-mittauksen tarkkuus ei vielä riitä kaikkiin laadunvarmistusmittauksiin johtuen InfraRYL:ssä määrätyistä rakennekohtaisista toleransseista, mutta sen avulla mittaukset olisi huomattavasti nopeampi toteuttaa kuin takymetrillä, joka on nykyisin hyväksytty tarkemittausmenetelmä. Työkoneilla toteutettuihin toteumamittauksiin perustuvassa laadunvarmistuksessa pistokoemuotoiset tarkistusmittaukset olisi kannattavaa toteuttaa takymetrillä tai esim. RTK-korjausta hyödyntävällä GNSS-mittalaitteella tavallista GNSS-mittalaitetta paremman tarkkuuden vuoksi. Myös jatkuvasti yleistyvää 3D-mobiilikeilausaineistoa voitaisiin harkita laadunvarmistuksessa toteumapisteiden vertailupohjaksi.

### **Laadunvarmistusprosessin ohjaus**

Laadunvarmistuksen ohjaus perustuu työmaan omaan ja sopimusten mukaiseen kelpoisuuskirjaan. Pienillä työmailla on käytäntönä rakentaa kaikki ensin valmiiksi, toteuttaa sen jälkeen tarkemittaukset ja koota laatukansiot juuri ennen luovutusta. Isoilla työmailla aineistoa täytyy kerätä jatkuvasti, sillä kaikki rakennekerrokset on yleensä hyväksyttävä erikseen. Tällöin vastaavan työnjohtajan on tilattava mittaukset, tarkastettava tulokset sisäisesti ja toimitettava tilaajalle raportti tarkemittaustuloksista, jotta töitä voidaan jatkaa hyväksytyt kerroksen päälle.

Kehitysehdotuksena haastatteluissa tuli ilmi laatuinsinöörin ottaminen mukaan myös pienille työmaille, jotta laadunvarmistus ei kuormittaisi liikaa vastaavia työnjohtajia ja laadunvarmistus tapahtuisi organisoidummin koko yhtiön yhtenäisten toimintatapojen



mukaisesti. Toisena kehitysehdotuksena mainittiin koneohjauksella tehtyjen toteumamittausten ja mittaryhmän tekemien tarkemittauksien päivittyminen automaattisesti heti mittausten suorittamisen jälkeen sovellukseen, josta nähtäisiin toteumapisteiden perusteella valmiiksi rakennetut alueet ja tarkemitatut alueet lopullista laadunvarmistusta varten. Sovelluksen avulla olisi helppo tarkistaa valmiit rakenteet ennen tarke- tai pistokoemittauksia, jottei mitattaisi turhaan keskeneräisiä kohteita.

Radikaaleimpana laadunvarmistuksen kehitysehdotuksena mainittiin tarkemittauksen raju harventaminen tai lopettaminen kokonaan, sillä mittaustuloksia ei laadunvarmentamisen jälkeen hyödynnetä missään ja tulosten oikeellisuus katoaa kuitenkin jossain rakenteen elinkaaren aikana esim. rakenteen painuman tai peittymisen myötä. Laadunvarmistus olisi toteutettavissa nykyisellä hyödynnettävyyden tasolla myös toteumapisteiden seurannalla, silmämääräisellä tarkkailulla ja valokuvaamisella. Laadunvarmistusprosessin kehittämisessä ja sen dokumentoinnissa olisi erityisesti kiinnitettävä huomiota rakenteiden myöhemmissä elinkaaren vaiheissa tarvittaviin tietoihin.

Mittaus- ja työmaahenkilöstön sekä työmaanjohtoon toivottiin tekevän entistä tiiviimpää yhteistyötä laadunvarmistusprosessin suunnittelussa ja toteutuksessa. Myös metatietojen liikkuvuus olisi varmistettava prosessin alusta asti, sillä mittauksissa aikaleimat, käytetyt mittausmenetelmät ja koordinaatistojärjestelmät ovat olennainen osa mittausaineiston luotettavuutta ja mittausten toistettavuutta. Kehitysehdotuksena nähtiin myös tilaajan haluamien kelpoisuusaineistojen tarkka määrittely kelpoisuuskirjassa jo urakan tarjousvaiheessa ja esim. valmiiden raportointipohjien luovuttaminen urakoitsijoille, jolloin kelpoisuusaineisto olisi automaattisesti myös tilaajan toivomassa formaatissa arkistointia ja jatkokäyttöä varten. Kelpoisuusaineiston kokoamisesta pitäisi pystyä luomaan koko projektin kestävä selkeä ja rutiininomainen prosessi.

### **Työmaan reaaliaikainen laadunhallinta ja seuranta**

Haastateltujen henkilöiden mielestä työmaan reaaliaikaisella seurannalla on mm. massanvaihdossa suuri taloudellinenkin merkitys, muttei esim. kiskojen vaihdossa. Hankkeen tai urakan alussa olisi pyrittävä löytämään kyseistä työmaata parhaiten kuvaavat kriittiset työvaiheet, joita reaaliaikaisesti seuraamalla saataisiin

kokonaiskäsitys työmaan etenemästä. Koneohjauksella tehtävistä toteumamittauksista saadaan lisäarvoa niin työmaan reaaliaikaiseen seurantaan kuin laadunvarmistukseenkin, jos mittaukset saadaan työkoneista nopeasti työnjohdon hyödynnettäviksi.

Reaaliaikaisen seurannan myötä voidaan yksinkertaistaa tuotantoprosessia poistamalla turhia työvaiheita ja nopeuttaa tiedonkulkua eri toimijoiden välillä. Tietomallipohjaisen ja dynaamisen työmaanohtauksen ideana on rakentaa kerralla oikein ja reaaliaikaisesti rakentamisen laatua seuraamalla voidaan havaitut poikkeamat korjata viivyttelämättä. Reaaliaikainen laadunseuranta mahdollistaa myös työmenetelmien jatkuvan kehittämisen, sillä menetelmämuutosten vaikutukset laatuun ovat heti nähtävissä ja tarkasteltavissa. Reaaliaikaisuus yhdistettynä tietomalleihin vähentäisi myös paperitöitä ja laadunvarmistus ei pääsisi unohtumaan vasta projektin loppuun, vaan siihen täytyisi panostaa jatkuvasti. Työmaanseurannan reaaliaikaisuus herättäisi luottamusta myös tilaajissa, sillä työmaan todellinen tilanne voitaisiin selkeästi kuvata ja esittää tilaajalle siihen perustuvia toimenpide-ehtotuksia.

Tietomalleihin ja ylipäätään suunnitelmiin perustuva työmaanseuranta koettiin haastattelujen perusteella tärkeäksi ja reaaliaikaisen laadunhallinnan etuina nähtiin työvaiheesta toiseen siirtymisen oleellinen nopeutuminen ja konekuskien mittausten kautta saama palaute omasta työstään. Reaaliaikaisella laadunhallinnalla mainittiin voivan saavuttaa mm. seuraavia asioita:

- rakentamisen kokonaislaatu paranee
- hukka vähenee
- projektin ennustettavuus paranee
- saadaan kustannussäästöjä
- työtehot parantuvat ja säilyvät samalla tasolla pitempään

### 3.3 Kaupallisten sovellusten toimivuus työmaaolosuhteissa

Tässä diplomityössä tutustuttiin neljän eri ohjelmistotoimittajan tuottamiin ratkaisuihin tietomallipohjaisen työmaan ohjaukseen. Ohjelmistojen ominaisuudet pisteytettiin VR Track Oy:n infrarakentamisen divisioonan radanrakennuksen ja työmaiden johtohenkilöille sekä koneohjausjärjestelmien kanssa toimineille yhteistyökumppaneille suunnatun kyselyn vastauksien ja diplomityön tekijän omien arvioiden perusteella. Kesän 2013 aikana Kokkola-Riippa -radanrakennustyömaalla kokeiltiin kahta ominaisuuksiensa perusteella eniten pisteitä saanutta sovellusta. Diplomityössä tutustuttiin seuraaviin sovelluksiin: Tekla Oyj:n Tekla Civil, Hohto Labs Oy:n Kuura - palvelu, Vianova Systems Finlandin Novapoint Virtual Map for Construction (VMC) ja Topconin 3D Office.

Sovellusten sisältämät keskeisimmät ominaisuudet on koottu ja pisteytetty alla olevaan taulukkoon (ks. *Taulukko 2*). Huomattavaa on, että sovellusten ominaisuudet poikkesivat merkittävästi haastatteluissa työmaan ohjaukseen kaivatuista työkaluista (ks. *Kuva 20*). Sovellusten nykyiset ominaisuudet painottuivat tietomallien tarkasteluun erilaisten mittaus- ja laskentatyökalujen avulla, kun taas haastattelujen vastauksissa toivottiin kokonaisvaltaisempia työkaluja työmaan ohjaukseen kuten tietomallien, aikataulun ja resurssien hallintaan sekä työmaan tapahtumien raportointiin.

**Taulukko 2.** Sovellusten keskeisimmät ominaisuudet.

Ominaisuudet	Pisteytys	Sovellukset			
		Tekla Civil	Virtual Map for Construction	3D Office	KUURA
Paikannus	20	on	ei	on	on
Maastokäyttöliittymä	20	on	ei	ei	on
Toimistokäyttöliittymä	5	on	on	on	on
Inframodel	10	on	on	on	on
Poikkileikkaustarkastelu	10	on	on	on	on
Massalaskenta	15	on	on	on	ei
Määrälaskenta	10	on	on	ei	ei
Tarke- ja toteuma pisteiden esitys	10	on	ei	ei	on
yht.	100	100	50	60	75

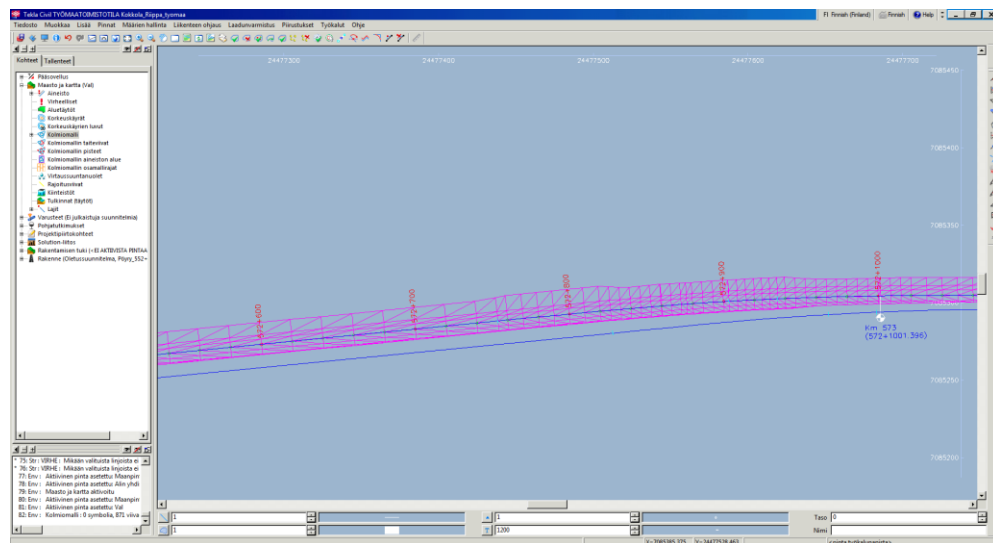
Tärkeimpänä ominaisuutena sovelluksille määriteltiin kyselyn vastausten ja diplomityön tekijän oman näkemyksen perusteella toteutusmallien tarkastelumahdollisuus käyttäjän oman fyysisen sijainnin mukaan. Yhtä tärkeäksi ominaisuudeksi määritettiin selkeä ja helppokäyttöinen maastokäyttöliittymä. Muita arvioituja ominaisuuksia olivat suunnitelmien poikkileikkaustarkastelu, massa- ja määrälaskenta mallien perusteella, Inframodel- tiedonsiirtoformaattiyhteensopivuus, tarke- ja toteumatietojen esitysmahdollisuudet sekä toimistokäyttöliittymän selkeys ja yksinkertaisuus. Ominaisuuksien arvioinnin perusteella työmaakokeiluun valittiin Tekla Civil ja Kuura, sillä sovelluksen loppukäyttäjinä aluevastaavat ja mittausvastaava pitivät tärkeänä saada työkaluja juuri maastoon ja maastossa tehtäviin toimintoihin, sillä toimistolla käytettävät sovellukset ja työmaan seuranta edellyttävät kuitenkin lähtötiedon keräämistä maastosta.

### **3.3.1 Tekla Civil -työmaasovellus**

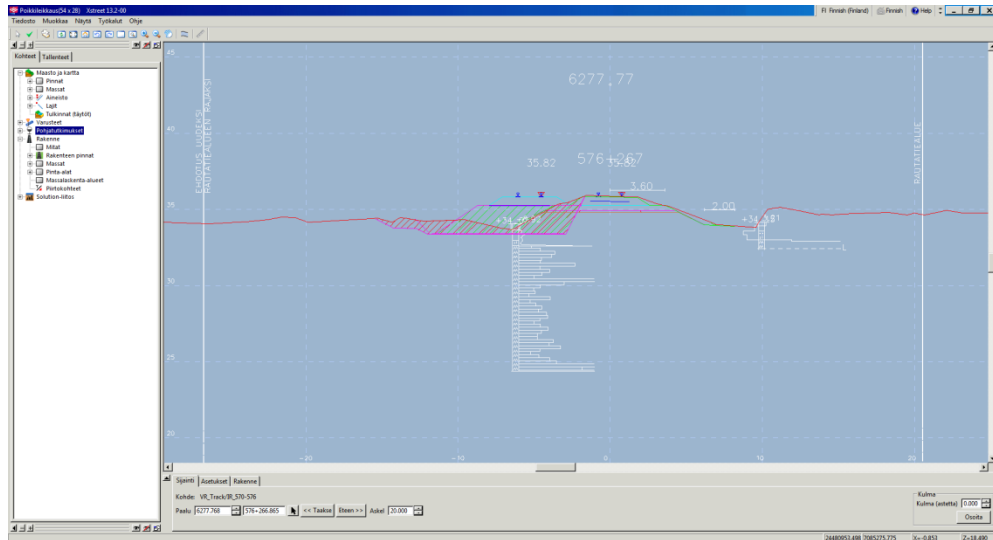
Tekla Civil on ensisijaisesti suunnitteluohjelmisto, johon on kehitetty suunnittelusovelluksen rinnalle myös työmaaympäristöön paremmin soveltuvat työmaatoimistotila ja maastotila. Koko ohjelman käyttöperiaate perustuu tietokantaan, johon luetaan ja tallennetaan mittauksia, kairauksia ja muuta dataa käsittelyä ja suunnittelua varten. Kaikki tehdyt muutokset ja suunnitellut rakenteet ja varusteet tallentuvat tähän samaan tietokantaan ja kaikki tietokannassa olevat aineistot ovat samanaikaisesti kaikkien käyttäjien käytettävissä riippumatta siitä käytetäänkö sovellusta suunnittelu- tai työmaatilassa. Tekla Civil tuki yleisimpiä tiedonsiirtoformaatteja kuten dwg, gt, IM2 ja IM3.

