

# **Laadunvarmistusmittaukset tietomallipohjaisessa väylärakentamisessa**

**34. Rakennuttajakoulutus**

**Tutkielma**

**Janne Pietarinen**

**Skanska Infra Oy**

**Helsinki 19.10.2012**

**Aalto University Professional Development – Aalto PRO**

## Tiivistelmä

Uudet tekniikat ovat yleistymässä sekä suunnittelussa että työmailla. Tuotantoa ohjaavien apuvälineiden käyttöönottoon maanrakentamisessa ollaan ottamassa ensimmäisiä askelia laitteistojen kehitysvaiheesta tuotannolliseen vaiheeseen siirtymisessä. Uudet tuotantoa avustavat tekniikat yhdessä tietomallipohjaisen suunnittelun kanssa on luomassa toimintaympäristön, jossa pyritään hakemaan tuotantoon uutta tehokkuutta sekä laatua uusien tekniikoiden hyödyntäen.

Tässä tutkielmassa keskitytään tarkastelemaan tietomallipohjaisen väylärakentamisen laadunvarmistusta. Väylärakentamisen laadunvarmistusmittaukset ovat hyvin laaja aihealue. Tässä tutkielmassa aihe on rajattu niin, että tarkasteltavaksi osa-alueeksi on valittu väylän loppukäyttäjälle suoraan välittyvä väylän laatuominaisuus eli toteutunut väylän geometria.

Suunnittelussa mallintamisen yleistymisen on tuonut toteutukseen mahdollisuuden ottaa uusia tuotantotapoja käyttöön myös maanrakentamisessa. Koneautomaatio ja koneohjausjärjestelmät antavat tulevaisuudessa uusia mahdollisuuksia tuotannon kehittämiseen ja tehostamiseen. Samalla tulee pohtia laadunvarmistukseen liittyviä toimintatapoja sekä laadunvarmistusmäärittelyjä niin, että uusilla tekniikoilla tehdyt laadunvarmistustoimenpiteet palvelevat lopputuotteen laadunhallintaa sekä tuotantoa.

Tutkielmassa on verrattu Vt8 Kotiranta – Stormossen välin perusrakentamishankkeelta saatuja tietoja sekä kokemuksia kirjallisuustutkimuksen pohjalta kerättyyn aineistoon. Aineistotutkimusten ja vertailujen perusteella on tehty yhteenveto case -hankkeella sekä yleisesti huomioon otettavista seikoista, joita tietomallipohjaisen väylärakentamisen laadunvarmistusmittauksissa tulee ottaa huomioon.

## Sisältö

Laadunvarmistusmittaukset tietomallipohjaisessa väylärakentamisessa	
1	Johdanto ..... 1
2	Aiheen rajaus ja työn tavoite..... 2
2.1	Tutkielma-aiheen rajaus..... 2
2.2	Tavoite ..... 2
3	Tietomallintaminen ja laadunvarmistus ..... 4
3.1	Yleistä ..... 4
3.2	Tietomallintaminen rakennushankkeessa ..... 5
3.3	Tietomallintaminen väylähankkeessa ..... 6
3.4	Urakoitsija ja toteutusvaiheen tietomallit ..... 7
3.5	Laadunvarmistusmittaukset väylähankkeessa ..... 10
4	Väylärakentaminen ja koneautomaatio..... 13
4.1	Yleistä ..... 13
4.2	Koneohjausjärjestelmät tuotannon ohjauksessa..... 13
4.3	Koneohjausjärjestelmien hyödyntäminen väylärakentamisessa .. 14
4.4	Koneohjausjärjestelmät laadunvarmistuksessa ..... 16
5	Case Vt8 Kotiranta – Stormossen ..... 17
5.1	Vt8 Kotiranta – Stormossen –hanke ..... 17
5.2	Tietomallit, niiden hyödyntäminen ja koneohjaus hankkeella .... 17
5.3	Koneohjausjärjestelmän kautta tehtävä laadunvarmistus hankkeella ..... 20
5.4	Kokemuksia hankkeelta ..... 22
6	Johtopäätökset..... 23
7	Lähteet..... 25



# 1 Johdanto

Laadunvarmistusmittaukset on hyvin laaja käsite rakentamisessa. Laadunvarmistusmittauksilla todennetaan sekä rakenteiden sijaintitietoja kolmiulotteisessa tilassa että erilaisia rakennusmateriaalien tai rakenteiden ominaisuuksia ja laatua. Maanrakentamisessa laadunvarmistusmittauksilla todennetaan muun muassa rakenteiden sijaintia, niiden kantavuuksia, materiaalien ominaisuuksia tai vaikka työn laatua. Erilaisien mittausten tavoitteena on todentaa lopputuotteen laatua sekä näin ohjata ja säätää tuotantoa oikeaan suuntaan tai korjata laadussa havaittuja poikkeamia.

Maanrakentamisen luonteen perusteella helposti ajaudutaan toimintatapaan jossa ensin tehdään valmiista. Rakenneosan, rakennusalueen tai rakennusvaiheen jälkeen suoritetaan mittaamalla työn tuloksen dokumentointi. Jos virheitä työn laadussa havaitaan laadunvarmistusmittauksissa, toteutetaan korjaavat toimenpiteet ja tämän jälkeen korjattu tilanne dokumentoidaan uudestaan. Työn aikana saatetaan tehdä tarkastusmittauksia kriittisissä paikoissa jotta välttyttäisiin kohteessa useaan kertaan tehtäviltä toimenpiteiltä.

Väylärakentamisessa tietomallia hyödyntävässä tuotantotavassa laadunvarmistus voidaan ottaa käyttöön vastaavalla tavalla kuin teollisessa tuotantoprosessissa, jossa tuotantoa mitataan jatkuvasti ja mittaustulosten perusteella ohjataan sekä säädetään tuotantoa. Uusien tekniikoiden ja teknologioiden mukaan ottamisella ja hyödyntämisellä voidaan niinkin perinteisessä toteutuksessa kuin maansiirrossa päästä lähelle tuotannon online -ohjausta. Tätä kautta voidaan saada ja hakea toimintaan uutta tehokkuutta sekä luoda omalle toiminnalle että asiakkaalle jäävää lisäarvoa erilaisissa hanketta hyödyttävissä muodoissa.

## 2 Aiheen rajausta ja työn tavoite

### 2.1 Tutkielma-aiheen rajausta

Väylärakentamisessa laadunvarmistusmittaukset käsittävät laajan joukon erilaisia mittauksia rakenteista, niiden sijainnista sekä rakennusmateriaaleista. Näillä mittauksilla todennetaan rakennettavalle väylälle asetettujen laatuvaatimusten toteutumista. Yksi liikenneväylän tärkeimmistä laadunvarmistusmittauksista on väylälle suunnitellun geometrian toteutumisen todentaminen.

Tässä tutkielmatyössä keskitytään tarkastelemaan laadunvarmistusmittauksista väylän geometrian todentamiseksi tehtäviä rakenteiden sekä valmiin väylän geometrian x, y ja z sijaintitietojen toteutumisen varmistamiseksi tehtäviä mittauksia. Jäljempänä käytettäessä ilmaisusta ”laadunvarmistusmittaus” tarkoitetaan edellä kuvattuja liikenneväylän geometrian todentamiseksi tehtäviä mittauksia. InfraRYL:ssä on varsin kattavasti ja seikkaperäisesti esitetty tutkielman laatimishetkellä Suomessa yleisesti käytetty tapa todentaa väylän geometrian toteutumista. Tässä työssä ei ole tarkoitus käsitellä laadunvarmistusmittausten sisältöä vaan tarkastella tuotemallia hyödyntävän koneohjausjärjestelmillä toteutetun tuotannon toimintatapoja, -varmuutta sekä luotettavuutta ja näin tuotetun laadunvarmistusaineiston käytettävyyttä hankkeen lopullisena laadunvarmistusmittausaineistona.

### 2.2 Tavoite

Väylärakentamisessa perinteinen tapa toteuttaa geometrian laadunvarmistusmittauksia on ollut mitata rakenteet leikkauksina 20 metrin välein. Perinteinen laadunvarmistusmittaustapa on erittäin työläs tapa todentaa toteutuneiden rakenteiden sijaintia. Lisäksi perinteisellä tavalla saatu laadunvarmistusaineiston hyödynnettävyys hankkeen aikana sekä käytönaikana on ollut ajoittain heikolla tasolla. Usein saattaa käydä että laadunvarmistusmit-

tauksen päätyvät jo hankkeen aikana arkistomappeihin niin, ettei niihin olla kajottu hankkeen tai koko väylän elinkaaren aikana.