Tekla Civil -sovelluksessa suunnitelijan ja työmaan välistä yhteistyötä on helpotettu viestinnän mahdollistavilla muistilapuilla ja punakynämerkinnöillä, joilla voidaan mm. helposti merkitä kommentteja suoraan suunnitelmiin tai esittää kysymyksiä epäselvyyksistä. Muistilappujen avulla tietokantaan voidaan tallentaa myös paikkatiedon sisältäviä valokuvia ja muita aineistoja kuten esim. pdf-tiedostoja. (Tekla 2013)

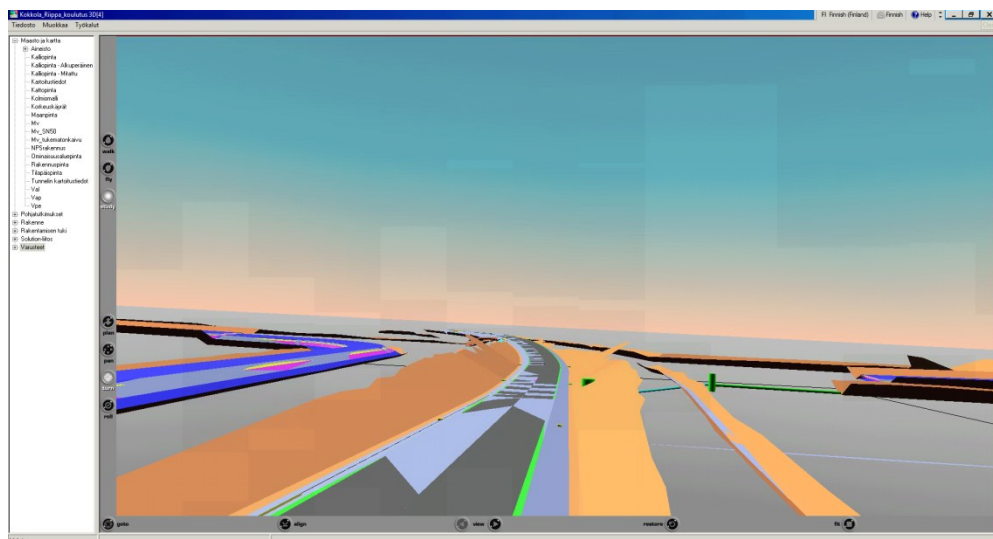
Työmaatoimistotilan (ks. Kuva 21) ulkoasu ja käyttöliittymä ei poikennut huomattavasti suunnittelutilasta, mutta sitä oli yksinkertaistettu piilottamalla pelkästään suunnittelutilassa käytettäviä toimintoja valikoihin, jotta työmaatoimistotilassa useimmiten tarvittavat työkalut oli saatu paremmin esille ja niiden käyttöä yksinkertaistettua. Työmaatoimistotilassa on mahdollista mm. tarkastella suunnittelijan työmaan käyttöön julkaisemia suunnitelmia sekä niiden poikki- ja pituusleikkauksia (ks. Kuva 22), tehdä merkintöjä, mitata etäisyyksiä, kulmia ja pinta-aloja, laskea massoja ja varusteita sekä merkitä niitä rakennetuiksi, tarkastella toteuma-asteita ja tutkia tarkkeita suhteessa suunniteltuun pintaan, tarkastella suunnitelmia 3D-ikkunassa (ks. Kuva 23), suunnitella työnaikaisia liikennejärjestelyjä ja yksinkertaisen rakenteen omaavia työmaateitä sekä tulostaa piirustuksia ja taulukkomuotoisia raportteja massoista ja tarkkeista. Suunnitelma-aineiston taustalle on myös mahdollista ladata suunnitelmien hahmottamisen avuksi esim. työmaakarttoja sekä ilmakuvia. (Tekla 2013)



**Kuva 21.** Tekla Civil- työmaatoimistotilan karttanäkymä, jossa näkyy pelkistetyt ratalinjat ja toteutusmallin kolmioverkko



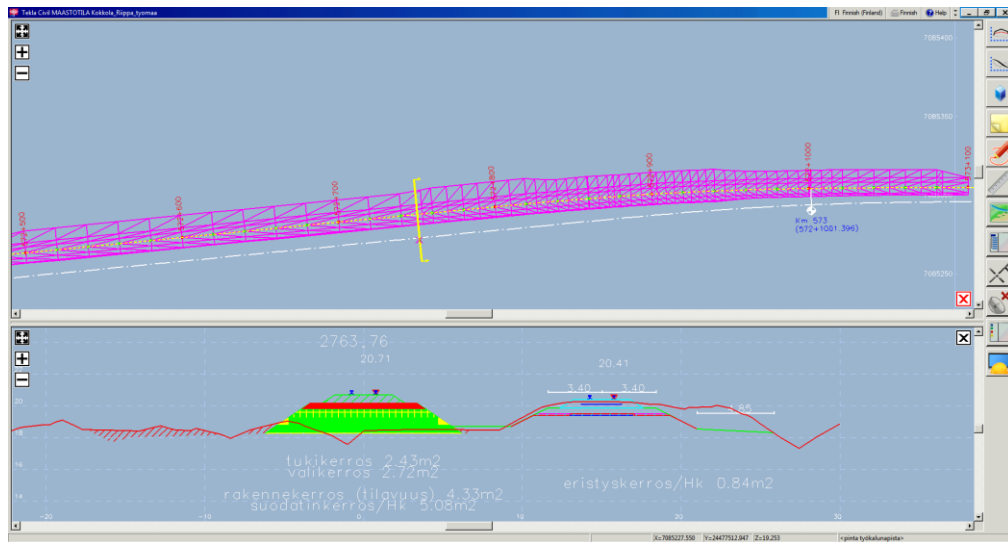
**Kuva 22.** Tekla Civil –työmaatoimistotilan poikkileikkausnäkymä.



**Kuva 23.** Suunnitelmien tarkastelu Tekla Civil -työmaatoimistotilan 3D-toiminnolla.

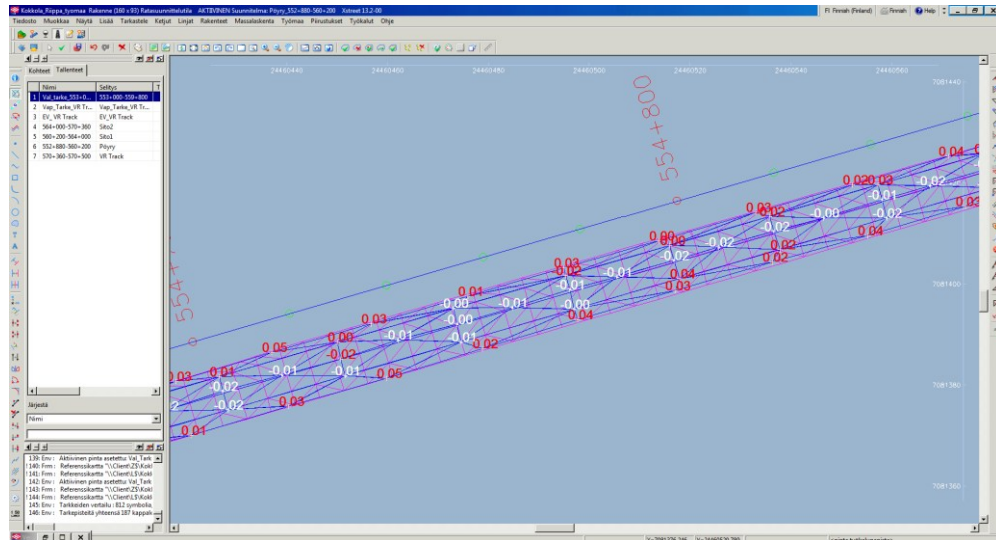
Maastotila (ks. Kuva 24) on työmaatoimistotilaa huomattavasti yksinkertaisempi työkalu ensisijaisesti suunnitelma-aineistojen tarkasteluun ja havainnointojen tekoon suoraan työmaalla. Maastotilan perustyökalut ovat selkeästi näkyvillä näytön oikeassa reunassa ja painikkeiden koko ja sijainti mahdollistavat maastotilan käytön myös tablet-tietokoneilla. Maastotilan perustyökaluja ovat zoomaus, poikki- ja pituusleikkaustarkastelu, 3D-tarkastelu, muistilappu- ja punakynämerkintöjen teko, etäisyyden mittaus, taustakartan valinta, puuhakemiston käyttö, näkymän värien

muutos, GPS-paikannus ja työtilan vaihto työmaatoimistotilaan. Näytön vasempaan reunapalkkiin on mahdollista määritellä näiden perustyökalojen lisäksi muita pikatoimintoja esim. massojen ja määrien valmiiksi merkitsemiseen ja muiden työmaalla tehtyjen havaintojen tallentamiseen. (Tekla 2013)



**Kuva 24.** Tekla Civil -maastotilan kartta- ja poikkileikkausnäkymä.

Kesän 2013 aikana työmaalla oli käytössä sekä työmaatoimistotila, että maastotila. Maastotilaa käytettiin työmaakäyttöön tarkoitetulla Panasonic FZ-G1 –tabletilla, jossa oli Windows7-käyttöjärjestelmä. Maastotilassa erittäin käyttökelpoiseksi ominaisuudeksi koettiin GNSS-paikannus, jolla näki oman sijainnin suhteessa suunnitelmiin ja pystyi tarkastelemaan esim. poikkileikkausta oman sijainnin perusteella liikuttaessa työmaalla (ks. Kuva 24). Muita työmaalla hyödyllisiä ominaisuuksia olivat työmaatoimistotilassa määrien ja varusteiden valmiiksi merkitseminen sekä visuaalinen tarkemittaustulosten vertailu suunnitelmiin karttanäkymässä ja poikkileikkauksissa (ks. Kuva 25).



**Kuva 25.** Tarkepisteiden vertailu suunniteltuun pintaan Tekla Civil -ohjelmistossa.

Vaikka Tekla Civilissä oli kattavin valikoima erilaisia työkaluja ja toimintoja ja käyttöliittymä oli huomattavasti muita sovelluksia monimutkaisempi, oli se silti selkeä ja sen käyttö oli helposti omaksuttavissa muutaman käyttökerran jälkeen. Selkeyttä ohjelman käyttöön toi puuvalikko-ominaisuus, jolla käyttäjä pystyi itse määrittämään ja hallinnoimaan eri näkymäikkunoissa näytettäviä aineistoja, rakenteita, linjoja sekä varusteita.

Sovelluksessa pystyi myös tallentamaan näkymiä tulevia käyttökertoja varten, jottei valintoja tarvitse toistaa joka käyttökerralla ja sovelluksen käyttö saadaan nopeammaksi esim. maastossa työskennellessä. Rakenteiden poikkileikkauksia pystyi selamaan eteen ja taaksepäin samoilla näkymäasetuksilla mielivaltaisten kilometripaalujen tai käyttäjän valitseman säännöllisen paaluvälin avulla. Sijainnin muutos esim. poikkileikkausnäkyvässä päivittyi automaattisesti kaikkiin muihin avoimena oleviin näkymiin, jolloin suunnitelmien tarkastelu oli helppoa.

Kokeilussa törmättiin myös muutamiin ongelmiin käyttöliittymän ja paikannuksen kanssa, sillä oletuksena käytössä olleissa tabletissa oli asennettuna Windows8-käyttöjärjestelmä, jota Tekla Civil ei vielä tukenut eikä Windows8-käyttöjärjestelmässä ollut tukea COM-portteja hyödyntävälle GNSS-paikannukselle. Ennen sovelluksen kokeilua maastossa tabletteihin asennettiin Windows7-käyttöjärjestelmät, joilla ohjelmaa



päästiin käyttämään. Käyttöjärjestelmän muutos heikensi kuitenkin osaa päätelaitteen ominaisuuksia, kuten esim. näytön kirkkauden automaattista säätöä aurinkoisella säällä sekä kosketusnäytön tarkkuutta ja herkkyyttä.

Tabletin näyttö heijasti aurinkoisella säällä heijastuksen estokalvosta riippumatta niin paljon, ettei näytöstä saanut sovelluksen oletusväreillä lainkaan selvää. Maastotilan pikanäppäin näytön värien muuttamiseksi valkoharmaaksi ja mustaksi paransi näkyvyyttä, mutta silti näyttö jäi hyvin epäselväksi. Työmaakokeiluissa huomattiin lisäksi, että maastotilan sujuva käyttö edellytti usein asetusten muokkausta työmaatoimistotilan puolella. Esim. GNSS-paikannuksen asetukset löytyivät ainoastaan työmaatoimistotilan valikoista. Työmaatoimistotilan valikot ja näppäimet olivat kuitenkin hyvin pieniä tablet-tietokoneen näytöllä ja tabletin kynälläkin oli vaikeuksia valita oikea näppäin.

Työmaalla jäätin kaipaamaan muutamia työmaatoimistotilan ominaisuuksia myös suoraan maastotilan pikanäppäimiin, kuten massojen ja varusteiden valmiiksi määrittystä, tarketietojen vertailutyökalua, valokuvaustyökalua sekä raporttien kirjoitus- ja tallennustyökalua. Muistiinpanot yms. tehtiin lisäämällä haluttuihin kohtiin muistilappu ja lisäämällä siihen mahdollisia liitetiedostoja, kuten valokuvia. Valokuvat tuli ottaa tabletin omalla valokuvaustoiminnolla, tallentaa tietokantaan ja poimia sieltä merkkinnän liitetiedostoksi, jotta valokuvat olisivat olleet myös muiden käyttäjien hyödynnettävissä. Maastossa työskennellessä ongelmia aiheutti myös heikot Internet-yhteydet, sillä sovellusta käytettiin kokonaisuudessa Citrix-virtuaalityöaseman kautta, joka oli herkkä pienimmillekin yhteyshäiriöille. Heikon 3G-verkon yli työskenneltäessä sovellus toimi hitaasti ja yhteyden katketessa ohjelma palautui vasta uudelleen käynnistyksen jälkeen.

Tekla Civilissä oli niin paljon kaikkia eri toimintoja ja työkaluja, että kokeilussa ehdittiin perehtyä kunnolla vain sovelluksen perustoimintoihin ja monet ominaisuudet jäivät kokonaan kokeilematta. Sovelluksen tietokantaan perustuva toiminta mahdollistaisi projektin aineiston hallinnan koko kohteen elinkaaren ajalta. Kuten muissakaan kokeilussa olleissa sovelluksissa, ei Tekla Civilissäkään ollut työkaluja projektin aikataulun- ja resurssien hallintaan.