Tässä työssä tarkastellaan tuotemallin ja tuotemallipohjaisten koneohjausjärjestelmien hyödyntämisen tuomia lisämahdollisuuksia hankkeen lopputuotteen laadun ja toimivuuden varmistamiseksi. Koneohjatun tuotannon ohjauksen oheistuotteena tuotetun laadunvarmistusmittausaineiston samoin kun uusilla tehokkailla mittaustekniikoilla valmiista lopputuotteesta tuotetun aineiston avulla pystytään varmistamaan lopputuotteen toimivuutta. Toimintatavasta saatavat hyödyt eivät rajoitu välttämättä ainoastaan mittamiesten tekemän mittaustyön kautta saavutettavaan työmäärän vähenemiseen. Koneohjausjärjestelmällä saatava mittaustieto on välittömästi tekijän käytössä ja verrattavissa mallissa toteutettaviin rakenteisiin. Näin suurin saavutettavissa oleva hyöty on tuotannon tehostuminen, joka oikein hyödynnettynä on muutettavissa rahaksi sekä ajaksi ja tämän kautta hyödyttämään konkreettisesti kaikkia hankkeen osapuolia

Työn tavoitteena on selvittää, hyödyntäen työssä käsitellyltä case-hankkeelta saatavan tiedon pohjalta, tietomallipohjaisen koneohjausjärjestelmän kautta tuotetun väylärakentamisen laadunvarmistusmittausten hyödynnettävyyttä tuotannon ohjauksessa sekä lopputuotteen dokumentoinnissa. Millaisin määrittelyin voitaisiin perinteisellä tavalla tehtyä laadunvarmistusmittaustyötä keventämään hyödynnettäessä uutta teknologiaa? Millaisia hyötyjä koneohjausjärjestelmien hyödyntämisestä on saatavissa? Ja millaisiin näkökohtiin työssä käsitellyllä pilot -hankkeella tulisi kiinnittää huomiota hankkeen loppuun viemisen osalta alkuvaiheessa saatujen kokemusten ja tietojen perusteella

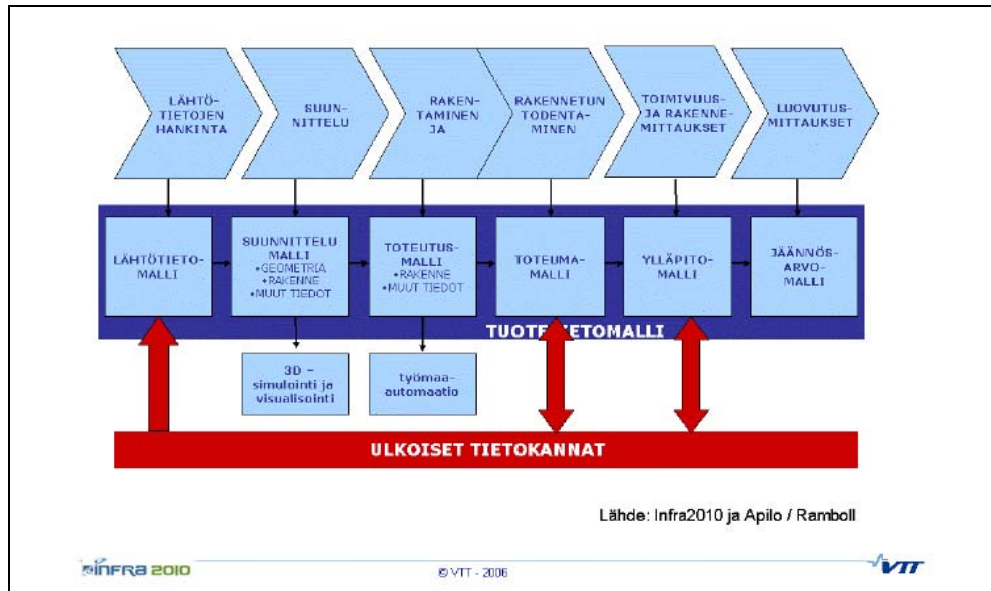
## 3 Tietomallintaminen ja laadunvarmistus

### 3.1 Yleistä

Kun kysytään mitä tieto- tai tuotemallintaminen on? Voidaan kysymykseen vastata: ”Tuotemallintaminen on kokonaisvaltainen, integroitu tapa hallita rakennushankkeen tietoja digitaalisessa muodossa” /1, s. 8/. Käsitteet tieto- ja tuotemalli esiintyvät kumpikin yleisesti alan julkaisuissa, teksteissä ja esityksissä. Itse termit ”tietomalli” ja ”tuotemalli” ovat synonyymejä toisilleen mutta niitä saatetaan käyttää myös yhdyssanana ”tuotetietomalli”. Kaikilla näillä termeillä tarkoitetaan samaan asia eli kokonaisvaltaista tapaa hallita hankkeen tietoja digitaalisessa muodossa. Tässä tutkielmassa käytetään jatkossa termiä ”tietomalli”, joka on vakiintunut termi infarakentamisen yhteydessä puhuttaessa hankkeen digitaalisesta tiedon hallinnasta. /1/2/

Tietomallipohjaisessa hankkeen tietojen hallinnassa pystytään hyödyntämään hankkeiden tietomääriä entistä paremmin ja tehokkaammin. Tietomallintamisen tuloksena tuotettava tietomalli on käytettävissä hankkeen elinkaaren aikana. Tietomallin hyödyntäminen ei näin ollen rajoitu pelkästään rakentamisvaiheeseen vaan siitä saadaan hyötyä koko elinkaaren ajalle sekä kaikille osapuolille lopputuotteen alusta aina elinkaaren päähän saakka. Tietomalli koostuu hankkeen eri vaiheissa tietomalliin tuotetusta tiedosta. Tietomallilla ei tarkoiteta vain suunnittelu- ja rakentamisvaiheista tuotettua mallintamisaineistoa. Tietomallissa kulkee mukana lähtötiedot, suunnittelu, toteutus, toteuma sekä käytön sekä ylläpidon tiedot yhtenä kokonaisuutena, jonka avulla tiedon hyväksikäyttö ja hallittavuus on helpompaa ja näin palvelee hankkeen koko elinkaarta paremmin. Kuvassa 1 on kuvattu tietomalliin koottua tietoa suhteessa hankkeen elinkaareen. /1/3/4/





Kuva 1 Tuotetietomalli ja elinkaari. /4/

### 3.2 Tietomallintaminen rakennushankkeessa

Kun puhutaan mallintamisesta rakennushankkeessa, ymmärretään se vielä helposti suunnitelmien toteuttamiseksi 3D -mallintamista hyväksikäyttäen. Tieto- tai tuotemallintaminen on käsitteenä hyvin paljon laajempi kokonaisuutta kuin pelkkä suunnitelmien mallintaminen kuten kuvasta 1 voidaan havaita. Suunnitelmien tuottamisessa mallintamalla puhutaan vain yhdestä tietomallin osa-alueesta, joka palvelee pääosin rakentamisvaihetta koko elinkaariketjussa.

Hanketta voidaan lähteä toteuttamaan tietomallia hyväksi käyttäen. Hankkeesta voidaan toteuttaa osia tai sen kaikki vaiheet aina tarveselvitystasolta toteutukseen ja ylläpitoon voidaan toteuttaa tietomallia hyödyntäen. Tietomallia käyttämällä hankkeessa voidaan saavuttaa hyvinkin suurin hyötyjä hankkeen elinkaaren eri vaiheissa kun tietoa kootaan hallitusti niin, että se on helposti käytettävissä hankkeen eri vaiheissa.