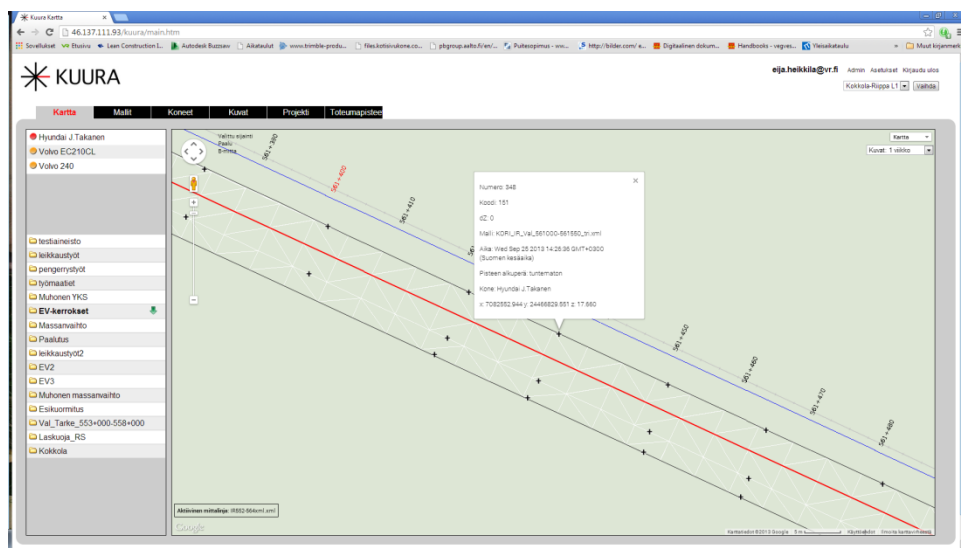
### 3.3.2 Kuura-järjestelmä

Kuura on Hohto Labs Oy:n kehittämä selainpohjainen ja laiteriippumaton palvelu ensisijaisesti mittapäälliköille ja työnjohtajille. Palvelu on kehitetty tehostamaan työkoneiden koneenohjausjärjestelmien käyttöä mahdollistamalla langattoman ja automaattisen työtiedostojen siirron ja päivityksen sekä mitattujen toteuma- ja tarketietojen lähetyksen yhteensopivien koneohjaus- ja mittalaitejärjestelmien kanssa. Palvelun periaate perustuu siihen, että koneohjausjärjestelmien myötä paaluttomaksi tullut työmaa on tehokas vain silloin, kun tieto käytettävistä malleista on oikeaa ja ajantasaista sekä työkoneissa että työnjohdolla. (*Hohto Labs, 2013*)

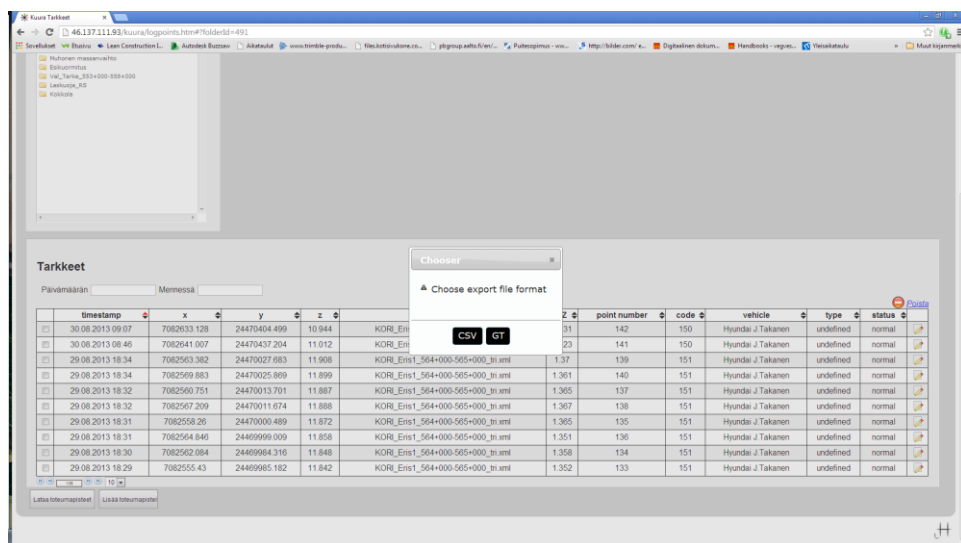
Palvelun toiminta perustuu Kuura -palvelimeen, jonka kautta mallien lataukset, toteumamittaukset ja työkoneiden sijainti- ja käyttötiedot latautuvat ja siirtyvät työnjohdon, mittaushenkilöstön ja työkoneiden välillä. Palvelussa hyödynnetään Googlen karttatietoja mm. käyttäjän oman sijainnin, koneiden sijainnin ja mittalinjan sekä paaluaseman visualisoinnissa. Palvelua voidaan käyttää mobiililaitteilla kuten älypuhelimilla ja tabletti-tietokoneilla, sillä sen käyttö pohjautuu laiteriippumattomaan Internet-selaimen. Sovelluksessa karttapohjalla näytetään päämittalinja, 3D toteutusmalli, työkoneiden sijainnit ja toteuma- ja tarkemittaukset. Näiden lisäksi karttapohjalla voidaan ladata näytettäväksi esim. kaivojen, putkien ja kaapeleiden sijainnit. Tablet-laitteella voidaan selata myös palvelimelle ladattuja PDF-muotoisia suunnitteludokumentteja. (*Hohto Labs, 2013*)

Kesän 2013 aikana Kuuraa kokeiltiin Kokkola-Riippa -työmaalla mittapäällikön ja diplomityöntekijän toimesta tavallisen kannettavan työkoneen lisäksi Ipad 2 -tabletilla, jossa oli iOS5-käyttöjärjestelmä, sekä Panasonicin FZ-G1-tabletilla, jossa oli Windows7-käyttöjärjestelmä. Kuuran käyttöjärjestelmä oli todella yksinkertainen sekä helppo käyttää, sillä toimintoja ja työkaluja oli huomattavasti vähemmän kuin esim. Tekla Civilissä. Sovellus toimi todella hyvin palvelimena siirrettäessä koneohjausmalleja langattomasti Kuuran tukemiin koneohjausjärjestelmiin, joita kokeiluhetkellä olivat Novatron ja Prolec.

Kuuran perusnäkymässä näkyvät aktiiviseksi valitun tiedostokansion kaikki koneohjausmallit ja työkoneilla tallennetut toteumapisteet asetuksissa määritellyn toleranssin mukaisella värillä (ks. Kuva 26). Toteutusmalli näkyy perusnäkymässä himmeänä kolmioverkkomallina ja jokaista tarkepistetietoa klikkaamalla voidaan yksittäisen pisteen tietoihin tutustua tarkemmin. Toteumatiedot on mahdollista ladata palvelimelta ulos joko csv- tai gt-formaatissa (ks. Kuva 27). Sovellus tuki kokeiluhetkellä yleisimpiä infra-alalla käytettäviä tiedonsiirtoformaatteja kuten dwg, gt, IM2.

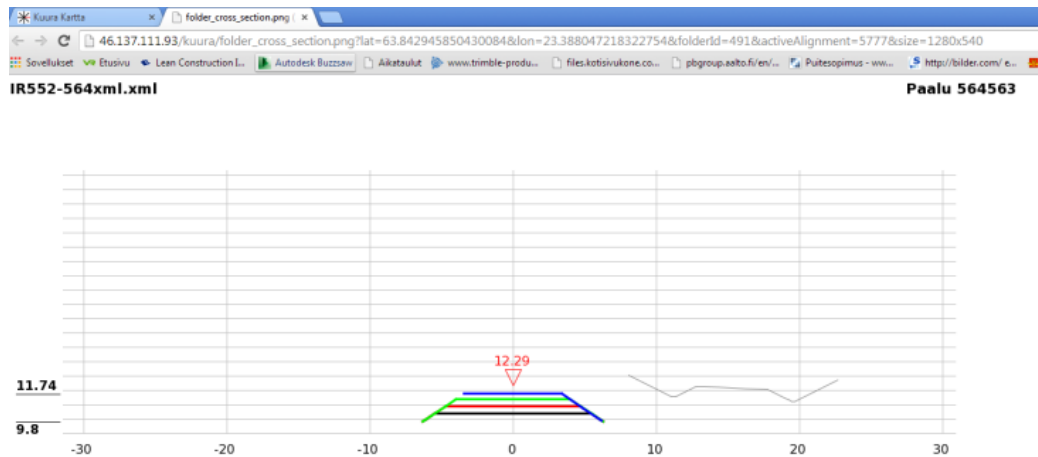


Kuva 26. Perusnäkymä Kuura-sovelluksessa.

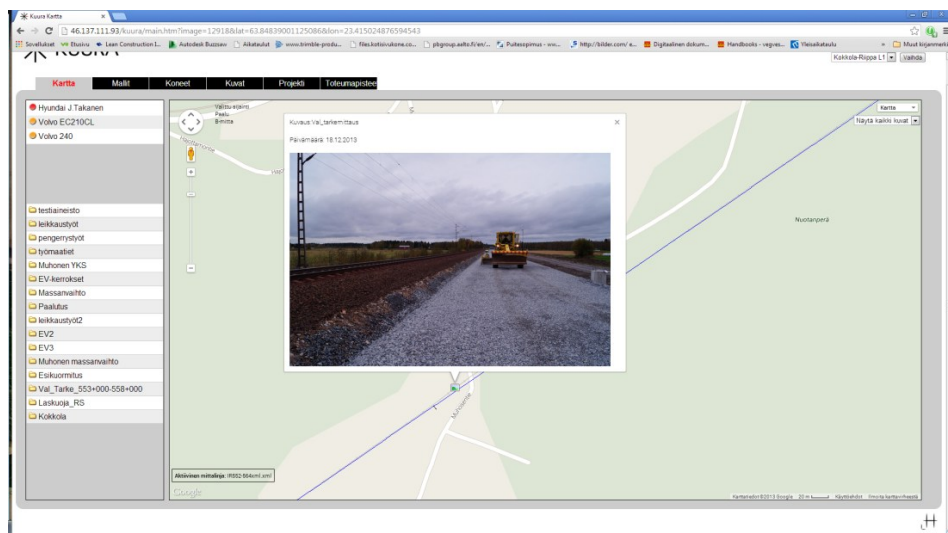


Kuva 27. Työkoneella tehtyjen toteumamittausten tarkastelu ja lataus ulos palvelimelta.

Koneohjausmallien ja tarketietojen tarkastelun lisäksi sovelluksella oli mahdollista tarkastella aktiivisen kansion mallien poikkileikkauksia haluamastaan kohdasta erillisessä poikkileikkausikkunassa (ks. Kuva 28) ja tarkastella palvelimelle lisättyjä paikkatietoon liitettyjä valokuvia (ks. Kuva 29). Sovelluksella oli mahdollista hallita myös eri työkoneiden mallioikeuksia sekä tarkastella koneiden käyttöasteita ja niiden käyttämiä toteutusmalleja kalenterinäkylässä (ks. Kuva 30).

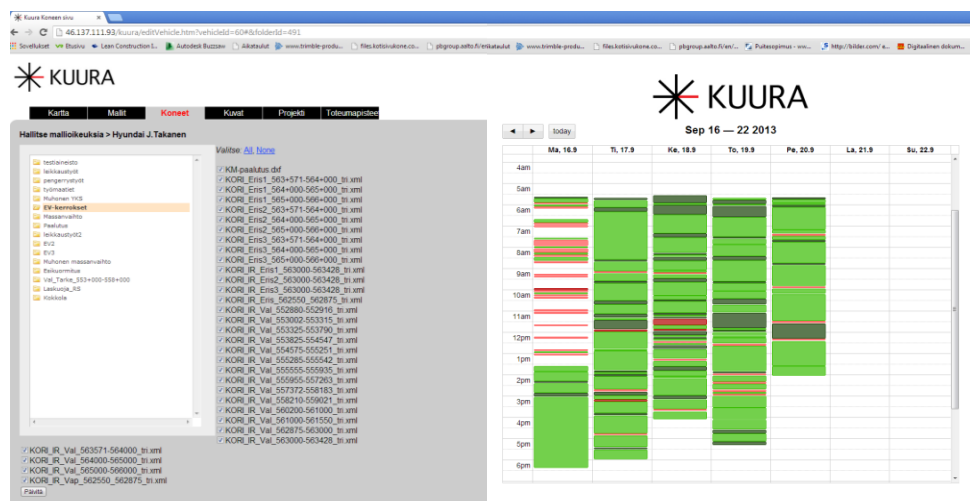


**Kuva 28.** Poikkileikkauksen tarkastelu Kuura-sovelluksessa.



**Kuva 29.** Valokuvien tarkastelu Kuura-sovelluksessa.

Kesän aikana työmaakoikeilussa huomattiin, että GNSS -paikannus ei toiminut Panasonicin tabletilla, vaan se tarvitsi toimiakseen iOS -käyttäjärjestelmällä toimivan iPad -tabletin. Sovelluksen muut toiminnot ja toimistokäyttöliittymä toimivat hyvin Chromen selaimessa myös muilla päätelaitteilla ja Windows-käyttäjärjestelmällä. Poikkileikkausikkuna osoittautui käytössä hankalaksi, sillä jokaisesta uudesta sijainnista avautui uusi välilehti selaimeen, eikä poikkileikkauksen tarkkaa sijaintia pystynyt määrittämään tarkasti esim. ratakilometrijärjestelmän perusteella, sillä niitä sovellus ei tukenut. Poikkileikkausta ei myöskään pystynyt tarkastelemaan kovin tarkasti zoomaamalla eikä sen mittoja tai pinta-aloja voinut mitata. Sovelluksesta puuttui paljon työmaatoimistossa tarvittavia hyödyllisiä työkaluja, kuten juuri etäisyyksien, pinta-alojen ja pintojen välisten massojen määritystyökalut sekä rakenteiden valmiusasteen seuranta ja aikataulun ja resurssien hallintatyökalut.

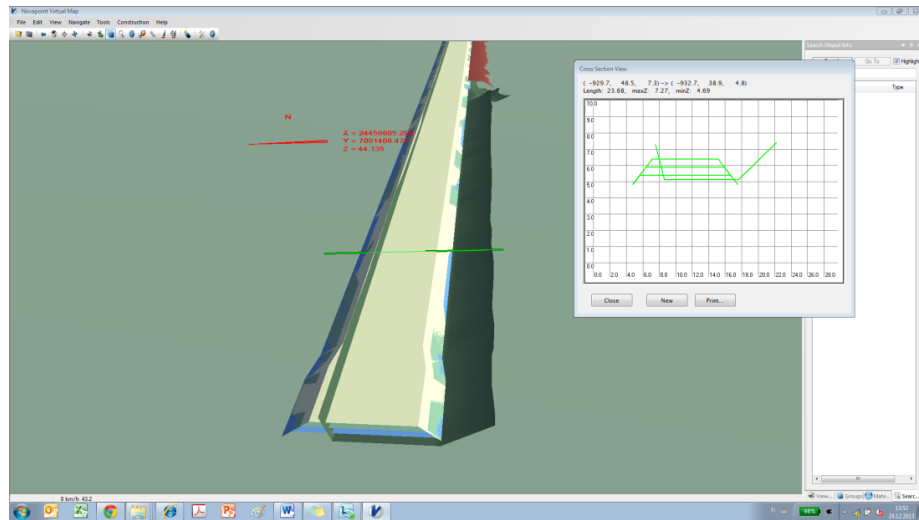


**Kuva 30.** Työkoneiden mallioikeuksien hallinta sekä käyttöasteiden ja käytettyjen toteutusmallien tarkastelu Kuura-sovelluksessa.

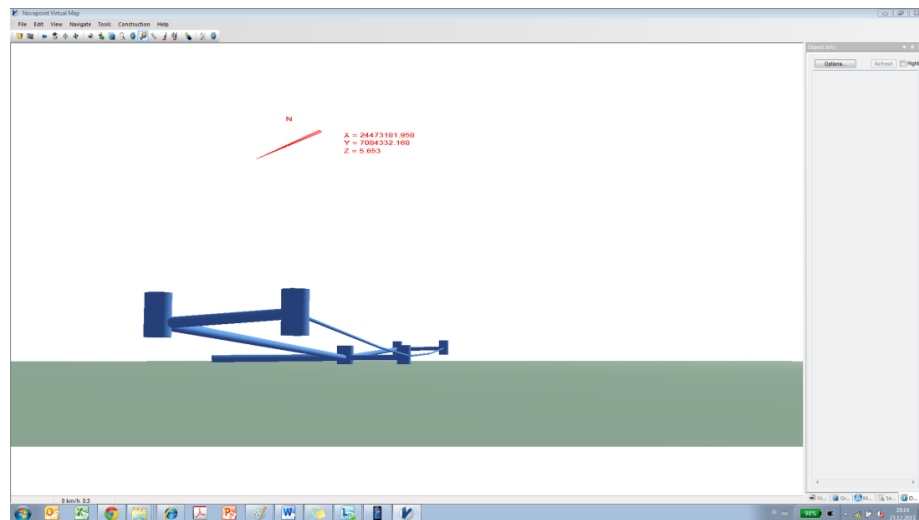
### 3.3.3 Virtual Map for Construction -sovellus

Novapoint Virtual Map for Construction (VMC) -sovellus on tietomallipohjaisten aineistojen tarkastelu ja analysointi-ohjelmisto. Sovellus mahdollistaa mallien visualisoinnin myötä törmäys- ja rakennettavuustarkastelun, sekä massa- ja määrälaskennat. VMC toimii myös tablet-laitteilla, joille voidaan asentaa Novapoint Virtual Map, mutta GNSS -paikannusta sovellus ei hyödynnä. (Palomaa 2013)

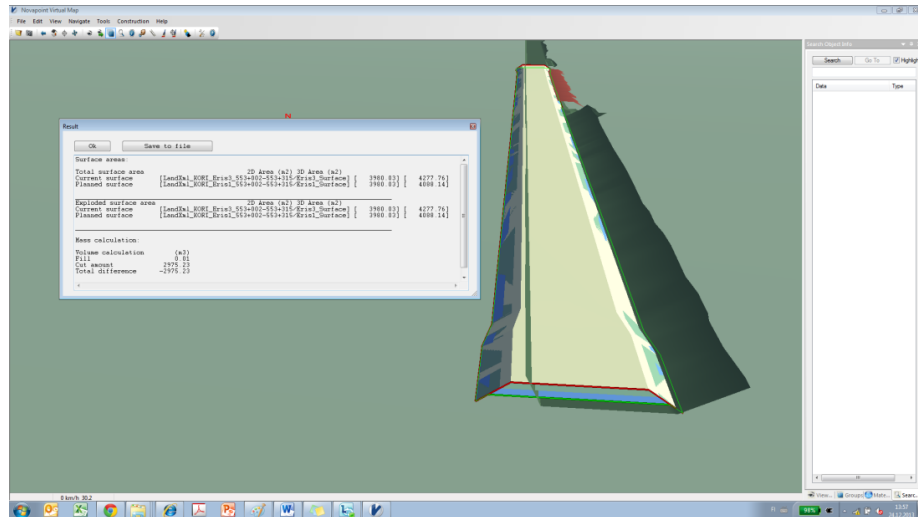
Sovelluksella oli mahdollista tutkia tietomallia visuaalisesti kolmiulotteisesti tarkastelemalla poikkileikkausta käyttäjän haluamasta kohdasta (ks. Kuva 31). Sovellus tuki myös varusteita (ks. Kuva 32) ja sillä oli mahdollista määrittää toteutusmallikohtaiset massat (ks. Kuva 33) sekä laskea pinta-aloja ja määriä käyttäjän haluamalta alueelta (ks. Kuva 34).



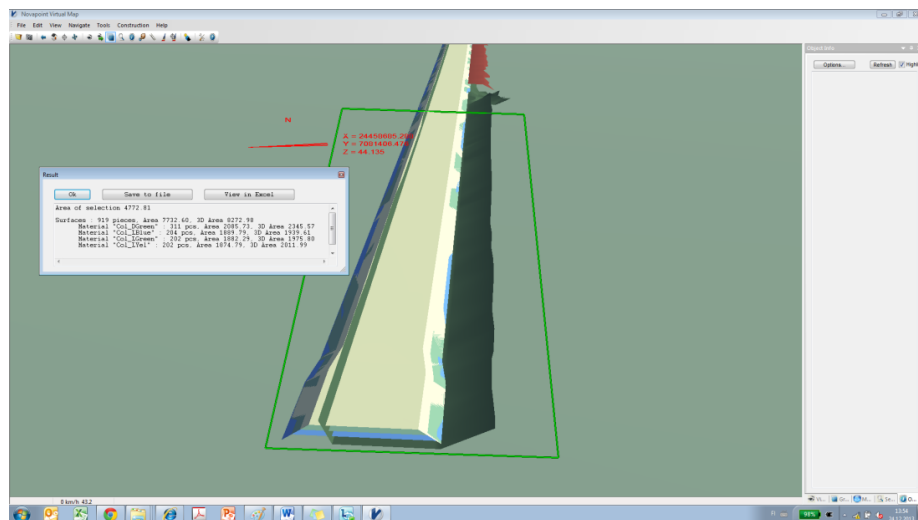
**Kuva 31.** Tietomallin tarkastelu poikkileikkauksittain VMC-sovelluksessa.



**Kuva 32.** Varusteiden tarkastelu VMC-sovelluksessa.



**Kuva 33.** Massalaskenta mallikohtaisesti VMC-sovelluksessa.

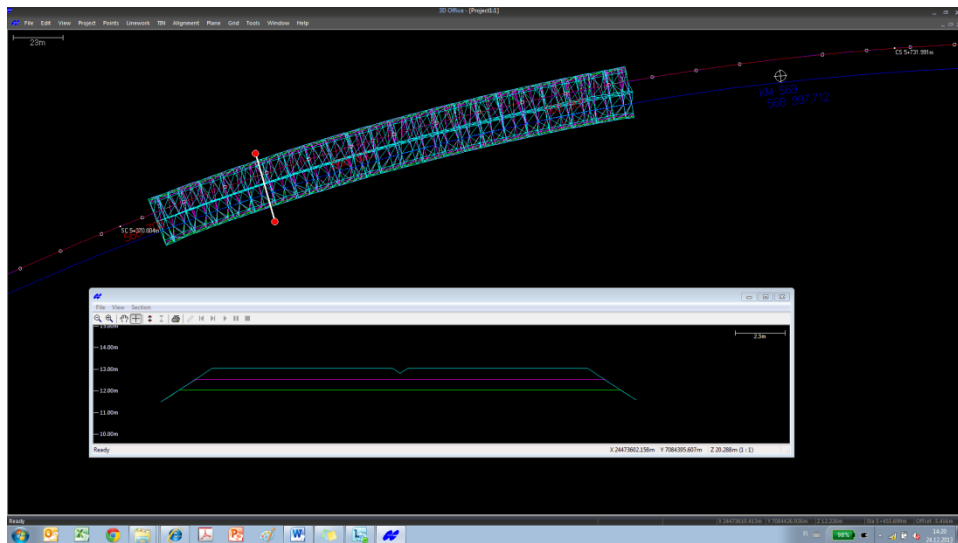


**Kuva 34.** Pinta-alojen ja varusteiden määrien laskenta käyttäjän haluamalta alueelta VMC-sovelluksessa.

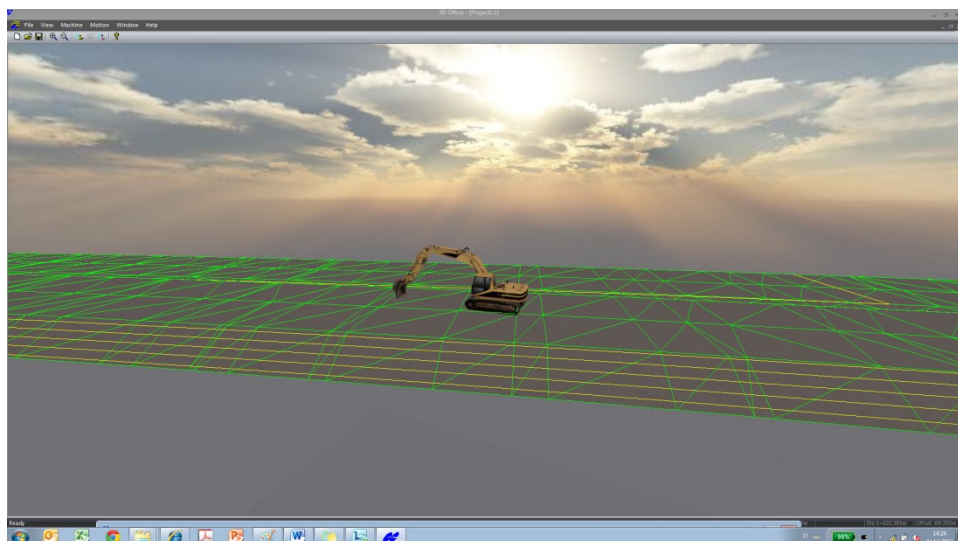
Sovellus oli käytännöllinen tarkastettaessa esim. Inframodel-formaatissa olevan tietomalli-aineiston sisältöä, sillä ohjelma analysoi luettavan tiedoston ja pyytää käyttäjän määrittämään tiedoston eri objektien visualisointi asetukset, kuten pintojen ja varusteiden värit. Sovelluksella oli mahdollista myös tallentaa katselupisteitä myöhempää tarkastelua varten, tarkastella rakenteiden ominaisuustietoja, tallentaa ja tulostaa havainnekuvia sekä julkaista malleja internetissä Vianovan tarjoamassa eINFRA-pilvipalvelussa.

### 3.3.4 Topcon 3D Office -järjestelmä

Topcon 3D Office on Topconin mittaus- ja koneohjausjärjestelmien kanssa yhteensopiva suunnitteluohjelma, jolla voidaan luoda ja muokata tiedostoja työmaan tarpeisiin. 3D Officessa voidaan myös tarkastella muilla suunnitteluohjelmistoilla luotuja aineistoja, kuten dwg-, gt- ja Inframodel-formaateissa olevia tiedostoja poikkileikkauksittain (ks. Kuva 35) ja 3D-maailmassa (ks. Kuva 36) sekä tuottaa näistä yhdistelmämallia Topconin koneohjausjärjestelmiin Topconin omassa tp3-formaatissa.



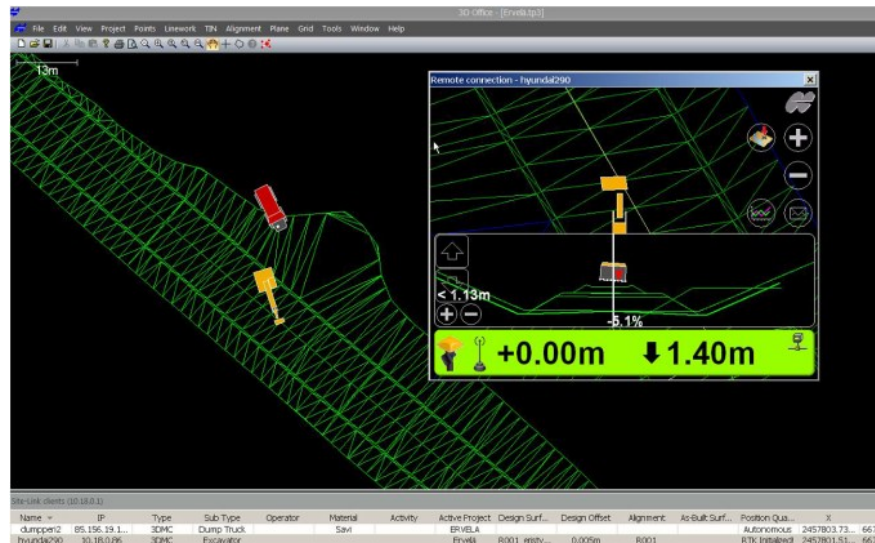
**Kuva 35.** Mallien tarkastelu 3D-officen perusnäkymässä.



**Kuva 36.** Mallien tarkastelu 3D-maailmassa 3D Office-järjestelmällä.



Topcon 3D Officella on mahdollista laskea etäisyyksiä ja pinta-aloja sekä vertailla kolmiomallipintoja keskenään ja luoda kolmiomalleja taiteviivoista. Järjestelmään kuuluu myös SiteLink-ominaisuus, jolla on mahdollista muodostaa langaton yhteys Topconin koneohjausjärjestelmiin toteutusmallien siirtoa, kuljettajan ja työmaanohjauksen välistä viestintää, toteumaseurantaa sekä järjestelmätukea varten (ks. Kuva 37).



**Kuva 37.** SiteLink-ominaisuudella muodostettu yhteys Topconin koneohjausjärjestelmään. (Kuva: Juha Parkkari 2012)

### 3.4 Inframodel3 -tiedonsiirtoformaatin täydennystarpeet

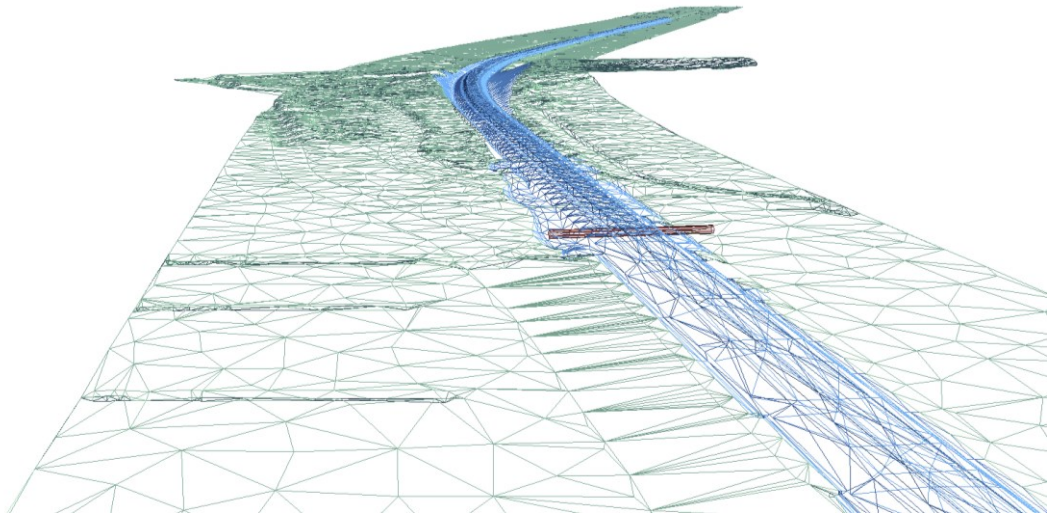
Tutkimuksessa hyödynnetyt Inframodel3- tiedonsiirtoaineistot tuotettiin VR Track Oy:llä käytössä olevilla Tekla Civil ja Novapoint suunnitteluohjelmistoilla (ks. Kuva 38 ja Kuva 39). Inframodel3-muotoon kirjoitetut suunnitelma-aineistot sisälsivät tyypillisimmät radan maanrakennustöissä tarvittavat tiedot:

- maastomallin kolmioverkko ja taiteviivat
- ratageometrian ja kilometripaalutuksen
- radan rakennekerroksien kolmioverkot ja taiteviivat
- rakenteiden kaarrelevitykset ja -kallistukset
- kuivatusvarusteet (ratarumpu)

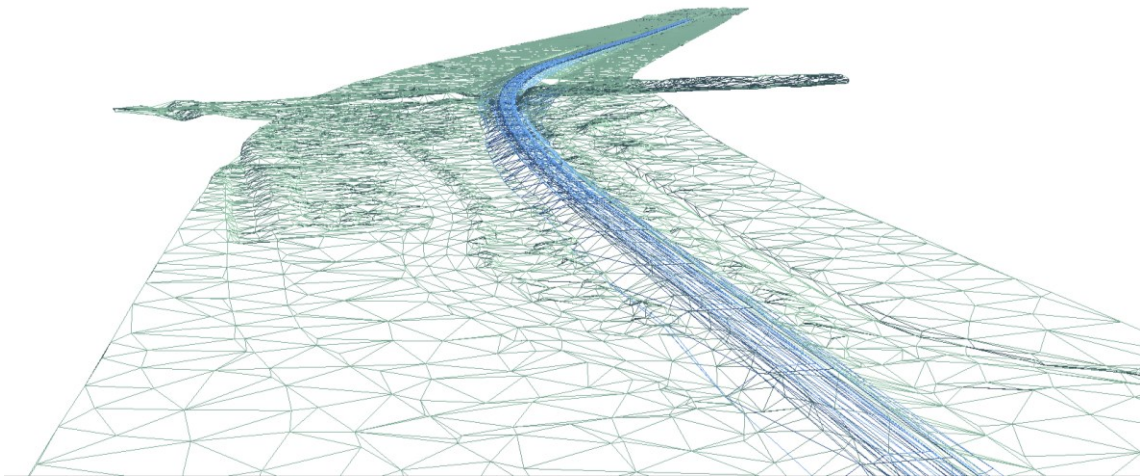
Sovellukset poikkesivat toisistaan huomattavasti jo kirjoitettaessa suunnitelma-aineistoa Inframodel3-formaattiin. Novapoint käsitteli eri tietueet, kuten maastomallin, geometrian ja kilometripaalutuksen sekä rakennekerrosten pinta- ja viivamallit, omina aineistokokonaisuuksinaan ja jokaisesta muodostui oma Inframodel3-tiedosto. Tekla Civilillä koko suunnitelma-aineiston pystyi kirjoittamaan yhdeksi Inframodel3-tiedostoksi, joka helpottaa huomattavasti tiedonhallintaa suunnitelma-aineistoa käsiteltäessä. Suunnitelmat kuvautuivat hyvin samankaltaisina tarkasteltaessa niitä kolmiulotteisesti Novapoint VirtualMap- ohjelmassa, mutta kuvautumisessa ja ominaisuuksissa on huomattavissa myös suunnitteluohjelmistokohtaisia eroavaisuuksia, kuten pintojen kolmioverkosten muodostuminen, kuivatusvarusteiden ominaisuuksien määritykset ja niiden kuvautuminen sekä eri objektien ja pintojen yhteenliittyminen.