Rakennushankkeita on hyvin erilaisia. Jotkin hankkeet saattavat olla hyvin nopeita aikataulultaan tarveselvitysvaiheesta käyttö- ja ylläpitovaiheeseen. Kun taas joissakin infrahankkeissa voi valmistelevat vaiheet kestää vuosia tai vuosikymmeniä, jonka jälkeen rakentaminen voi viedä vielä useita vuosia ennen kuin hanke on siirtynyt käyttö- ja ylläpitovaiheeseen. Tällaisissa pitkän aikajänteen hankkeissa tietomallintaminen hanketasolla tarjo-

aa hyvän työalustan hankkeen tietomassan hallinnoimiselle, säilyttämislle sekä siirtämislle eri hankevaiheista toiseen. /1/3/5/

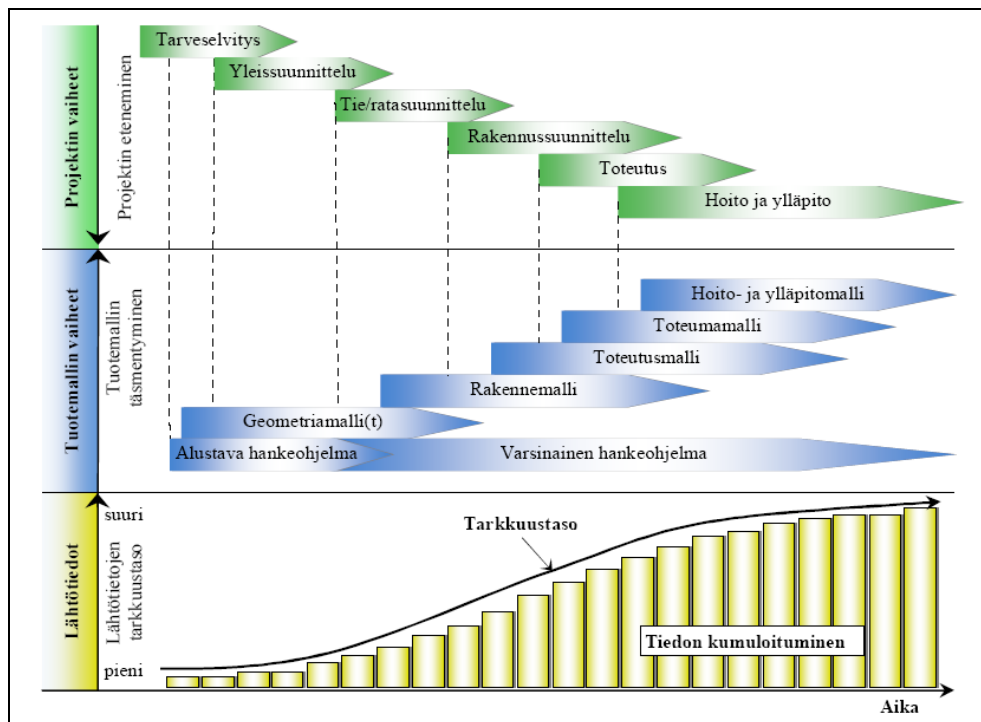
Tietomalleja pystytään käyttämään hyväksi monella eri tasolla. Kun hankkeella on päädytty hyödyntämään mallipohjaista tiedonkäsittelyä, on ensiarvoisen tärkeää, että mallipohjainen tiedon käsittely koetaan mielenkiintoiseksi ja hyödylliseksi tavaksi parantaa hankkeen tehokkuutta, tiedonvälitystä sekä yhteistyötä. Hankkeen alussa tulee arvioida ja pohtia niitä seikkoja, joita tietomallintamisen avulla hankkeella pyritään parantamaan. Jos tietomallintamisen käytön hyötyjä arvioidaan hankkeella saatavilla euromääräisinä kustannushyötyinä, voidaan todeta, ettei tietomallintaminen ole vielä tällä hetkellä sellaisella tasolla, että pienillä hankkeilla tällaisia hyötyjä olisi vielä selvästi mitattavissa. /5/

### 3.3 Tietomallintaminen väylähankkeessa

Väylähankkeissa tietomallintamisesta saatavia etuja voidaan tarkastella hyvin elinkaariyppisissä hankkeissa. Suuret väylähankkeet kestävät ajallisesti hyvinkin pitkiä aikoja, jolloin hankkeeseen liittyvän tietomäärä kasvaa helposti hyvin suureksi ja sitä kautta vaikeaksi hallita. Manninen on jakanut väylähankkeen tietomallin seuraaviin päävaiheisiin:

- alustavasta hankeohjelma
- suunnittelumallit (geometria- ja rakennemalli)
- toteutusmalli
- toteumamalli
- hoito- ja ylläpitomallista /6, s. 91/

Lähtötietomallin osalta Mannisen tutkimuksessa on lähtötietoja tarkasteltu luonteeltaan elinkaaren aikana asteittain täsmentyvinä tietoina, jolloin lähtötietomallia ei ole käsitelty erillisenä mallina määriteltäessä tietomallin päävaiheita /6, s. 91/. Pitkien aikajänteen sekä suuren mittaluokan hankkeissa usein tiedon hallinta asettaa omat haasteensa hankkeen edistyessä. Hankkeeseen liittyvissä organisaatioissa saattaa myös tapahtua erilaisia muutoksia hankkeen elinkaaren aikana. Näin hankkeen tietohallinta on tärkeässä osassa hankkeen onnistunutta läpivientä.



**Kuva 2** Hankkeen eri vaiheet, mallit ja tietomäärän kumulointuminen. /6, s.92/

Verrattaessa kuvan 1 mukaisesta tietomallin päävaihejakoa kuvassa 2 esitettyyn jakoon voidaan todeta, että Manninen on käsitellyt hankkeen alkusekä suunnitteluvaiheita tarkemmalla tasolla kuin kuvan 1 mukaisessa jaossa. Tarkastelemalla mallien osa-alueiden päävaiheita voidaan todeta, ettei niiden sisällössä ole ristiriitaa. Kuvan 1 mukaan tietomallin luomisen alkuvaiheet on kuvattu lähtötietojen kokoamisesta eteenpäin, jossa lähtötiedoiksi on määritelty hankeohjelmaan liittyvät määrittelyt. Mannisen on taas mallissaan kiinnittänyt huomiota hankkeen alkuvaiheeseen mallintamisen eri osa-alueiden jaossa.

### 3.4 Urakoitsija ja toteutusvaiheen tietomallit

Seuraavaksi keskitytään tarkastelemaan yksityiskohtaisemmin tietomallin osa-alueita, joiden kanssa urakoitsija joutuu työskentelemään toteutusvaiheen aikana. Vaikka edellisessä kappaleessa käytiin läpi Mannisen tietomallin päävaiheita, tarkastellaan tässä kappaleessa tietomallin osamalleja rakentamisen näkökulmasta, jolloin tarkastelussa on mukana lähtötietomalli, rakennemalli, toteutusmalli sekä toteumamalli.

## **Lähtötietomalli**

Lähtötietomalli pitää sisällään laajan joukon hankkeelle tehtyjä määrittelyksiä. Malliin on voitu koota hankkeen eri rajaehdoja sekä sille asetettuja tavoitteita. Tällaisia rajapintoja yleisesti ovat ympäristöön liittyvät rekisteritiedot kuten paikkatiedot, kaavat, kiinteistöt sekä ympäröivä rakennettu infrastruktuuri. Lisäksi mallin tärkeitä ominaisuuksia ovat sijaintiin liittyvät ja rakenneratkaisuja ohjaavat ominaisuudet kuten maasto-, topografia ja pohjatutkimustiedot. Myös hankkeen tavoitteiden määrittelyyn liittyvät seikat kohde-  
tuvat lähtötietomalliin. /4/6/7/8/

Urakoitsijalle toteutuksen näkökulmasta tärkeimpiä lähtötietomallista saatavia tietoja ovat maastomalli, pohjatutkimustiedot, mahdollisesti maaperämalli sekä niiden tietojen paikkansa pitävyys. Jos hanke tullaan toteuttamaan mallipohjaisena rakentamisena, ovat lähtötietomallin tiedot erityisen tärkeitä urakoitsijalle koska ne ovat rakenne- sekä toteutusmallin lähtö- ja vertailuaineistoa, joiden perusteella toteutusvaiheen ratkaisuja valitaan.

## **Rakennemalli**

Rakennemalli on suunnittelijan tuottama väylän lopullista muotoa kuvaava malli. Rakennemalli on geometriamallista täsmentynyt tietomallin osamalli, joka toimii lähtötietona rakentamiselle. Rakennemalli pitää sisällään väylälle asetetut toimivuus ja tekniset vaatimukset sekä rajapinnat ja -ehdot liittymisessä ympäristöön. Rakennemallissa tarkastellaan väylän massaoptimointia sekä rakenneratkaisuja ja määritellään jo hyvin pitkälle hankkeen kustannukset. Rakennemallia laadittaessa tehdään myös ratkaisuja, joilla on vaikutusta muun muassa toteutusvaiheen aika- ja resurssisuunnitteluun, työmaalogistiikkaan, mittaustekniikoihin sekä mahdollisesti käytettäviin koneohjaustekniikoihin. /4/6/7/8/

## **Toteutusmalli**

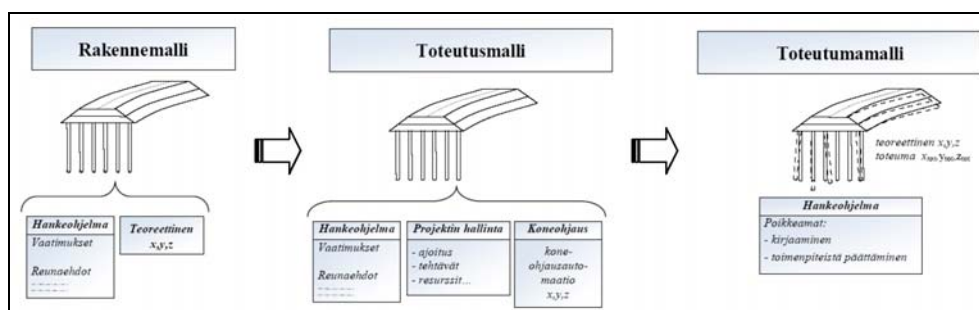
Toteutusmalli on väylän teorettinen malli /6, s. 94/. Toteutusmallia voidaan myös pitää työmaan teorettisena mallina, jonka toimii koneohjausmallin lähtötietona. Toteutusmalli ei kuitenkaan ole pelkkä suunnitelmamalli, vaan toteutusmallin kautta voidaan jo ohjata rakentamisprosessin massatalousuunnittelua, aikataulu- ja työsuunnittelua, tehtävä- ja resurssisuunnittelua. Käytettäessä työmaalla työmaa-automaatiota koneohjausjärjestelmien kautta

toteutusmallia voidaan pyrkiä käyttämään kaksisuuntaisena tehostamaan toteutusta. Pyrittäessä kaksisuuntaisuuteen toteutusmallin hyödyntämisessä, koneohjausjärjestelmiä käyttämällä voidaan tuottaa suunnittelijalle rakentamisen aikana tarkentuvaa lähtötietoaineistoa, jolloin toteutuksen reagointi muutoksiin esimerkiksi pohjaolosuhteiden osalta voi olla reaaliaikaista online tyyppistä tietojen vaihtoa. /4/6/7/8/

### Toteumamalli

Toteumamalli kuvaa toteutuneen lopputuotteen rakennetta. Toteumamalli voidaan ajatella työn aikaisten sekä loppumittausten loppudokumenttina, johon on koottu yhteen kaikki toteutuksen aikana tehty laadunvarmistusmittausaineisto. Vertaamalla toteumamallia toteutusmalliin ja huomioimalla rakenteille asetetut toleranssit voidaan arvioida lopputuotteen laatua. Laadunvarmistusmittausten lisäksi vertailemalla muun muassa mallien massa-, aikataulu-, resurssitietoja voidaan arvioida hankkeen toteutusta laajemmin kuin vain toteutuneen väylän geometrian vastaavuudella suunniteltuun geometriaan. /4/6/7/8/

Otettaessa koneohjausjärjestelmät käyttöön hankkeella pystytään mallien avulla toteumaa seuraamaan reaaliaikaisella tasolla. Jos hankkeella käytössä olevat koneohjausjärjestelmät tukevat laadunvarmistusmittausten tekemistä automaattisesti koneiden avulla työn edetessä ei erillisiä mittaustoimenpiteitä välttämättä tarvita. Tällöin todennäköisesti pystytään vaikuttamaan myös tuotantotehokkuuteen koska voidaan ajatella, että toteutettavat rakennustoimenpiteet saadaan tehtyä kerralla valmiiksi alusta loppuun yhdellä työvaiheella aina loppudokumentiksi saakka.



**Kuva 3** Tietomallin täydentyminen rakennemallista toteumamalliksi. Muokattu lähteestä: /6, s. 94-96/

### 3.5 Laadunvarmistusmittaukset väylähankkeessa

Tierakenteelle on yleisesti asetettu kahdenlaisia laadullisia vaatimuksia. Toimivuusvaatimuksissa määritellään tien ominaisuuksia, kuten esimerkiksi että tien pinnan tulee olla tasainen ja säilyttää tasaisuutensa ja ehjyytensä suunnitellunkäyttöään. Lisäksi tien ei saa olla haitallisen liukas ja se tulee varustaa liikennettä ohjaavilla ja tukevilla varusteilla ja laitteilla /9/. Toimivuusvaatimusten lisäksi tielle on asetettu teknisiä vaatimuksia. Teknisissä vaatimuksissa on esitetty tien rakentamiseen ja lopputuotteeseen liittyviä teknisiä vaatimuksia kuten materiaali-, mitta- ja tiiviysvaatimuksia, jotka tien tulee täyttää. Näissä teknisissä vaatimuksissa määritellään myös tässä tutkielmassa käsiteltävät laatuvaatimusmittausten tarve sekä mittauksissa tarkastettaville rakenteille sallitut poikkeamat suunnitelmista.

Tien geometrian tarkastamiseksi tehtäviä mittauksia suoritetaan kaikista tien rakentamiseksi tehtävistä maa-, pohja- ja kalliorakenteista, päällyys- ja pintarakenteista, järjestelmistä sekä rakennusteknisistä rakennusosista. Kaikille rakennustoille, rakenteille, järjestelmille sekä rakennusosille on määritelty omat tarkkuus- ja tasaisuus sekä poikkeamarajat suunnitelmaan nähden. Kun tarkastellaan tien geometrian toteutukseksi tehtäviä laadunvarmistusmittauksia tulee rakenteiden valmiit kerrokset InfraRYLin mukaisesti mitata 20 metrin välein tielinjalta. Mittauksilla tarkastetaan rakennettavien pintojen korkeustaso-, sijainti-, kaltevuus- sekä leveystietojen toteuma rakennussuunnitelmaan nähden. Seuraavissa kuvissa on esitetty esimerkkeinä maa-leikkaukselle, suodatinkerrokselle sekä kantavalle kerrokselle asetettuja vaatimuksia suhteessa suunnitelmaan, joiden toteutumista laadunvarmistusmittauksin seurataan.

Infra RYL « takaisin	
Taulukko 16110:T1. Maaleikkaustöiden tarkkuus- ja tasaisuusvaatimukset.	
Tarkasteltava rakenne	Tarkkuusvaatimus, mm
Leikkausluiskien taitepisteiden sijainti vaakasuunnassa	0...+ 200
Leikkauspohjan korkeustaso rakennekerrosten alla, yksittäinen poikkeama <sup>1)</sup>	0...- 100
Ojan pohjan sijainti vaakasuunnassa	± 150
Ojan pohjan korkeustaso <sup>2)</sup>	0...- 100
<sup>1)</sup> Louhepatjan alla 0...- 200 mm	
<sup>2)</sup> Ojan pohjalle ei saa syntyä yli 50 mm syviä lammikoita.	
Luiskapinnat tehdään suoriksi tasoiksi pyörityksiä lukuun ottamatta siten, että pinnoille ei jää epätasaisuutta eikä hoitoa haittaavia kiviä.	
Verhoiltavia luiskia leikattaessa otetaan huomioon verhouksen vaatima työvara. Nurmetuksen kasvuulustaa vaaditaan mainitun louhintatapauksen lisäksi nurmikoilla A1...A3 ja maisemanurmi 2 -alueella. Maaluisassa olevat lohkaheet ja liikenteelle vaaralliset kalliokohoumat poistetaan verhouksen kasvuulustan edellyttämään syvyyteen.	
Nurmikko A3 ja maisemanurmi 1 -alueiden sekä nurmetettävien näkemäleikkausten ja muiden suunnitelma-asiakirjoissa erikseen osoitettujen alueiden tulee täyttää koneellisen niiton asettamat vaatimukset. Niitoalueella tasaisuusvaatimus on 50 mm 3 m:n matkalla. Muualla riittää huolellista kaivutyötä vastaava tarkkuus.	
« takaisin	

Kuva 4 Maaleikkaustöiden tarkkuus- ja tasaisuusvaatimukset. /9/

Infra RYL « takaisin	
Taulukko 21110:T1. Suodatinkerroksen sallitut poikkeamat.	
	Sallittu poikkeama
Tasosijainti	
Tasosijainnin poikkeama vaakasuunnassa	- 0 / + 150 mm
Taso	
Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	± 40 mm
Yksittäisen poikkeaman muutos	50 mm / 20 m
Tason keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	± 20 mm
Kaltevuus	± 1,5 %-yksikköä
« takaisin	
Infra RYL « takaisin	
Taulukko 21310:T3. Kantavan kerroksen sallitut poikkeamat.	
Ominaisuus	Sallittu poikkeama
Rakenteen yläpinnan tasosijainti	
Poikkeama vaakasuunnassa	- 0/+ 150 mm
Em. poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	100 mm
Rakenteen yläpinnan korkeustaso	
Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan <sup>1)</sup>	± 20 mm
Yksittäisen poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	20 mm
Keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	± 10 mm
Rakenteen yläpinnan kaltevuuden poikkeama	± 0,5 %-yksikköä
Tasaisuus 3 m:n oikolaudalla mitattuna	12 mm
<sup>1)</sup> Tähtäysmerkkien ja mittakepin avulla mitataan poikkeama kohtisuoraan pintaa vasten, mutta takymetrimittauksessa poikkeama pystysuuntaan.	
« takaisin	