Ohjelmistojen tuottamissa Inframodel3-aineistoissa oli huomattavissa suuriakin eroavaisuuksia analysoitaessa aineistojen sisältöä XML Notepad 2007-ohjelmalla. *Liitteen 2* vertailuraportissa on esitetty Novapointin ja Tekla Civilin tuottamien kuivatusvarusteita sisältävien Inframodel3-aineistojen eroavaisuuksia. Eroja oli mm. tietueiden ilmentymisjärjestyksessä, aineiston yleistiedoissa, yksikkö- ja koordinaattijärjestelmien ilmoittamisessa, käytetyn ohjelmiston tietojen esityksessä sekä itse varusteiden ominaisuustiedoissa. Esim. Tekla Civil käsittelee rummun päitä omina rakenteinaan ”purkuaukko” ja ”imuaukko”. Novapointissa rummun päät ”Vj-taite” käsitetään liitoskohtina, joiden avulla vesihuollonvarusteita voi teoriassa yhdistää toisiinsa.

Erot Inframodel3-tiedonsiirtoformaatin tuottamisessa ja sisällössä kertovat formaattimäärittysten olevan joustavia ja sen käytön olevan vielä vakiintumatonta. Erot formaatin sisällössä vaikeuttavat kuitenkin tuotetun aineiston oikeellisuuden tarkastamista ja estävät käytännössä eri Inframodel3 -tiedostojen helpon yhdistämisen yhdeksi suunnitelma-aineistoksi. Esim. Novapointilla tuotettujen erillisten Inframodel3-tietuekokonaisuuksien yhdistäminen yhdeksi suunnitelma-aineistoksi vaatii hyvää perehtyneisyyttä formaatin toimintaan, jotta aineiston tietosisällöt kuvautuvat oikein yhdistämisen jälkeen.



**Kuva 38.** Tekla Civil-ohjelmalla tuotettu yksinkertainen rautatien suunnitelma-aineisto.



**Kuva 39.** Novapoint-ohjelmalla tuotettu yksinkertainen rautatien suunnitelma-aineisto.

Dynaamisen työmaanohjauksen kannalta käytetyt suunnitteluohjelmistot sekä tuotettu Inframodel3 -aineisto ovat kuitenkin puutteellisia, sillä ne eivät sisällä perinteisen suunnitelma-aineiston lisäksi muita dynaamiselle työmaanohjaukselle hyödyllisiä tietoja. Jotta suunnitteluohjelmistot ja Inframodel -tiedonsiirtoformaatit palvelisivat radan maanrakennustyömaan dynaamista ohjausta paremmin, tulisi

tiedonsiirtoformaatilla pystyä siirtämään kattavasti tietoa fyysisten rakenteiden ja niiden ominaisuuksien lisäksi myös muista töiden suunnitteluun liittyvistä asioista, kuten työmaan aikataulusta, arvioituista kustannuksista, käytettävistä työmenetelmistä ja niiden vaatimista erikoisresurssitarpeista. Tiedonsiirtoformaatin tulisi kattavasti palvella myös suunnittelun lähtötietoaineiston, rakentamisen toteuma-aineiston ja muun suunnittelun ja rakentamisen aikana kerääntyvän hyödyllisen informaation siirrossa, kuten paikkatietoon sidottujen valokuvien, työmaaraporttien ja tehtyjen kartoitusaineistojen siirrossa.

## 4 PÄÄTELMÄT

### 4.1 Tietomallipohjaisen rakennusurakan aloittaminen

Rakennusprojektin ohjaus alkaa jo tarjousvaiheessa, jossa suunnitellaan alustavasti projektin toteutusaikataulut, määrät, työtavat ja tarvittavat resurssit. Tarjousvaiheessa on kiinnitettävä huomiota myös projektin informaation kulkuun ja pyrittävä varmistamaan, että kaikki tarjousvaiheessa tutkittu sekä hankittu aineisto ja tulokset olisivat käytettävissä myös rakennusprojektia käynnistettäessä, rakentamisen aikana ja kunnossapidossa. Toimiva tiedonsiirto on tietomallihankkeen ydin ja jokaisen rakennusprojektin alussa on sovittava käytettävät formaatit ja se, että mitä informaatiota toimitaan missäkin formaatissa. Tietomallit ja Inframodel -tiedonsiirtoformaatti parantavat projektin tiedonhallintaa mahdollistamalla suunnitelma- ja toteumatietoaineistoon liittyvän metatiedon hallinnan sekä helpottamalla informaation kokonaisvaltaisempaa välittämistä projektin eri osapuolien välillä.

Tarjousvaiheessa tilaajan on helpompi välittää mallipohjaisesti sama informaatio kaikille urakoitsijoille urakkakilpailussa ja paperitulosteita visuaalisemman esitysmuodon myötä tieto mm. urakkarajoista on paremmin kaikkien osapuolien hahmotettavissa. Tietomalleista on helppoa ja nopeaa tuottaa myös konkreettista aineistoa helpottamaan rakennusprojektin suunnittelua ja käynnistämistä, kuten määräluetteloita ja varusteiden ja laitteiden ominaisuustietoja. Tietomallista saatavan aineiston perusteella voidaan esim. tilata sähköratapylväiden betoniperustukset toimittajilta hyvissä ajoin ja parhaassa tapauksessa perustusten toimittaja voi hyödyntää samaa tietomallia myös perustusten valmistusohjeena.

Tietomallipohjaisten suunnitelma- ja tarjousaineistojen ongelmana ovat kuitenkin vielä digitaalisen aineiston helppo muokattavuus ja eri ohjelmistojen välillä olevat eroavaisuudet, jotka saattavat vaikuttaa aineiston kuvautumiseen ja aineiston käsittelymahdollisuuksiin. Tietomallipohjaisen aineiston hyödyntäminen, niin tarjouskilpailuissa kuin ST-urakoissa suunnittelijoiden ja rakentajan välisessä viestinnässä, asettaa uudet vaatimukset määrittää vastuut aineiston oikeellisuudesta ja luotettavuudesta, sillä kaikkea tietomallien sisältämää informaatiota ei voi, eikä

kannatakaan tulostaa paperisiksi asiakirjoiksi. Kun tieto on sähköistä eikä totuttuun tapaan ole enää mustaa valkoisella, on ratkaistava miten tietomallipohjaista aineistoa voidaan käsitellä kaikkia osapuolia sitovana lähtötieto- ja suunnitelma-aineistona. Rakennusprojektin tulee aina perustua kaikkien osapuolten väliseen luottamukseen rakentamisessa hyödynnettävän tietomalliaineiston aitoudesta ja yhteisten suunnitelmien säilyvyydestä.

ST-urakoissa rakentamisen vaikutusmahdollisuudet suunnitteluun ovat hyvät, sillä rakentajien ja suunnittelijoiden on mahdollista tehdä tiivistä yhteistyötä koko projektin ajan yhteisen projektiorganisaation kautta. Tietomallipohjainen suunnittelu mahdollistaa rakennettavuustarkastelujen lisäksi myös työvaiheiden sekä työtapojen suunnittelun ja parantaa näin osaltaan työmaanhjauksen ennakkosuunnittelua. Esimerkiksi huomioimalla suunnittelussa ponttiseinäisen kaivannon kaivukerrokset ja pengerrakenteiden tiivistyskerrokset helpotetaan rakentamisen ohjausta myöhemmin työmaalla. Myös niissä urakkamuodoissa, joissa suunnitelmat saadaan valmiina tilaajalta urakkakilpailuun, tulisi suunnittelua kehittää enemmän rakentamisen tarpeita huomioivammaksi hyödyntämällä työmaalla olevaa tietotaitoa. Kun rakentamisen tarpeet huomioidaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, suunnitelmat palvelevat valmistuttuaan paremmin rakentamista ja suunnittelussa voidaan panostaa enemmän rakentamisprosessille arvoa tuottavien suunnitelmaratkaisuiden kehittämiseen.

Tärkeää työmaan ohjauksessa on koko projektin ajan jatkuva ja viikoittain tarkentuva töiden ennakkosuunnittelu, jonka avulla pystytään hallitsemaan jo havaittuja poikkeamia sekä ennakoimaan tulevia haastavia työvaiheita aikataulu- ja resurssienhallinnan kautta. Yksi osa ennakkosuunnittelua on myös rakennusprojektin alussa koko tuotannonohjauksen yhdessä tuottama projektin tuottavuusseurannan tunnuslukujärjestelmä, jonka avulla seurataan koko rakennusprojektin etenemää ja tuottavuutta.

Rakennusprojektille määritetään ennen rakentamisen aloittamista selkeät tavoitteet ja niiden toteutumista mittaavat tunnusluvut. Tavoitteet voivat olla sekä tilaajaorganisaation määrittämiä tavoitteita, että itse projektiorganisaation asettamia tavoitteita esim. aikataulusta, määräistä, tehdyistä työtunneista ja työturvallisuudesta.

Tunnuslukujen määrittämisen jälkeen tulee sopia ja ohjeistaa projektin kaikkia osapuolia yhtenäisestä tunnuslukujen laskenta- ja raportointijärjestelmästä. Erityistä huomiota on kiinnitettävä tunnuslukujen laskennassa käytettyjen lähtötietojen hankintaan sekä niiden mittaustapojen yhtenäistämiseen ja tulosten luotettavuuteen.

## **4.2 Tietomallipohjaisen rakennusurakan rakentamisvaihe**

Maanrakennustyömaan rakentamisvaiheen tehokas ohjaus perustuu työmaan etenemän ja toteutusasteen hallintaan eli toteutuneiden suoritteiden vertaamiseen suunniteltuihin suoritemääriin. Esimerkiksi rautatien maarakennustöiden suunnitellut massamäärät on sidottu paikka-aikakaaviossa työmaan aikatauluun sekä linjamaisissa kohteissa ratalinjan kilometripaalutukseen, jolloin massojen toteutumaa seuraamalla saadaan tietoa työmaan todellisesta etenemästä suhteessa aikatauluun ja sijaintiin. Työmaan ohjauksen kannalta on tärkeää, että siihen osallistuvat henkilöt pystyvät seuramaan kaikkia työmaan toimintoja, kuten aikatauluja, taloustilannetta, suunnitelmia, resursseja, toteutumia ja tapahtumia, mahdollisimman reaaliaikaisesti.

Tietomallipohjaisen työmaan tavoitteena on rakentaa kerralla oikein ja oikeaa laatua, jotta rakentaminen olisi mahdollisimman tehokasta ja laadukasta. Toteutusmallien ja koneohjauksen avulla saavutettava rakenteiden laadullinen tasaisuus sekä työkoneilla tehtävillä toteumamittauksilla saavutettava välitön maanrakennus töiden laadunvarmistus parantavat rakennusprosessin tuottavuutta ja laatua huomattavasti, mutta tietomallipohjaisen työmaan ohjauksessa on tärkeää panostaa myös toimivaan aikataulun ja resurssien hallintaan. Esimerkiksi paikka-aikakaavion avulla voidaan suunnitella tarkasti rakennustyömaan eteneminen työvaiheittain ja alueittain sekä varmistua samalla siitä, että kaikki työvaiheiden vaatimat edellytykset täyttyvät eikä eri työvaiheissa tai resursseissa ole päällekkäisyyksiä. Työvaiheiden tehokas ennakkosuunnittelu sekä työmaan kaikkien toimintojen tarkka aikatauluttaminen ja töiden yhteensovitus paikka-aikakaaviossa parantavat tietomallipohjaisen suunnitelma-aineiston hyödyntämistä rakennusprojektissa.

Koneohjausjärjestelmillä tuotetut toteumamittaukset ja mittaushenkilöstön suorittamat tarkemittaukset ovat tärkeimpiä työmaalta saatavia työmaan ohjauksessa ja seurannassa käytettyjä lähtötietoja. Muita rakentamisen aikana tuotettavia työmaan seurannassa ja ohjauksen tukena käytettäviä tietoja ovat mm. maansiirtojen kuormakirjat, ajo- ja työmaapäiväkirjat, MVR -mittaustulokset ja työvuorokohtaiset suoriteseurantaraportit. Mittaustulokset ja muut seurannan lähtötiedot pitäisi pystyä siirtämään työmaalta reaaliaikaisesti työmaanjohtoon tarkasteltaviksi, jotta ne tukisivat parhaiten dynaamista työmaanohjausta. Mikäli täysin reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon ei ole jostain syystä mahdollisuutta, tulisi tiedot siirtää eteenpäin vähintään työvuoroittain, jotta havaittuihin poikkeamiin pystyttäisiin puuttamaan ja korjaavia toimenpiteitä voitaisiin suorittaa jo seuraavaan työvuoroon mennessä tai sen aikana.

Rakentamisen työnohjauksen tueksi tarvitaan tietoa itse suunnitelmien lisäksi myös tehtyjen suunnitelmaratkaisujen taustoista esim. miksi tiettyyn radan kohtaan tehdään kaarrelevityksiä, mikä on massanvaihdossa arvioitu turvepinnan syvyys ja mitkä ovat suunniteltujen kaivojen ominaisuuskriteeri, jotta suunnitelmiin vaikuttavien muutosten seurauksia osataan arvioida paremmin etukäteen. Työmaalla tapahtuneet muutokset, kuten esim. toleranssipoikkeamat ja muut rakennusteknisistä syistä johtuvat muutokset, on kirjattava toteumatietona tietomalleihin. Toteumatiedon ja kaiken muun rakentamisen aikana syntyneen tiedon, kuten lisäkartoitusten, ja todellisten turvepintojen, kirjaaminen malleihin helpottaa myöhemmin radan ylläpitoa ja ylläpitotoimenpiteiden suunnittelua.

### **4.3 Tietomallipohjaisen rakennusurakan laadunvalvonta**

Tietomallipohjaisen rakennusurakan subjektiivista laatua seurataan pääasiallisesti arvioimalla projektin onnistuneisuutta tuottavuuden seurannassa hyödynnettävien tunnuslukujen kautta. Tärkeä osa subjektiivista laatua on myös projektin eri osapuolten näkemykset onnistuneisuudesta sekä rakentamisen mielekkyydestä. Subjektiivisen laadun tärkeimpiä perustoja ovat yhteisöllinen, avoin ja kannustava ilmapiiri, jossa puututaan rohkeasti prosessissa havaittuihin poikkeamiin ja toimintaa kehitetään jatkuvasti huomioiden kaikki projektin osapuolet.



Käytännössä rakennusprojektin mitattu tekninen laatu on osa subjektiivista laatua, koska mittaustulokset ja rakenteen fyysiset ominaisuudet toimivat pohjana projektin eri osapuolten tehdessä omia havaintojaan rakentamisen onnistuneisuudesta. Rakennustyömaalta on siis tärkeää tuottaa mitattua tietoa sekä keskeneräisistä että valmistuneista rakenteista, jotta työmaan etenemästä ja työn laadukkuudesta saadaan mahdollisimman todenmukainen käsitys.

Tietomallipohjaisella työmaalla toteutusmalleihin ja koneohjaukseen perustuva rakentaminen on perinteistä rakentamista tutkitusti laadukkaampaa ja tasaisempaa. Laadunvarmistuksessa voidaan myös olettaa, että urakoitsija rakentaa käytössä olevien toteutusmallien mukaisesti, jolloin pitää pystyä varmistumaan toteutusmallien oikeellisuudesta ja koneohjausjärjestelmien tarkkuudesta. Koneohjausta hyödynnettäessä ja sen käyttötapoja kehitettäessä tulee miettiä yleisesti rakenteiden mittaustoleranssien mielekkyyttä ja toteutettavien mittauksien tarpeellisuutta sekä pyrittävä kehittämään laadunvarmistusta nopeammaksi, kevyemmäksi ja samalla tarkoituksenmukaisemmaksi toiminnaksi.

Nykyisin mitattuja tarkepisteitä verrataan poikkileikkauksittain toteutusmalleihin, jotka on muodostettu suunnitteluvaiheessa mitattujen maastomallien pohjalta. Radan pengerrakenteiden tarkemittausten tarkoituksena on selvittää penkereen muoto ja sijainti, jolloin mitataan penkereen poikki- ja pituussuuntaiset taitteet vähintään 20 m välein poikkileikkauksittain InfraRYL:in ohjeiden mukaisesti. Ongelmia ilmenee erityisesti mitattaessa tarkepisteitä rakenteen luiskien ylä- ja alataitteista sekä myöhemmin verrattaessa mitattuja tarkepisteitä toteutusmallin luiskien ylä- ja alataitteisiin, sillä esim. alusrakenteessa käytettävästä murskemateriaalista on haastava muotoilla yhtä tarkkoja ja teräviä taitteita kuin toteutusmalleissa (ks. Kuva 40). Toteutusmallin luiskan alataite voi myös poiketa todellisesta alataitteen korosta todellisten maanpinnan tai kalliopinnan muotojen vuoksi, joita ei vielä suunnitteluvaiheen maastomallissa ole tarkasti pystytty määrittämään.

Radan alusrakenteen toiminnan, kuten eristävyuden, kantavuuden ja routaantumisen, kannalta on tärkeää pystyä määrittämään toteutuneet massanvaihtosyvyydet, rakennekerrospaksuudet, rakennekerrosten tiiveys, alusrakenteen yläpinnan tasaus ja

raiteen keskilinjan geometrian säilyvyys. Nämä kaikki ominaisuudet saadaan parhaiten selville suorittamalla useita mittauksia alusrakenteen rakennekerrosten pinnoilta mahdollisimman laaja-alaisesti huomioiden myös poikki- ja pituussuuntaiset taitteet (ks. Kuva 16). Nykyisin luiskan ylä- ja alataitteita koskevat samat toleranssimääräykset kuin rakennekerroksen yläpintaa ja raiteen keskilinjaa, mutta taitteet ovat huomattavasti vaikeammin rakennettavissa ja mitattavissa kuin rakennekerroksen tasainen yläpinta. Nykyiset toleranssit esim. välikerroksen yläpinnan luiskataitteiden osalta ovat todella tiukat pelkästään vain luiskan muodon ja rakenteen reunojen sivusijainnin määrittämiseen, jotka voidaan hyvin todeta myös epätarkempien toleranssien ja valokuvaamisen avulla (ks. Kuva 40).

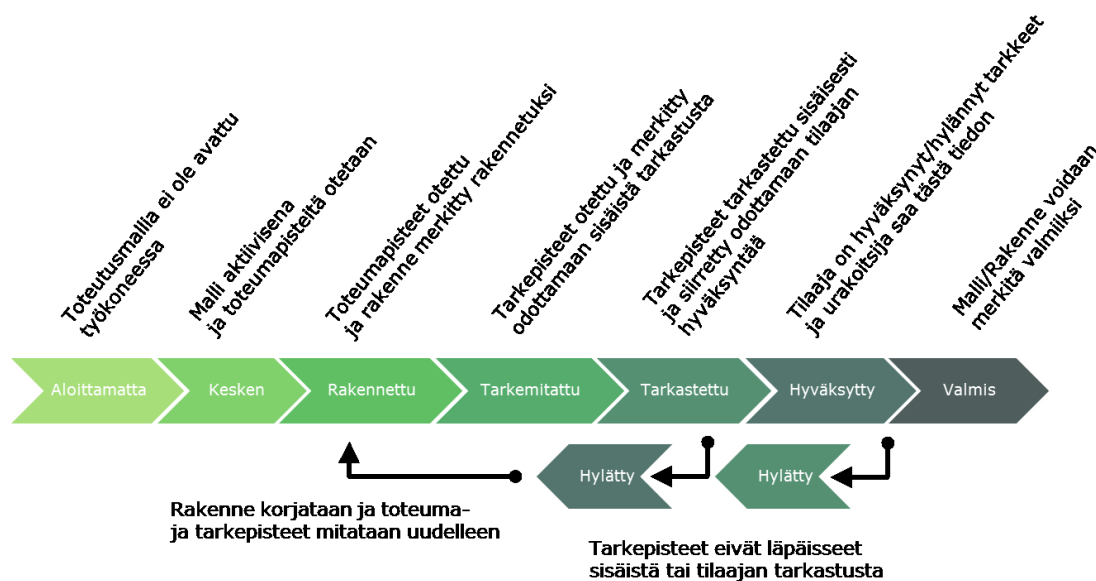


**Kuva 40.** Tarkemmittausta vaille valmis välikerroksen yläpinta ja luiskat, jotka on muotoiltu koneohjausjärjestelmää hyödyntävällä kaivinkoneella ja höylällä sekä tiivistetty jyrällä. (Kuva: Janne Mikkonen, VR Track Oy)

Yhtä tärkeää kuin mittautapojen kehittäminen sekä koneohjausmallien ja työkoneiden mittautarkkuuden tarkastaminen, on myös rakennusprosessin yhtenäistäminen ja sen jatkuva kehittäminen tehtyjen havaintojen perusteella. Laadunvalvonta tulee sitoa tiiviiksi osaksi rakennusprosessia ja sitä tulee toteuttaa jatkuvasti rakentamien edetessä. Loppuun asti mietityn ja hiotun rakennusprosessin lopputuloksena saavutetaan oikean laatuinen lopputulos oikeaan aikaan ja oikeilla resursseilla Lean -filosofian mukaisesti.

Tietomallipohjainen laadunvarmistus on käsitteenä uusi koko infra-alalla ja siihen suoraan soveltuvia sovelluksia ja ohjelmia kehitetään jatkuvasti. VR Track Oy:ssä tietomallipohjaisen laadunvarmistuksen prosessia on tutkittu ja kehitetty Kokkola-Riippa -radanrakennustyömaalla yhteistyössä tilaajan edustajan kanssa. Tietomallipohjaisen laadunvarmistusprosessin perustana on tarke- ja toteumamittausten vertaaminen visuaalisesti toteutusmalleihin. Tietomallipohjaisuus mahdollistaa tarke- ja toteumamittausten reaaliaikaisen seurannan sekä mittaustulosten vertaamisen suunnitelmiin, jolloin laadunvalvonta on jatkuvaa koko rakennusprosessin läpi.

Tietomallipohjainen laadunvalvonta parantaa myös toteutusmallien hallintaa ja työmaan etenemän seuranta, sillä rakentamattomiin toteutusmalleihin ei liity toteuma- tai tarkepisteitä. Toteutusmallipinnoilla voidaan ajatella olevan kahdeksan erilaista statusta, jotka ilmaisevat töiden etenemää sekä tarke- ja toteumamittausten tarkastusta ja hyväksyntää (ks. Kuva 41).



**Kuva 41.** Toteutusmallin, toteuma- ja tarkepisteiden prosessi tietomallipohjaisessa laadunvarmistuksessa.

Tietomallipohjaisen laadunvarmistuksen tavoitetilassa rakennusprosessin sisäinen laadunvarmistusprosessi on jatkuvaa ja rakentamisen laatua voidaan seurata reaaliaikaisesti. Yhtenäistetyn laadunvarmistusprosessin läpikäyminen rakentamisessa takaa lopputuotteen laadukkuuden estämällä virheiden ja laatu poikkeamien synnyn ja siirtymisen eteenpäin rakennusprosessissa.

#### **4.4 Kaupallisten sovellusten kelpoisuus**

Tässä tutkimuksessa kokeiltujen sovelluksien ominaisuudet ja toiminnot painottuivat tietomallien ja toteutusmallien tarkasteluun. Sovelluksille yhteisiä toimintoja olivat kolmioverkkopintojen ja taiteviiva-aineiston visualisointi, mutta esim. aineistolle tehtävien toimintojen, kuten mittaamisen ja massalaskennan, välillä oli suuriakin eroja. Suoraan VR Track Oy:n tietomallipohjaisen radanrakennustyömaan dynaamisen ohjauksen tarpeisiin soveltuvaa yksittäistä sovellusta ei kokeilujen perusteella löytynyt, sillä ohjelmistolta toivottiin tietomallien käsittelyn ja tarkastelun lisäksi toimintoja resurssien-, aikataulun- ja kustannustenhallintaan, reaaliaikaiseen toteutumaraaportointiin suoraan työmaalta sekä jatkuvaan rakentamisen laadunvarmistukseen (ks. Kuva 42).

Eri ohjelmistojen yhteiskäytössä, kuten aineistojen integraatiossa, ongelmana on edelleen käytettävien tiedonsiirtoformaattien laaja kirjo ja niiden yhteensopimattomuus. Inframodel -tiedonsiirtoformaatti on tuomassa tähän ongelmaan ratkaisua, mutta sen toimivuus ja siirrettävän aineiston kattavuus ovat vielä ongelmallisia esim. aikataulun ja tietomallin yhdistämisessä, josta olisi suuri etu tietomallipohjaisen työmaan dynaamisessa ohjauksessa. Uusien tiedonsiirtoformaattien kehittäminen edellyttää myös ohjelmistotuottajien halua luoda yhtenäisempi ohjelmistokenttä työmaanohjauksen työkaluiksi ja mahdollistaa eri ohjelmistovalmistajien tuottamien ohjelmistojen yhteiskäyttöä.

Työmaakokeilussa mukana olleet sovellukset olivat osittain myös laite- ja käyttöalustariippuvaisia, joka vaikutti sovellusten ominaisuuksien toimivuuteen ja käyttökokemukseen eri laitteille ja käyttöalustoilla. Työmaanohjaukseen käytettävän sovelluksen tulisi olla käytettävissä useammalla eri laitteella, kuten älypuhelimella, tabletilla ja kannettavalla tietokoneella, sillä aineistoja pitää pystyä tarkastelemaan

toimiston lisäksi myös maastossa. Laite- ja käyttöalustariippumattomuus ovat avainasemassa yhtenäisen tiedonsiirtoformaatin kanssa kehitettäessä uusia mallipohjaisia toimintatapoja infra-alalle.



**Kuva 42.** Suunnitelmien ja toteutuman tarkastelu tablet-tietokoneella maastossa.

Tietomallien hyödyntämismahdollisuudet ovat laajat, sillä huolellisella suunnittelulla tietomalliin saadaan liitettyä kaikki, myös rakentamisen, tarvitsema informaatio. Nykyiset suunnitteluohjelmistot ja tiedonsiirtoformaatit rajoittavat kuitenkin vielä huomattavasti tietomalliaineiston sisältöä ja sen hyödyntämistä, mutta ohjelmistot ja tiedonsiirtoformaatit kehittyvät vastaamaan jatkuvasti kehittyvän infra-alan tarpeisiin.

Dynaamista radanrakennustyömaan ohjausta tukevassa sovelluksessa tulisi olla mahdollista tarkastella havainnollisesti kaikkea suunnittelun tuottamaa aineistoa paikkatietoon sidottuna. Sovellukseen tulisi olla mahdollista lisätä tarkastelua ja käyttöä varten rakentamisen tuottamaa aineistoa, kuten tarkentavia maastomittauksia ja

maaperätutkimuksia. Dynaamisen työmaanhjauksen lähtöaineiston, eli reaaliaikaisesti päivittyvien toteumatietojen sekä rakentamisen aikaisten havaintojen, vertaamisen suunnitelmiin, aikatauluun sekä kustannuksiin tulisi tapahtua sovelluksessa automaattisesti ja järjestelmän tulisi ilmoittaa työmaan johdolle asetettujen hälytysrajojen ylityksistä. Vertailun tuloksia tarkastelemalla työmaan johto pystyy suunnittelemaan ja toteuttamaan paremmin kohdennettuja ohjaustoimenpiteitä sekä tarkastelemaan myöhemmin toteutettujen toimenpiteiden vaikutuksia. Rakentamisen edessä ja rakenteiden valmistuessa sovellukseen määritetyt kustannukset päivittyisivät ja työmaan johto saisi myös maksupostiehdotuksen suoraan järjestelmästä, jolloin kustannusten ja rakentamisbudjetin seuranta helpottuisi.

#### **4.5 Inframodel3-tiedonsiirtoformaatin täydennystarpeet**

Inframodel3-tiedonsiirtoformaatin omassa kehitysryhmässä havaittu puuttuvan runsaasti erilaisia rakenteita ja varusteita, jotka on suunniteltu otettavan mukaan formaatin seuraavissa versioissa. Havaittuja puutteita ovat mm. pohjarakenteet, kuten paalulaatat ja pilaristabilointi, liikennemerkit, sähköratavarusteet, tarkkuus- ja toleranssitiedot, materiaalitiedot sekä maalajikerrosten ominaisuustiedot. Formaatin kehityskohteena on myös aineiston versiointi ja revisiointi tiedoston sisällä. (Liukas & Kovalainen 2013) Tiedonsiirtoformaatin kehittämisessä ei ole kuitenkaan otettu vielä kantaa dynaamisen ohjauksen vaatimiin ominaisuuksiin, kuten aikataulutukseen, kustannuksiin ja toteuman seurantaan.