Kuva 5 Suodatinkerroksen sallitut poikkeamat. /9/

Näiden vaatimusten toteutumista tulee seurata ja dokumentoida ne rakennustyön aikana. Väylän valmistuttua lopputuotteesta kootaan laadunvarmistusdokumentit, jotka pitävät sisällään väylästä tehdyt laadunvarmistusmittaukset. Kuten edellä kuvatuista mittauksista voidaan todeta, on InfraRYLin mukaisesti tehtyjen laadunvarmistusmittausten tuloksena saatu dokumenttien määrä valtava. Useiden kilometrien tai kymmenien kilometrien matkalta saatujen mittaustulosten määrä on lukematon. Usein onkin käynyt niin, että tehtyjen mittausten hyödyntäminen on jäänyt heikolle tasolle koska dokumentoitua materiaalia on ollut niin paljon, ettei sen käsittely perinteisin menetelmin ole tuntunut järkevältä eikä hyödylliseltä tehtävältä. Dokumentteja on kerätty työn aikana kansioihin tai tiedostoihin ja ne on liitetty luovutusaineistoon hankkeen valmistuttua. Tämän tyyppisten dokumenttien hyödynnettävyys käyttö- ja ylläpitovaiheessa on ollut erittäin työlästä, jonka takia dokumentit ovatkin jääneet helposti arkistoihin odottamaan hetkeä, jolloin jokin erityinen syy vaatii tietojen etsimistä ja tarkastamista.



## 4 Väylärakentaminen ja koneautomaatio

### 4.1 Yleistä

Vaikka koneautomaatiojärjestelmien käyttö ei vielä tällä hetkellä ole laajalle levinnyt Suomessa voidaan jo tänä päivänä lähes kaiken tyyppiset maarakentamisen työkonet varustaa koneautomaatiojärjestelmillä. Suomessa ollaan tällä hetkellä koneohjauksen laajemman käyttöönoton kynnyksellä ja käynnissä olevilla tutkimushankkeita ja piloteilla selvitetään koneautomaatiojärjestelmien, suunnitelmallien tuottamisen sekä niiden väliseen tiedonsiirron toteuttamista. Jo tänä päivänä pitkälle kehittyneimmillä järjestelmissä kone osaa itsenäisesti ohjata työstötä 3D -suunnitelmamallin sekä 3D -paikannuksen avulla. Oleellisimpia hyötyjä, joita koneautomaatiojärjestelmien käytöstä on saatavilla, on laadulliset sekä taloudelliset hyödyt. Laadun tarkastukseen saadaan uutta tehokkuutta kun uusia teknologioita käytetään hyväksi. Kun koneautomaatiojärjestelmiä ja suunnitelmamalleja hyödynnetään rakentamisessa, vastuu työkonen ohjausmallin virheettömyydestä siirtyy aikaisempaa enemmän suunnittelijalle. /10/11/

### 4.2 Koneohjausjärjestelmät tuotannon ohjauksessa

Koneohjausjärjestelmien käytön perusta työmaalla lähtee mallintavasta suunnittelusta. Koneohjausjärjestelmien onnistunut hyödyntäminen edellyttää suunnitelmamallien lisäksi hankkeesta laadittua maastomallia sekä mahdollisesti maaperämallia. Hyödyntämällä tuotettuja malleja ja vertaamalla toteutusta, koneohjausjärjestelmiä hyväksikäyttäen, voidaan työn aikana esiin tulevia muutoksia ennakoida entistä paremmin.

Koneohjausjärjestelmän avulla koneen kuljettaja pystyy toteuttamaan tarkasti suunnittelijan luoman mallin mukaiset rakenteet. Täysin automatisoitujen järjestelmien lisäksi voidaan käyttää työmaalla opastavia koneohjauslaitteistoja. Tavoitteena voidaan pitää, että uusia teknologioita hyödyntämällä

työn tehokkuutta saataisiin nostettua sekä työvirheiden määrä saataisiin vähentymään työmaalla.

Koneohjauksessa työkoneet ovat varustettu laitteistoilla, joilla pystytään ohjaamaan työkoneita toteutusmallin mukaisesti. Toteutusmalli siirretään koneohjausjärjestelmään koneohjausmalliksi, joka ohjauksella koneen kuljettaja pystyy työn suorittamaan. Kone opastaa ja ohjaa kuljettajaa. Koneen kuljettaja pystyy seuraamaan koneen näytöltä käsin toteutunutta suhteessa suunnitelmiin sekä maastoon. /10/11/

Koneohjausjärjestelmiä on saatavissa ainakin seuraaviin työkoneisiin:

- kuorma-autot
- pyöräkuormaimet
- puskutraktorit
- tiehöylät
- murskeenlevittimet
- stabilointijyrsimet
- kaivinkoneasfaltinlevittimet
- tiivistyskoneet
- lyöntipaalutuskoneet
- stabilointikoneet
- kallioporakoneet /10/

Tapauskohtaisesti tulee kuitenkin pohtia millaisia koneohjausjärjestelmän hyödyntämiseen liittyviä tavoitteita hankkeelle on asetettu ja millaisilla laitteistoilla näihin tavoitteisiin mielekkäästi on päästään.

### **4.3 Koneohjausjärjestelmien hyödyntäminen väylärakentamisessa**

#### **Massatalous ja massojen siirrot**

Pohdittaessa koneautomaation hyötyjä väylärakentamisessa tulee ensimmäisenä esiin miten järjestelmää pystytään hyödyntämään massatalouden sekä massojen siirtojen ohjaukseen. Massatalouden kustannusoptimointi kaikilta osa-alueilta voidaan katsoa kannattavaksi. Näin rakentamisen aikainen reagointi massojen käytön muutoksiin edellyttää urakoitsijalta seuranta- ja valvontaa toteutuksen aikana, jonka toteuttamisen tehokkaana työkaluna voi-

daan mallipohjaista rakentamista pitää. Ihanteellisessa tilanteessa suunnittelun ja urakoinnin välinen tietovirta olisi katkeamaton, jolloin ratkaisussa pystyttäisiin ottamaan huomioon tehokkuus näkökulmat entistä paremmin huomioon. /11/12/

### **Kustannusohjaus ja –tehokkuus**

Tarkkailtaessa järjestelmien avustuksella työkohteiden massamääriä pystytään massatalous- ja massansiirtosuunnitelmien avustuksella seuraamaan ja ohjaamaan rakentamisen aikaisia kustannuksia sekä vertaamaan niitä tavoittebudjettiin mukaisiin kustannuksiin. Edellisen lisäksi pystytään tehostamaan työtä vähentyneen paikalleen mittauksen sekä kontrollointi mittausten muodossa. Koneohjauksen myötä koneen kuljettajan kiinnostus ja vastuu omasta työstään saadaan kasvamaan ja näin tuotettua uutta lisäarvoa hankkeelle. Työn tehostumisesta tehtyjen tutkimusten mukaan työkoneiden kapasiteettien kasvut voivat olla merkittäviä. Esimerkiksi Caterpillarin toimesta tehdyssä tutkimuksessa havaittiin kapasiteetin kasvua tiehöylällä 90 %, kaivinkoneella 30 % ja asfaltinlevittimellä 0-20%. Caterpillarin tutkimuksen havaintoja tukee myös Puolan A1 -tiehankkeella tehdyt havainnot, jotka olivat saman suuruisia kuin Caterpillarin omassa tutkimuksessaan saamat tutkimustulokset. /10/11/

### **Aikataulujen hallinta**

Koneohjauksen tuomia aikataulujen seuraamisen hyötyjä saadaan seuraamalla työn edistymistä osoittavia määriä. Työkoneiden tekemien määrien seuranta antaa toteumatietoa, jota voidaan verrata tehtyihin toteutuksen aikatauluihin. Aikataulujen pitävyyttä pystytään näin tarkastelemaan reaaliaikaisesti, jolloin hankkeen edistymisen ennakoimisen mahdollisuudet paranevat. Näin pystytään paremmin varautumaan työnaikaisten muutosten vaikutuksiin hankkeella ja tekemään tarvittavia optimointeja toteuman perusteella. Hankkeen valmistumisajankohtaan liittyviä epävarmuustekijöitä saadaan näin paremmin hallintaan ja mahdollisiin yllättäviin tilanteisiin pystytään näin mahdollisimman nopeasti ja joustavasti reagoimaan. /10/