Yhtenäisen tiedonsiirtoformaatin kehittämiseksi tulee antaa aikaa, jotta kaikki tietomallien sisältämä informaatio saadaan siirtymään luotettavasti eri ohjelmistojen välillä. Yhtenäinen tiedonsiirtoformaatti vaatii paljon yhteistä kehitystyötä myös ohjelmistotarjoajien kanssa, sillä esim. dynaamisessa työmaan ohjauksessa aikataulusuunnittelun tulisi olla liitettävissä rakennussuunnitelmiin ja kustannusarvioon, jotta saadaan muodostettua työmaan ohjausta tukeva kokonaisuus.

Tällä hetkellä aikataulusuunnittelussa käytetään pääasiallisesti pelkästään aikataulu- ja resurssisuunnitteluun erikoistuneita sovelluksia, joihin projektin aikataulu luodaan alusta asti projektin johdon toimesta. Aikataulu- ja resurssisuunnittelu ohjelmistoihin

voidaan siirtää visuaalisia karttaesityksiä rakennussuunnitelmista, kuten työmaa karttoja, mutta esim. aikataulutuksen perusteena käytettäviä rakenteita ja niiden massoja ei saada vielä siirtymään suoraan suunnitteluohjelmista aikataulunhallintasovelluksiin yhtenäisten tiedonsiirtoformaattien avulla.

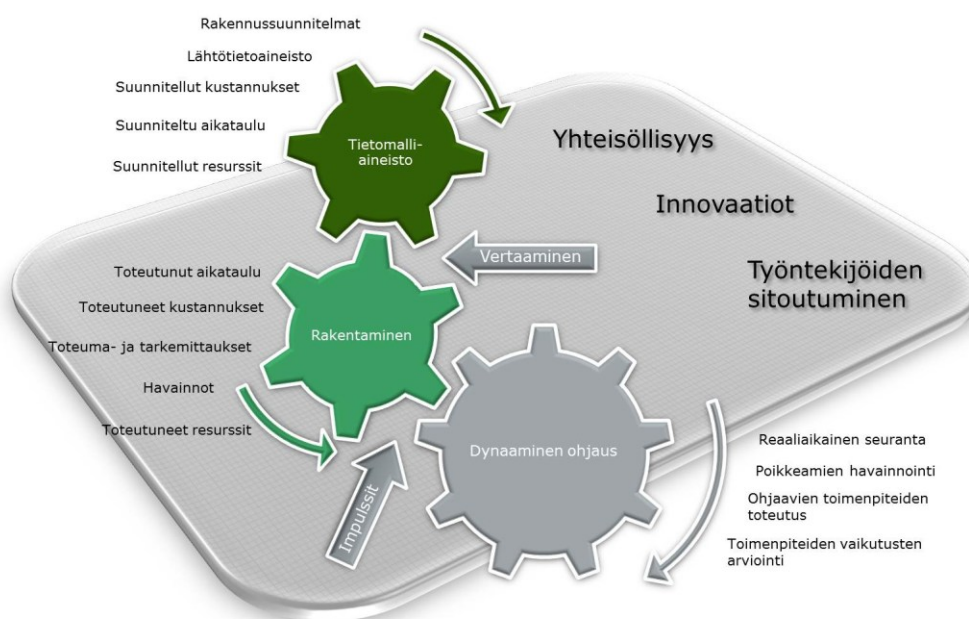
#### **4.6 Dynaamisen ohjausmenetelmän soveltuvuus radanrakentamiseen**

Suurten projektien monimutkaisuutta yritetään usein hallita uusilla tietojärjestelmillä ja monilla erilaisilla tavoite- ja seurantataulukkoilla. Tietomallipohjaisesta toiminnasta on nykyisin helppoa tuottaa tietoa ja erilaisia raportteja enemmän kuin ennen, mutta silti hyvin usein koetaan, että käytetty työmaan ohjausmenetelmä ei tuota olennaisesti projektin ohjausta ja tuotteen elinkaarimallia tukevaa tietoa. Tietomallipohjaisessa toimintatavassa tietomalli on suunnitelma-aineiston lisäksi visuaalinen työohje työmaan johdolle sekä hyödynnettävissä monella tapaa esim. projektipalaverissa. Tietomallipohjaisuus on edistänyt Lean-johtamisfilosofian jalkautumista infrarakentamiseen ja laajentanut käsitystä siitä, mitä sen oppien avulla on mahdollista saavuttaa rakennustuotannossa.

Tehokkaalla työmaan ohjauksella on mahdollista rakentaa kerralla oikein karsimalla ylimääräistä työtä, lyhentämällä läpimenoaikoja sekä tavoittelemalla tarkoituksen mukaista lopputuotteen laatua. Reaaliaikainen rakennusprosessin seuranta ja laadunvarmistus auttavat havaitsemaan sekä korjaamaan poikkeamia ennen kuin ne tapahtuvat tai kumuloituvat suuremmiksi ongelmiksi prosessin edetessä, ja ovat siksi välttämättömiä dynaamiselle työmaanohjaukselle. Esimerkiksi suunnitelmia suuremmat massamäärät ja pienentyneiden koneresurssien vaikutukset ovat nopeammin ja paremmin nähtävissä, kun raportointi työmaalta on mahdollisimman reaaliaikaista.

Radanrakennustyömaan dynaaminen ohjausmenetelmä perustuu idealle jatkuvasta innovoinnista, yhteisöllisyydestä ja kaikkien työntekijöiden sitoutumisesta yhteisten tavoitteiden saavuttamiseksi (ks. Kuva 43). Dynaamisen ohjauksen lähtökohtana on tunnustaa nykyhetken tosiasiat, jotta ohjauksen kehittymien ja vanhasta oppiminen ovat mahdollisia esim. Lean-filosofian mukainen Viisi miksi -analyysi auttaa projektin ohjausta oppimaan aiemmista virheistä kartoittamalla todelliset syyt poikkeamien

taustalla. Dynaaminen ohjausmenetelmä on muuntautumiskykyinen ja reaaliaikainen, jolloin sen avulla on mahdollista muuttaa toimintatapoja reaaliaikaisesti ja tarkastella tehtyjen muutosten vaikutuksia.



**Kuva 43.** Tietomallipohjaisen rakennusprojektin dynaaminen ohjausmenetelmä.

Toimiva keskustelu ja yhteisöllisyys vahvistavat kaikkien työntekijöiden sitoutumista yhteisten päämäärien saavuttamiseksi. Yleisesti yhteisöllisyys rakennusprojektin sisällä on hyvä, mutta sidosryhmien, kuten suunnittelijoiden ja tilaajan, kanssa on nykyisessä toimintamallissa parantamisen varaa. Esimerkiksi ST-urakoissa on panostettava huomattavasti enemmän suunnittelun ja rakentamisen väliseen tiedonkulkuun ja molempien on annettava paras mahdollinen panos yhteiseen työskentelyyn. Esimerkiksi suunnitelmista saadaan paremmin rakentamista palvelevia hyödyntämällä rakentamisen ammattilaisten tietotaitoa ja suunnittelijoiden osaaminen auttaa vastaavasti rakentajia hyödyntämään paremmin suunnitelma-aineistoa.



Tietomallipohjaisen rakennusprojektin dynaaminen ohjausmenetelmä pohjautuu tietomalliaineistoon, joka sisältää kaiken suunnitelma-aineiston rakennussuunnitelmista aikatalutukseen ja kustannuksiin. Tietomalliaineistoon verrataan rakentamisen aikana tehtyjä havaintoja, mittaustietoja sekä toteumatietoja aikataulusta, kustannuksista ja resursseista. Vertailun tulokset toimivat impulsseina työmaan johdon toteuttamille toimenpiteille. Vastaavasti työmaan johdon suunnittelemat ohjaavat toimenpiteet toimivat impulsseina rakentamiselle ja niiden vaikutuksia voidaan arvioida muuttuvien vertailutietojen perusteella. (ks. Kuva 43)

Dynaaminen työmaanohtaus vaatii rutiineja, eli standardisoituja prosesseja, joita toteuttamalla voidaan varmistua tehtävän työn laadukkuudesta. Esimerkiksi toteumamittausten tuottamisessa on erittäin tärkeää pystyä varmistumaan siitä, että työkonen koneohjausjärjestelmän tarkkuus on riittävä mittausten toteuttamiseen. Tämä voidaan varmistaa seuraamalla standardisoitua prosessia, joka määrittelee askel askeleelta miten mittaukset tulee suorittaa. Dynaamisessa ohjausmenetelmässä on kuitenkin huolehdittava siitä, että prosessit eivät ole liian jäykkiä, vaan että ne sallivat innovoinnin ja parempien sekä tehokkaampien toimintatapojen kehittymisen.

Dynaamisen ohjauksen reaaliaikaisuus ja tuotannon tehostaminen parantavat rakennusprojektin taloudellisuutta ja ympäristöystävällisyyttä mm. vähentämällä turhaa työtä ja materiaaleja. Työmaan dynaamisen ohjauksen laadukkuutta voidaan arvioida seuraavien määritelmien mukaan:

- onko tietomallipohjaista suunnitelmaa?
- onko toteutussuunnitelmissa hyödynnetty työntekijöiden innovointia?
- ovatko työntekijät sitoutuneita tavoitteisiin?
- onko jatkuvaa seuranta, jotta saavutetaan eri toteumatietoja työmaalta?
- onko kykyä tehdä havaintoja ja havaita poikkeamia prosessista reaaliaikaisesti?
- onko kykyä reagoida ohjaavasti riittävän nopeasti havaintoihin ja poikkeamiin?
- onko kykyä tarkistaa riittikö toteutettu ohjaus tilanteen korjaamiseksi?

Tietomallipohjaisen radanrakennustyömaan dynaaminen ohjausmenetelmä tulee valmistella huolella ennen sen käyttöönottamista rakennusprojektilla, sillä on kyse uudesta ohjausmenetelmästä, jonka hallitseminen vaatii kärsivällisyyttä ja opettelua. Tietomallipohjaisen rakennusprojektin dynaaminen ohjaus vaatii tuekseen myös uusia tietoteknisiä sovelluksia, joilla pysytään helpottamaan tiedonhallintaa ja -siirtoa sekä mahdollistamaan rakentamisen reaaliaikainen seuranta ja laadunvarmistus. Hyödyntämällä dynaamisen ohjausmenetelmän periaatteita tietomallipohjaisilla rakennusprojekteilla saavutetaan prosessien ja itse ohjausmenetelmän kehittymisen myötä varmasti uusia tarpeita myös tiedonhallinnan ja -siirron sekä käytettävien sovellusten kehitykseen.

## LÄHDELUETTELO

**BuildingSMART (2013)** About BuildindSMART. <http://www.buildingsmart.org/>  
[25.10.2013]

**Hohto Labs Oy (2013)** Kuura, avain koneautomaation tehokäyttöön -esite.  
[https://dl.dropbox.com/u/3338354/Kuura\\_esite\\_v3\\_web.pdf](https://dl.dropbox.com/u/3338354/Kuura_esite_v3_web.pdf), [8.4.2013]

**Hyvärinen J (2013)** buildingSMART LandXML status 2013-03-12/13 Waltham.

**InfraBIM (2013)** Inframodel3 -tiedonsiirtoformaatti otetaan käyttöön. Saatavilla  
[http://www.rts.fi/infrabim/infrabim\\_uusi/inframodel\\_3.html](http://www.rts.fi/infrabim/infrabim_uusi/inframodel_3.html), [17.4.2013]

**InfraRYL (2013)** InrfaRYL Net-palvelu. Saatavilla  
<https://www.rakennustieto.fi/infraryl/> , [15.10.2013]

**Jaakkola M (2014)** Tie- ja ratarakentamisen mallipohjainen laadunvalvontamenetelmä.  
Luonnos, PRE/InfraBIM tietomallivaatimukset ja ohjeet, osa 12.

**Jalava U & Matilainen R (2010)** Dynaaminen johtaminen – kohti yhteisöllistä ja  
näkemyksellistä johtamista. Helsinki: PRO Tammi.

**Jokiniemi H (1993)** Rakennusprojektin tuottavuuden tunnusluvut. Espoo: VTT  
OFFSETPAINO.

**Kajanan J (2006)** InfraModel2 -loppuraportti. Saatavilla [http://cic.vtt.fi/projects/inframodel2/material/Published/Reports/IM2\\_Loppuraportti\\_luonnos0\\_8.pdf](http://cic.vtt.fi/projects/inframodel2/material/Published/Reports/IM2_Loppuraportti_luonnos0_8.pdf)  
[15.10.2013]

**Karjula J & Mäkelä E (2012)** YTV Osa 11. Tietomallipohjaisen projektin  
johtaminen. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Saatavilla [http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012\\_osa\\_11\\_projektin\\_johtaminen.pdf](http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_11_projektin_johtaminen.pdf),  
[30.10.2013]

**Liker J (2010)** Toyotan tapaan. Jyväskylä: WS Bookwell Oy.

**Liikennevirasto (2011)** Liikenneviraston ohjeita 18/2011 Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot Mittausohjeet. Saatavilla [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2011-18\\_tie-ja\\_ratahankkeiden\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-18_tie-ja_ratahankkeiden_web.pdf) [12.11.2013]

**Liikennevirasto (2012a)** Liikenneviraston ohjeita 1/2012 Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO). Kuopio: Kopijyvä Oy.