## **Laadunvarmistus**

Laadunvarmistusta käsitellään tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

Yleisesti voidaan todeta, että mallipohjainen toteutustapa vaatii hankkeen kaikkien osapuolten sitoutumista valittuun toimintatapaan. Mallipohjaisen toteutuksen välineiden yleistymisen kautta sekä suunnittelussa että toteutuksessa ja ylläpidossa voidaan tulevaisuudessa saavuttaa huomattaviakin hyötyjä. Hyötyjä voidaan saavuttaa kaikilla toteutuksen osa-alueilla, aina laadukkaammasta suunnittelusta laadukkaampaan lopputuotteeseen, joka on toteutettu kustannustehokkaalla tavalla. Ja jonka käyttö sekä ylläpito pystytään toteuttamaan väylän elinkaari huomioiden tehokkaasti ja laadukkaasti.

### **4.4 Koneohjausjärjestelmät laadunvarmistuksessa**

Laadunvarmistuksen tavoite on ehkäistä virheiden syntymistä. Yksi koneohjauksen suuria hyötyjä voidaan nähdä työn tarkkuuden parantumisena. Tällä hetkellä koneohjauksen mittausjärjestelmien tarkkuudessa pystytään pääsemään  $\pm 1-3$  cm tarkkuuteen /11/. Jotta koneohjausjärjestelmien paikalleen mittaustarkkuuteen voidaan luottaa, tulee niitä seurata ja kontrolloida jatkuvasti. Jos koneissa käytetään automatisoituja työstön ohjausjärjestelmiä, tulee myös niitä seurata ja tehdä kontrollimittauksia laitteiden tarkkuuden varmistamiseksi. /10/

Otettaessa huomioidaan koneohjausjärjestelmien toleranssit ja verrattaessa niitä rakenteille asetettuihin tarkkuusvaatimuksiin voidaan todeta, että käytettävät toleranssit tulisi olla tiukempia kuin lopputuotteelle asetetut sallitut poikkeamat. Lisäksi tulee huomioida lopputuotteen eri rakenneosilla olevat toisistaan poikkeavat laatuvaatimukset. Huomioitaessa edellä mainitut tekijät tulee rakenneosien toteutukseen valittava kone sekä koneen ohjausjärjestelmä olla soveltuva rakenteelta vaadittuun tarkkuustasoon, joka koneella pystytään saavuttamaan. /10/

## 5 Case Vt8 Kotiranta – Stormossen

### 5.1 Vt8 Kotiranta – Stormossen –hanke

Vt8 parantaminen välillä Kotiranta – Stormossen sisältää moottoritien rakentamista noin 8 kilometriä. Hanke on alkanut vuonna 2011 ja se valmistuu syksyllä 2013. Moottoritie käsittää 2+2 kaistaista moottoritietä, 4 eritasoliittymä, 10 siltaa ja lisäksi 2 tien yhteyteen rakennettavaa kiertoliittymää. Hanke toteutetaan STKU –urakkana, jossa tilaaja on tarjouspyyntövaiheessa toimittanut rakennussuunnitelman. Urakkamuodossa urakoitsijalla on velvollisuus tarkastaa tilaajan rakennussuunnitelma sekä oikeus halutessaan muuttaa tilaajan suunnitelmaan ST –urakoiden toteutusmallilla. Hankkeella pääurakoitsijana toimii Skanska Infra Oy ja suunnittelusta vastaa Ramboll Finland Oy:n Oulun toimisto.

Hankkeella on käynnistetty pilotointi tietomallintamisen hyväksikäytön kehittämiseksi väylärakentamisessa. Pilotointi kuuluu RYM PRE – tutkimusohjelman Infra FIMBIM –työpakettiin, jonka tavoitteena on tuottaa infra-alalle muutos, jossa siirrytään perinteisestä vaiheajattelusta älykkääseen koko elinkaaren kattavaan tietomalleja hyödyntävään palvelutuotantoon. ”Pilotin tavoitteena on luoda järjestelmällinen tapa siirtää mallitietoa kahteen suuntaan suunnittelun ja tuotannon välillä reaaliaikaisesti” /13. s. 2/. Lisäksi tavoitteena on tutkia rakennussuunnittelun ja toteutusmallin sekä toteutumien mittaamisen ja tarkastamisen kehittämistä. /13/

### 5.2 Tietomallit, niiden hyödyntäminen ja koneohjaus hankkeella

Hankkeella on alkuperäinen maastomalli luotu ilmakuvaamalla hankealue. Maastomallia on täydennetty kartoitusmittauksin. Hankkeen kaikista suunnittelun osa-alueista laaditaan geometriamallit, jotka tuotetaan tuotannon tueksi ja lopputuotteen dokumentoimiseksi.

Suunnittelijan hankkeesta luomaa mallia hyödynnetään tuotannossa koneohjausjärjestelmien kautta. Hankkeella työkoneet on tarkoitus määritellyssä laajuudessa varustettu koneohjauslaitteistoilla, joiden avulla tuotantoa ohjataan ja dokumentoidaan rakentamisen aikana. Hankkeen lopussa lopputuotteen geometria dokumentoidaan laserkeilaamalla väylä ja laatimalla aineistosta lopputuotemalli. Tilaajalla on tarkoitus seurata takuuajana sekä mahdollisesti takuuajan jälkeenkin väylän rakenteiden muodonmuutoksia lopputuotemallin avulla.

### Maasto- ja maaperämallit

Hankkeella on toteutettu edellä kuvatulla tavalla maastomalli koko hankealueesta. Lisäksi suunnittelun ja rakentamisen tueksi on laadittu kallio- sekä savimalli. Kallio- ja savimallit on laadittu pohjatutkimuskairausten pohjalta.

Hankkeen alussa on maastomallista tehty tarkastusmittaukset. Tarkastusmittauksessa kartoitettiin neljässä eri kohteessa maanpinta takymetrimittauksena, jonka lähtöpisteinä käytettiin pääsääntöisesti GPS –mittauksella merkityjä pisteitä sekä mittausalueen läheisyydessä sijainneita kiintopisteitä. Tarkastuskohteet olivat 100-500 metriä pitkiä osuuksia tielinjalta. Tarkastusmittauksista tehtyä mallia verrattiin alkuperäiseen maastomalliin. Tarkastusmittausten perusteella lähtöaineistona ja –tietona olevassa maastomallissa havaittiin poikkeamia. Poikkeamat vaihtelivat eri osuuksilla. Poikkeamat olivat tarkastusalueella olevia pisteittäisiä heittoja tai koko aluetta yleisesti kattavia, jolloin koko tarkastettava alue oli keskimäärin tietyn verran ylhäällä tai alhaalla lähtötietona olleeseen maastomalliin verrattuna. Tarkastuksensa tehtyjen havaintojen pääkohdat on koottu taulukkoon 1. /14/

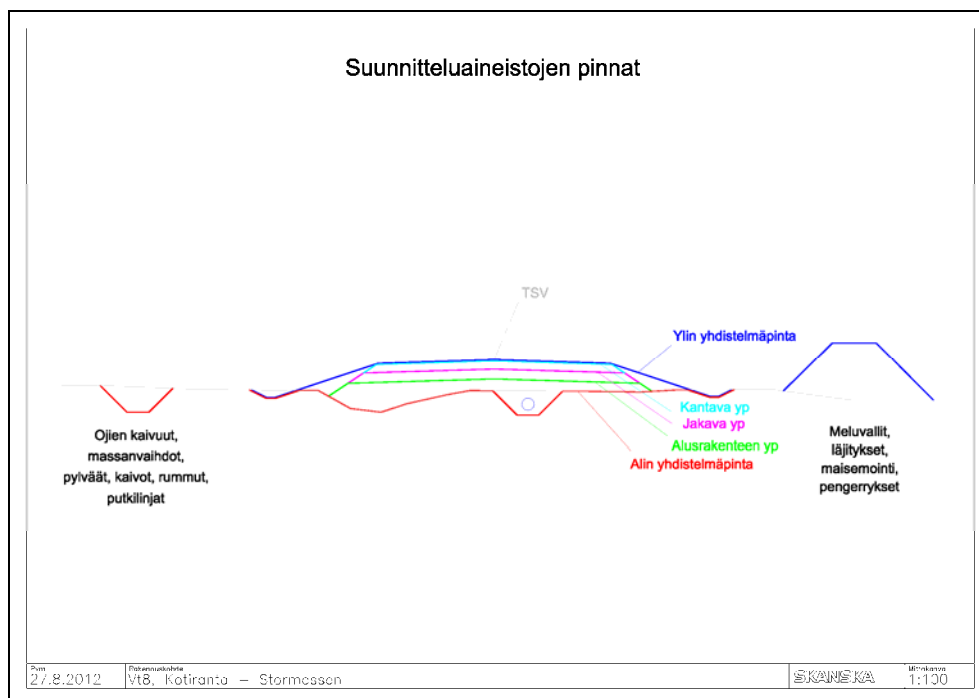
Plv	poikkeama, mm	vaihteluväli, mm	huom.
1900-2000	ka. alle 10	± 300	
2700-3000	ka. 120 mm	-280 - +80	alhaalla
4800-5300	ka. 20 mm	-200 - +130	alhaalla
7000-7300	ka. 50 mm	± 300	ylhäällä