**Liukas J & Kovalainen V (2013)** Inframodel – käyttöönotto-ohje. Saatavilla [http://www.infrabim.fi/infrabim\\_uusi/Inframodel3-kayttoohje.pdf](http://www.infrabim.fi/infrabim_uusi/Inframodel3-kayttoohje.pdf) [15.11.2013]

**Palomaa T (2013)** Novapoint Virtual Map for Construction, VMC.

**Parkkari J (2011a)** 3D-tietomalleja hyödyntävän automatisoidun maarakentamisjärjestelmän kehittäminen.

**Parkkari J (2011b)** Äänekoski-Saarijärvi Tarkkeiden analyysi. VR Track [24.10.2011]

**Parkkari J (2012)** Katsaus koneohjauksen nykytilaan. RautatieTEKNIikka 4-2012:39-41

**Pouta T (2012)** Kori starttasi lokakuussa. Infrarakentamisen divari joulukuu 2012:8

**Ratahallintokeskus (2008)** Ratatekniset ohjeet (RATO) Osa 3 Radan rakenne. Ratahallintokeskus.

**RYM Oy (2010)** Infra FINBIM -työpaketti. Saatavilla <http://www.rym.fi/tutkimusohjelmat/PRE/infracinbimtyopaketti/>, [24.1.2012]

**RYM Oy (2012)** Inframodel3 -tiedonsiirtoformaatti otetaan käyttöön. Saatavilla <http://www.rym.fi/2608.aspx>, [7.1.2013]

**Suomisanakirja.fi (2013)** Dynaaminen. <http://www.suomisanakirja.fi/dynaaminen> [30.9.2013]

**Tekla (2013)** Tekla Civil -Työmaatoiminnot.

**VR Group Oy (2013)** VR Track suunnittelee ja rakentaa Kokkola-Riippa kaksoisraiteen. <http://www.vrgroup.fi/fi/vakiolinkit/VR-konsernitiedottaa/news20120927154024.html>, [2.4.2013]

**Haastattelut:**

**Heikka A (2013)** vastaava työnjohtaja VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Kaasinen E (2013)** projektipäällikkö VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Kataja J (2013)** tarjouspäällikkö VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Kiiski P (2013)** rakennuspäällikkö VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Korhonen A (2013)** projektipäällikkö VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Kotala P (2013)** 3D-asiantuntija Scanlaser Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Kräknäs P (2013)** kehitysinsinööri VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Laatunen K (2013)** tuotekehityspäällikkö VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Lehto T (2013)** vastaava työnjohtaja VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Malmivuori M (2013)** työpäällikkö VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Mikkola J (2013)** asiantuntija VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Mikkonen J (2013)** aluevastaava VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Mäkelä S (2013)** 3D-asiantuntija Scanlaser Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Pekkanen K (2013)** rakennuspäällikkö VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Pouta T (2013)** rakennuspäällikkö VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Rauhala T (2013)** projektipäällikkö CC Infra Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Salonen M (2013)** aluemyyntipäällikkö Scanlaser Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Tepsa M (2013)** rakennuspäällikkö VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

**Ylikulju M (2013)** projektipäällikkö VR Track Oy. Haastattelu, Eija Heikkilä

## KYSYMYKSET:

### Työmaan ohjauksen nykytila ja sen kehityskohteet

1. Miten työmaan toteutuman/etenemän seuranta on nykyään toteutettu?
2. Miten toteutuman seuranta voitaisiin kehittää, esim. valmiusasteen laskentaan ja laskutukseen? (mikä toimii, mikä ei, mitä tietoja työmaa tarvitsee?)
3. Kuinka työmaan aikataulutusta ja aikataulussa pysymisen seuranta on toteutettu? Miten aikataulua ohjataan?
4. Mitä kehitysmahdollisuuksia aikataulutuksessa ja sen seurannassa on? (puutteet ja ongelmat, uudet ohjelmistot ja toimintatavat, työvaihesuunnittelu jne.)
5. Miten työmaan tiedonkulku (rakentamiseen liittyvät informaatiot, havainnot, poikkeukset, tiedostot, metatiedot jne.) toimii ja miten tätä voisi parantaa?
6. Miten radanrakentamista (maarakennus, sillanrakennus, päällysrakennus jne.) ohjataan, miten työkohteiden ja resurssien määrittäminen ja ohjaus toteutetaan?
7. Hyödynnetäänkö koneohjausmalleja eli ns. toteutusmalleja muuten kuin työkoneiden ohjauksessa? (Aikataulutusta, sijainnit, mittaus jne.)
8. Miten suunnittelusta saatavien (toteutus)mallien hyödyntämistä voitaisiin kehittää ja saada niistä lisäarvoa työmaalle?
9. Radanrakennustyömaan organisaatorakenne. Kehitysideoita esim. tiedonkulun, koneohjauksen, laadunvarmistuksen kannalta?
10. Mitä ominaisuuksia työmaan ohjauksessa käytettävältä ohjelmistolta vaaditaan eli mitä ohjelmistolla pitäisi pystyä tekemään, esim. maastossa ja toimistolla? (esimerkkejä suluissa, lisäksi toivoisin kommentoimaan ominaisuuksien painoarvoa eli mikä ominaisuus on tärkein (5), ei tärkeä (1) asteikolla 5-1)
  - Paikannus (oma, työkoneiden, työntekijöiden sijainnit sekä sijainnin mukainen suunnitelmien tarkastelu)
  - Massat ja määrät (määrien laskenta, valmiiksi merkitseminen)
  - Aikataulutusta (aikataulun muutokset, toteutuman mukaan)
  - Säättiedot (sadetutkat, lämpötilat, ilman suht. kosteus)

- Raportointityökalu (muistion kirjoitus, valokuvat, paikkatietoon sidottu raportointi)
- Työmaaliikenteen ohjaus (maansiirron ja työmaateiden suunnittelu)
- Resurssien hallinta (ihmiset, koneet, jne. mihin tehtävään sidottu ja mille aikavälille, koneiden käyttötiedot ja tehot. Lisäarvona se, että esim. onnettomuustilanteessa nähtäisiin heti vaara-alueella olevat ihmiset ja koneet)

### **Laadunvarmistuksen nykytila ja sen kehityskohteet**

11. Millä tavoin laadunvarmistus on nykyisin toteutettu ja miten sitä ohjataan, mitä ongelmia nykyisessä toimintatavassa on?
12. Miten laadunvarmistusta voitaisiin kehittää (koneohjauksen hyödyntäminen mittauksessa, silmämääräinen (toiminnallisuuden toteaminen ja valokuvaus) tarkastus yhdistettynä takymetrimittauksiin)?
13. Onko koneohjauksella suoritettu toteutumamittauksia ja onko niistä havaittu saatavan hyötyä tai havaittu ongelmia, miten tätä voisi kehittää?
14. Miten laadunvarmistusmenettelyä ohjataan kokonaisuudessaan urakan aikana, miten näet tämän kehitysmahdollisuudet?
15. Tuottaako ennakoiva laadunhallinta ts. työmaan reaaliaikainen seuranta tärkeää lisäarvoa työmaanohjaukselle verrattuna jälkikäteen tapahtuvalle laadun toteamiselle? Miten reaaliaikainen laadunhallinta pitäisi toteuttaa?
16. Hyödynnetäänkö toteutumamittauksia/tarkemittauksia ennakoivassa laadunhallinnassa, miten tätä voitaisiin kehittää?
17. Muut radanrakennustyömaan tutkimus- ja kehitysehdotukset?



Legend: **added** **removed** **changed** **moved from** **moved to** **ignored**

File in editor : Novapoint\_rumpu\_IM3.xml

File to compare : D:\Tekla\_IM3\_testaus\Luotuaaineisto

[first](#)  
[prev](#)  
[next](#)

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
<LandXML xmlns="http://www.inframodel.fi/inframodel"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.inframodel.fi/inframodel
http://www.inframodel.fi/schemas/3.0.0/inframodel.xsd"
  LandXML="2014-05-12"
  LandXML="19:50:17"
  version="1.2"
  LandXML="Finnish"
  readOnly="false">
  <FeatureDictionary name="inframodel"
    version="2.0.0">
    <DocFileRef name="inframodel_tiedonsiirron_sovellusohje_v1.2.pdf"
      location="http://www.xts.fi/inframodel2010/" />
  </FeatureDictionary>
  <Units>
    <Metric
      areaUnit="squareMeter"
      linearUnit="meter"
      volumeUnit="cubicMeter"
      temperatureUnit="celsius"
      Metric="mmHG"
      Metric="radians"
      Metric="radians"
      diameterUnit="meter"
      widthUnit="meter"
      heightUnit="meter"/>
  </Units>
  <Application name="Novapoint"
    manufacturer="Viandva Systems"
    version="18.2050.0.0"
    manufacturerURL="www.novapoint.com"/>
  <Author
    createdBy="Heikki" />
  </Application>
  <Project
    Project="IM-testaus">
    <Feature code="IM_codings"
      source="inframodel">
      <Property label="terrainCoding"
        value="Tielaitos"/>
      <Property label="surfaceCoding"
        value="Tielaitos"/>
      <Property label="infraCoding"
        value="InfraBIM"/>
      <Property label="proprietaryInfraCoding"
        Property="Novapoint - FINLAND STANDARD"/>
    </Feature>
  </Project>
  <PipeNetworks PipeNetworks="IM-testaus">
    <PipeNetwork PipeNetwork="Rumpu"
      PipeNetwork="other"
      PipeNetwork="proposed">
      <Structs>
        <Struct
          Struct="111"
          Struct="proposed"
          Struct="12.589654"
          Struct="Vj-taite">
        <Center>
          7085097.647177 24475713.948684
        </Center>
        <Connection/>
        <Invert
          Invert="12.589654"
          Invert="out"
          Invert="103"/>
  </PipeNetworks>
```

[prev](#)  
[next](#)

[prev](#)  
[next](#)

[prev](#)  
[next](#)

[prev](#)  
[next](#)

[next](#)

[next](#)

[prev](#)  
[next](#)

[prev](#)  
[next](#)

[prev](#)  
[next](#)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes" ?>
<LandXML xmlns="http://www.inframodel.fi/inframodel"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.inframodel.fi/inframodel
http://www.inframodel.fi/schemas/3.0.0/inframodel.xsd"
  LandXML="2014-05-16"
  LandXML="22:08:35"
  version="1.2"
  LandXML="Finnish"
  readOnly="false">
  <Units>
    <Metric
      elevationUnit="meter"
      velocityUnit="kilometersPerHour"
      areaUnit="squareMeter"
      linearUnit="meter"
      volumeUnit="cubicMeter"
      temperatureUnit="celsius"
      Metric="HPA"
      Metric="grads"
      Metric="grads"
      diameterUnit="meter"
      widthUnit="meter"
      heightUnit="meter"/>
  </Units>
  <CoordinateSystem desc="ETRS-GK24"
    fileLocation=""
    name="KKJ"
    rotationAngle="0.000"
    verticalCoordinateSystemName="N2000"
  />
  <Project desc="Eiijan DI-työt varten"
    Project="Eiijan_IM3">
    <Feature code="IM_codings"
      source="inframodel">
      <Property label="surfaceCoding"
        value="Tielaitos"/>
      <Property label="terrainCoding"
        value="Tielaitos"/>
      <Property label="infraCoding"
        value="InfraBIM"/>
      <Property label="proprietaryInfraCoding"
        Property="Tekla"/>
    </Feature>
  </Project>
  <Application desc="Tekla Civil"
    manufacturer="Tekla Oy"
    manufacturerURL="http://www.tekla.com"
    name="Tekla Civil"
    timeStamp="2014-05-16T11:24:36"
    version="13.2-00 / (Nov 29 2013 11:24:36)">
  <Author company="VR Track Oy"
    createdBy="vx_eihe"
    timeStamp="2014-05-16T22:08:35"/>
  </Application>
  <FeatureDictionary name="inframodel"
    version="3.0.0">
    <DocFileRef location="http://www.inframodel.fi"
      name="inframodel_tiedonsiirrot_sovellusohje_v1.2_muok"
  </FeatureDictionary>
  <PipeNetworks PipeNetworks="Varusteet">
    <PipeNetwork PipeNetwork="Sadevesiviemäristä"
      PipeNetwork="storm"
      PipeNetwork="existing">
      <Structs>
        <Struct
          elevRim="14.000000000"
          Struct="Purkuaukko8"
          Struct="existing"
          Struct="14.000000000"
          Struct="Purkuaukko">
        <Center>
          7084968.129668281 24475416.568531632
        </Center>
        <OutletStruct/>
        <Invert desc="Rumpu"
          Invert="14.000000000"
          Invert="in"
          Invert="Rumpu_1"/>
  </PipeNetworks>
```

[prev](#)  
[next](#)

```

<Feature code="IM_struct">
  <Property label="structLabel" value="Vj-taite"/>
  <Property label="rimType" value="umps"/>
  <Property label="heightDeposit" value="0.000"/>
</Feature>
<Feature code="IM_coding" source="inframodel">
  <Property label="infraCoding" Property="310000"/>
  <Property label="infraCodingDesc" Property="Vesihuollon jÄrjestelmä"/>
  <Property label="proprietaryInfraCoding" Property=""/>
  <Property label="proprietaryInfraCodingDesc" value=""/>
</Feature>
</Struct>
<Struct
  Struct="113"
  Struct="proposed"
  Struct="12.011158"
  Struct="Vj-taite">
<Center>
  7085078.215628 24475720.750932
</Center>
<Connection/>
<Invert
  Invert="12.011158"
  Invert="in"
  Invert="103"/>
<Feature code="IM_struct">
  <Property label="structLabel" value="Vj-taite"/>
  <Property label="rimType" value="umps"/>
  <Property label="heightDeposit" value="0.000"/>
</Feature>
<Feature code="IM_coding" source="inframodel">
  <Property label="infraCoding" Property="310000"/>
  <Property label="infraCodingDesc" Property="Vesihuollon jÄrjestelmä"/>
  <Property label="proprietaryInfraCoding" Property=""/>
  <Property label="proprietaryInfraCodingDesc" value=""/>
</Feature>
</Struct>
</Structs>
<Pipes>
<Pipe
  Pipe="103"
  state="proposed"
  Pipe="Kaivantol Johto 3 - 4 Rumpu"
  Pipe="111"
  Pipe="113"
  Pipe="0.0280990320">
<Pipe
  Pipe="1.2"
  material="Betoni"
  Pipe="0.165"/>
<Feature code="IM_pipe">
  <Property Property="pressureClass" Property="B1"/>
  <Property label="elevType" value="vesijuoksu"/>
  <Property label="pipeStart" Property="7085097.647177 24475713.948684 12.589654"/>
  <Property label="pipeEnd" Property="7085078.215628 24475720.750932 12.011158"/>
</Feature>
<Feature code="IM_coding" source="inframodel">
  <Property label="infraCoding" Property="143410"/>
  <Property label="infraCodingDesc" Property="Betoniputkiruumut"/>
  <Property label="proprietaryInfraCoding" Property=""/>
  <Property label="proprietaryInfraCodingDesc" Property=""/>
</Feature>
</Pipe>
</Pipes>
</PipeNetwork>
</PipeNetworks>
</LandXML>

```

[prev](#)  
[next](#)

[prev](#)  
[next](#)

[prev](#)  
[next](#)

```

<Feature code="IM_coding" source="inframodel">
  <Property label="infraCoding" Property=""/>
  <Property label="infraCodingDesc" Property=""/>
  <Property label="proprietaryInfraCoding" Property="-34569"/>
  <Property label="proprietaryInfraCodingDesc" value=""/>
</Feature>
</Struct>
<Struct elevRim="14.200000000"
  Struct="Imaukko9"
  Struct="existing"
  Struct="14.200000000"
  Struct="Imaukko">
<Center>
  7084947.365754034 24475427.086200614
</Center>
<InletStruct/>
<Invert desc="Rumpu"
  Invert="14.200000000"
  Invert="out"
  Invert="Rumpu_1"/>
<Feature code="IM_struct">
  <Property label="structLabel" value="Vj-taite"/>
  <Property label="rimType" value="umps"/>
  <Property label="heightDeposit" value="0.000"/>
</Feature>
<Feature code="IM_coding" source="inframodel">
  <Property label="infraCoding" Property=""/>
  <Property label="infraCodingDesc" Property=""/>
  <Property label="proprietaryInfraCoding" Property="-34568"/>
  <Property label="proprietaryInfraCodingDesc" value=""/>
</Feature>
</Struct>
</Structs>
<Pipes>
<Pipe length="23.275770571"
  Pipe="Rumpu_1"
  state="proposed"
  Pipe="Rumpu"
  Pipe="Imaukko9"
  Pipe="Purkuaukko8"
  Pipe="0.008592626">
<Pipe desc="Rumpu"
  Pipe="1.200000000"
  material="Betoni"
  Pipe="NaN"/>
<Feature source="inframodel" code="IM_pipe">
  <Property Property="pipeLabel" Property="1"/>
  <Property label="elevType" value="vesijuoksu"/>
  <Property label="pipeStart" Property="7084968.129668281 24475416.568531632 14.000000000"/>
  <Property label="pipeEnd" Property="7084947.365754034 24475427.086200614 14.200000000"/>
</Feature>
<Feature code="IM_coding" source="inframodel">
  <Property label="infraCoding" Property="143400"/>
  <Property label="infraCodingDesc" Property="Rumpuputki"/>
  <Property label="proprietaryInfraCoding" Property="7000000"/>
  <Property label="proprietaryInfraCodingDesc" Property="Rumpu"/>
</Feature>
</Pipe>
</Pipes>
</PipeNetwork>
</PipeNetworks>
</LandXML>

```