**Taulukko 1** Maastomallin tarkastusmittausten tuloksien yhteenveto. /14/

Hankkeesta laadittuja kallio- ja savimallia ei enakkoon pystytä tarkastamaan mutta työaikana paljastunut kalliopinta tarkemmitataan ja mittaustulosten perusteella laaditaan toteumamalli. Savimallista laaditaan myös toteumamalli työn aikana mitattujen saven pintatietojen perusteella.

## Toteutusmalli ja koneohjausmalli

Hankkeella suunnittelijat tuottavat rakentamista varten geometriamallit tien rakenteista. Työmaalla suunnittelijalta tulevat toteutusmallit muokataan koneohjausjärjestelmille. Kuvassa 6 on esitetty malliaineistojen pinnat, jotka suunnittelijat tuottavat työmaalle ja työmaan mallikoordinaattori tarkastaa ja tuottaa koneohjausmalliksi rakentamista varten.



**Kuva 6** Koneohjausjärjestelmään vietävät tietomallipinnat VT8 hankkeella.

Alin yhdistelmäpinta toimii hankkeella maaleikkauksia ja täyttötöitä ohjaavana pintamallina. Väylän rakennekerroksista on laadittu omat pintamallit, jotka ohjaavat rakentamista. Ylin yhdistelmäpinta on väylän lopullisen geometrian tuottava pintamalli. /15/

## Koneohjausjärjestelmät hankkeella

Hankkeella on koneohjausjärjestelmät olleet tuotannollisessa käytössä pohjanvahvistuskoneissa sekä yhdessä kaivinkoneessa tämän tutkielmatyön aikana. Lisäksi hankkeella on tavoitteena varustaa useampi maanrakennuskone koneohjausjärjestelmällä, jotta pilotilla tavoiteltavia kokemuksia saataisiin hankkeelta riittävästi.

Koneohjausjärjestelmän avulla tehtävässä tuotannossa voidaan ohjaustavat jakaa opastaviin, koordinoiviin tai automaattisiin järjestelmiin, joilla tuotantoa suoritetaan ja dokumentoidaan. Hankkeella käytettävät ohjausjärjestelmät ovat opastavia, joissa koneet opastavat kuljettajiaan toteuttamaan rakenteet oikeaan paikkaan ja oikeaan tasoon. Lisäksi järjestelmän avulla toteutetaan laadunvarmistusmittaukset työn toteutuksen yhteydessä. /15/

### **5.3 Koneohjausjärjestelmän kautta tehtävä laadunvarmistus hankkeella**

#### **Laadunvarmistuksen periaatteet**

Laadunvarmistuksen perimmäinen tavoite on varmistaa lopputuotteen toimivuus. Lopputuotteen laatuun vaikuttavia tekijöitä on useita. Käytettävien mallien oikeellisuus tulee tarkastaa sekä käytettävien koneiden tarkkuus tulee varmistaa, jonka jälkeen koneiden tuottamaan dokumentaatioon tulee tukeutua. Lisäksi toteumaa tulee arvioida silmämääräisesti jatkuvasti. Koneiden tarkkuutta tullaan kontrolloimaan pistokoneilla. Hankkeella tehdään dokumentointimittauksia koneohjausjärjestelmiä hyväksi käyttäen. Lisäksi dokumentteja täydennetään tarvittaessa tekstein ja kuvin. Tarkemittauksia tehdään valituista kohteista ja paikoista. Väylän lopullinen pinta laserkeilataan tai ilmakuvataan mutta erillistä toteumamallia ei hankkeelta tehdä vaan muutokset ja toleranssit ylittävät poikkeamat viedään toteutusmalliin, joka tulee jäämään hankkeen lopulliseksi laadunvarmistusmittausaineistoksi. /15/

#### **Mallin tarkastaminen**

Suunnittelijoiden toteuttamat mallit tarkastetaan työmaalla mallikoordinaattorin toimesta samassa yhteydessä kun toteutusmallit muunnetaan koneohjausjärjestelmillä hyödynnettäviksi koneohjausmalleiksi. Tarkastuksessa mallia verrataan mittalinjaan, pituusleikkaukseen ja päällysrakennetaulukoihin. Mallikoordinaattorin tekemän tarkastuksen lisäksi myös jokainen työntekijä omalta osaltaan arvioi mallia ja omaa työtään työn edetessä. /15/

#### **Konekohtainen laadunhallinta**

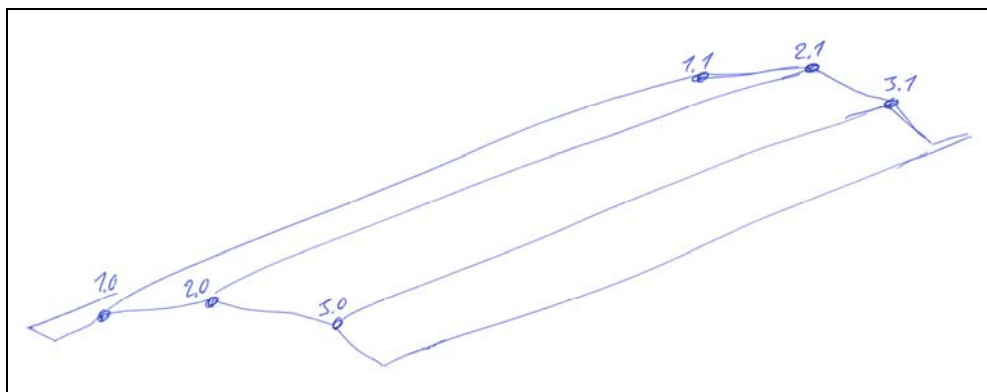
Konekohtainen laadunhallinta pyritään varmistamaan konekohtaisilla kalibroinneilla sekä tarkastuksilla. Kun koneeseen asennetaan koneohjausjärjestelmä se kalibroidaan asennuksen yhteydessä. Lisäksi kalibrointi tehdään



huoltojen tai yli 4 viikon tauon jälkeen. Työkoneiden tarkkuuden seuranta suoritetaan päivittäin käyttämällä koneen työstöväline kerran päivässä kontrollipisteellä. Koneen kontrollimittauksen tulos dokumentoidaan järjestelmään. Lisäksi esimerkiksi kaivinkoneelle on kaikille käytettäville kauhoille ja purkulevyille tehty oma kalibrointi. /15/

### Toteuman laadunvarmistus

Hankkeella toteutetaan pääosa laadunvarmistuksen toteumamittauksista koneohjausjärjestelmien kautta. Työkone suorittaa päivittäin työkohteesta yhden kohde- ja rakennekohtaisen mittauksen. Lisäksi mitataan määritellyn työkohteen, esimerkiksi ajorata paaluvälillä 2000-2500, osalta kuvassa 7 esitetysti rakenteen taitepisteiden linjojen päät. Kun työkoneella on käyttöönottovaihe meneillään tehdään koneen työalueella ensimmäisen viikon aikana tarkemittauksia noin 2-3 kpl/20 m ajorata-metri koneen kalibroinnin onnistumisen varmistamiseksi.



**Kuva 7** Havainnekuva rakenteen taiteinjojen päiden toteumamittauspisteistä.

Tarkemittauksia suoritetaan työkoneilla tehtyjen laadunvarmistusmittausten lisäksi kohde- ja rakennekohtaisesti 1 mittausta / 500 m ajorataa. Lisäksi tarkemittaukset suoritetaan liittymistä, jotta liittymien oikea geometria sekä sijainti voidaan varmistaa.

Edellä kuvattujen väylän geometrian todentamiseksi tehtävien mittausten lisäksi hankkeella toteutetaan putkilinjakohtaiset sekä massanvaihtojen laajuuden määrittämiseksi tehtävät mittaukset koneohjausjärjestelmiä hyväksikäyttäen.

## 5.4 Kokemuksia hankkeelta

Kun hanke on edennyt puoleen väliin, on työmaalla saatu kokemuksia tiedonsiirrosta eri järjestelmien välillä, maasto- sekä kallio- ja savimallien tarkkuuksista, koneohjausjärjestelmien toiminnasta pohjanvahvistuskoneissa ja kaivinkoneessa.

Suurimmat haasteet koneohjausjärjestelmien käytössä ovat aiheuttaneet tiedonsiirrot eri järjestelmien välillä. Suunnittelusta tulevien mallien siirtäminen koneohjausjärjestelmiin on aiheuttanut tietomallikoordinaattorille ennakoitua enemmän työtä, jotta on voitu varmistua, ettei tuotantoon menevissä malleissa ole virheitä. Koneohjaukseen tehdyissä yhdistelmämallissa on havaittu virheitä, joita ei välttämättä tuotannossa ole edes mahdollista huomata niiden koosta johtuen. Osa tällaisista virheistä on pieniä, joilla ei ole merkitystä lopputuotteen laatuun mutta osa taas on jo selkeästi toleranssit ylittäviä virheitä.

Pohjanvahvistuskoneissa käytetyistä järjestelmistä on jo aiempia hyviä kokemuksia ja ne ovatkin yleistyneet miltein koneiden perusvarusteiksi. Työmaalla on toistaiseksi saatu vasta yksi kaivinkone varustettua ohjausjärjestelmällä. Mutta koneelle ei ole saatu vielä tuotettua ja siirrettyä tuotannon vaatimustason tarkkuuden täyttävää mallia. Jatkossa hankkeella on vielä tavoitteena varustaa kuusi lisäkaivinkonetta, yksi purkukone, yksi tiehöylä sekä yksi asfaltinlevitin koneohjausjärjestelmillä, jotta saataisiin riittävän kattavaa tietoa lopullisten arviointien pohjaksi.

## 6 Johtopäätökset

Case hankkeella saatujen ensimmäisten kokemusten perusteella tiedonsiirtoon liittyvät asiat ovat nousseet suurimmaksi kompastuskiveksi toistaiseksi. Järjestelmien välistä tiedonsiirtoa ei sinällään käsitelty tässä tutkielmassa mutta tiedonsiirrossa mahdollisesti syntyvien virheiden vaikutusta laadunvarmistusmittauksiin ei tule unohtaa. Tällaiset tiedonsiirrossa syntyvät virheet ovat luonteeltaan systemaattisia ja ne tulevat esiintymään koko hankkeen aikana vaikuttaen tuotannon laatuun mikäli niitä ei huomata.

Case hankkeella on pohdittu hyvin kattavasti toimintatapoja, joilla laadunvarmistusta tullaan toteuttamaan hankkeella. Sinänsä työkoneille saatavat ohjausjärjestelmät sekä suunnittelun järjestelmät ovat varmasti jo hyvin toimivia teknisesti omissa ympäristöissään mutta niiden yhteistoiminta aiheuttaa vielä varmasti jonkin aikaa omat harminsa tuotannon sujuvalle käynnistämiseksi tietomallipohjaisena tuotantona.

Jotta tuotannon laatuun voidaan luottaa tulee koneiden tarkkuus olla hyvin tiedossa. Virheitä tuotannossa voivat aiheuttaa mallivirheet, laitteistoissa olevat systemaattiset virheet sekä yksittäiset toimintahäiriöt. Systemaattisen virheen suuruus tulee olla tiedossa määriteltäessä tietomallipohjaiselle toteutuksen toleransseja. Yksittäiset toimintahäiriöt ja niiden aiheuttamat virheet voidaan todeta helpommin tuotantotarkkuuden seurantamittauksin. Lisäksi tulee pohtia millaisia dokumentteja vaaditaan koneiden kalibroinneilta ja tarkkuuden seurantatoimenpiteistä.

Kun tiedonsiirron sekä mallien luotettavuus on varmistettu ja koneiden työ-tarkkuus on tiedossa, voidaan arvioida millaisia laatuvaatimuksia tietomallipohjaiselle väylärakentamiselle tulisi asettaa. InfraRYLissä on selkeästi määritelty eri rakennekerroksille sallitut toleranssit, joilla pyritään varmistamaan lopputuotteen toimivuus. Perinteisellä tavalla varmistetaan toimivuus teknisten toleranssien kautta mutta perinteinen tapa on todettu raskaak-

si ja työllistäväksi tavaksi hoitaa laadunvarmistus. Kun malleja käytetään tuotannon ohjauksessa voi erilaisia poikkeamia tuotannossa tulla väyläsuunnittelun absoluuttiseen sijaintiin nähden eri lähteistä. Todennäköistä kuitenkin on, että malliohjatussa toteutuksessa väylän geometria tulee tavoitelluksi vaikka rakenteiden absoluuttinen sijainti ei toleranssien sisällä vastaisikaan suunnitelmaa.

## 7 Lähteet

/1/ Penttilä H., Nissinen S., Niemioja S. 2006. Tuotemallintaminen rakennushankkeessa, yleiset periaatteet. Helsinki: Rakennustieto Oy. ISBN-13: 978-951-682-796-7

/2/ Mäkelä H. Infra TM –hanke: Infratietomalli vaikuttaa myös urakoitsijoiden toimintaan. Internet.  
<[http://www.infrary.fi/files/3539\\_HarriMkel\\_InfraTMhanke\\_urakpivt\\_030211korj.pdf](http://www.infrary.fi/files/3539_HarriMkel_InfraTMhanke_urakpivt_030211korj.pdf)> (luettu 10.7.2012).

/3/ Varjus J., Varis M., Penttilä H., Nissinen S. 2007. Tuotemallintaminen rakennesuunnittelussa. Helsinki: Rakennustieto Oy. ISBN 978-951-682-799-8.

/4/ Hyvärinen J. et. al. 2006. Infra-alan tuotetietomalliselvitys. Internet.  
<<http://www.infra2010.fi/Aineisto/tuotemalliselvitys.pdf>> (luettu 11.7.2012).

/5/ Valtonen P. 2011. Tietomallipohjainen projektisuunnitelma. Espoo: Aalto-yliopinto.

/6/ Manninen A-P. 2009. Väylähankkeen esisuunnitteluvaiheen kustannushallinta. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. ISBN 978-951-22-9970-6 (PDF).

/7/ Yli-Villamo H. Infra-alan on tehostettava liiketoimintaprosessiaan, esitys. Internet. <[http://www.ril.fi/media/files/yli\\_villamo.pdf](http://www.ril.fi/media/files/yli_villamo.pdf)> (luettu 10.7.2012).

/8/ Mäkelä H. Miten tietomalli tulee muuttamaan urakoitsijoiden ja suunnittelijoiden tapaa toimia. Internet.  
<[http://www.infrabim.fi/Tietomalli\\_muuttaa\\_toimintatavat.pdf](http://www.infrabim.fi/Tietomalli_muuttaa_toimintatavat.pdf)> (luettu 10.7.2012)

/9/ Rakennustieto. InfraRYL Net. <[www.rakennustieto.fi/kortistot/](http://www.rakennustieto.fi/kortistot/)> (luettu 24.9.2012)

/10/ Heikkilä R., Jaakkola M. 2005. Johdatus tierakentamisen automaatioon. Helsinki: Tiehallinto.

/11/ Eklöf O. 2011. Tietomalleista koneohjaukseen. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu.

/12/ Mäkinen J. 2007. Pääurakoitsijan massatalouden hallinta suunnittelua sisältävissä urakoissa. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.

/13/ Ratia K., Mäkelä A. 2011. Pilotointi Vt8 parantaminen välillä Kotiranta – Stormossen hankkeelle, projektisuunnitelma. Julkaisematon.

/14/ Pura H. 2012. VT8 Kotiranta – Stormossen, Maastomallin tarkastusraportti. Julkaisematon.

/15/ Ratia K. 2012. Mallia hyödyntävän tuotannon laadunvarmistus, Vt8 parantaminen välillä Kotiranta – Stormossen InfraFINBIM-pilotti. Monistesarja. Julkaisematon.