

Antti Kuusrainen

**OHJEIDEN LAADINTA TIETOMALLIPOHJASELLE
TOTEUTUSAINEISTOLLE RATARAKENTAMISESSA**

**OHJEIDEN LAADINTA TIETOMALLIPOHJASELLE
TOTEUTUSAINEISTOLLE RATARAKENTAMISESSA**

Antti Kuusrainen
Opinnäytetyö
Syksy 2018
Yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, yhdyskuntatekniikka

Tekijä: Antti Kuusrainen

Opinnäytetyön nimi: Ohjeiden laadinta tietomallipohjaiselle toteutusaineistolle ratarakentamisessa

Työn ohjaaja: Terttu Sipilä (OAMK), Jaakkola Sami (VR Track)

Syksy 2018

Sivumäärä: 74

Toteutusaineisto on suunnitelmadokumenteista urakoitsijalle laadittu aineisto, joka kattaa rakennushankkeen keskeiset tiedot. Nykyään osa toteutusaineistosta pyritään laatimaan tietomallipohjaisesti.

Opinnäytetyössä kuvataan toteutusaineiston ohjeistuksen laatimisen prosessia VR Track Oy:n tietomallipohjaisille hankkeille. Tavoitteena oli laatia ohjeet, joiden avulla suunnittelija hahmottaa, millaista tietomallipohjaista toteutusaineistoa työmaalla voidaan hyödyntää ja missä muodossa.

Mallipohjaisen infrarakentamisen teoriaan perehdyttiin pääosin liikenneviraston, Buildingsmart Finlandin sekä VR:n sisäisten materiaalien avulla. Työssä kartoitettiin haastattelujen ja kyselyjen avulla, miten urakoitsijat hyödyntävät tietomallipohjaista toteutusaineistoa työmaalla. Ohjelmistokohtaiset mallinnusohjeet laadittiin yhteistyössä VR Trackin tietomallikoordinaattoreiden sekä tietomallintamiseen perehtyneiden suunnittelijoiden kanssa.

Opinnäytetyössä VR Trackille laadittu ohjeistus voidaan tiivistää kolmeen pääosaan: yleisteoreettiseen osaan, mallinnuskortteihin sekä ohjelmakohtaisiin mallinnusohjeisiin, joista tähän työhön on koostettu oleellisemmat seikat. Yleisteoreettisessa osassa käsitellään tietomallintamista yleisesti keskittyen rakennussuunnitteluun ja toteutukseen. Mallinnuskortteihin koottiin haastatteluissa ilmi tulleet mallintamisen suositukset, joiden perusteella ohjelmakohtaiset ohjeet ovat laadittu.

Asiasanat: BIM, tietomalli, tietomallinnus, infrarakentaminen, suunnittelu, yhdyskuntatekniikka

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Municipal engineering, bachelor's degree

Author(s): Antti Kuusrainen

Title of thesis: Process of the BIM-Based Material for Railway Constructing Guidelines.

Supervisor(s): Terttu Sipilä (OAMK), Jaakkola Sami (VR Track)

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2018

Pages: 74

The purpose of this thesis is to describe the process of making the basic guidelines for the building information modeling for railroad designing and constructing in VR Track. The main object is to clarify the state of readiness to utilize BIM on the field and what form should be used for the design-data.

Basic information was gathered mainly from BuildingSMART Finland's and Finnish transport Agency's online publications. Specific information for modeling cards and program-specific modeling guidelines were gathered via e-mails and interviews.

The results consists of three parts: basic information about BIM-based constructing and designing, instructions for fixing common problems in the models, and the structure-specific modeling recommendation charts. General information focuses on BIM-based building current state and the challenges related to the material which is made by the designer. Guidelines are meant to help designer to prevent common mistakes in the modeling process. Structure-specific modeling recommendations are meant to clarify what form should be used for different structures from the builder's point of view.

Keywords: BIM, modeling, infrastructure, railway, municipal engineering

SISÄLLYS

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO | 6 |
| 2 TIETOMALLINTAMINEN INFRARAKENTAMISESSA | 8 |
| 2.1 Tietomallintamisessa noudatettavia ohjeita | 10 |
| 2.2 InfraBIM-nimikkeistö ja infra rakentajakoodaus | 12 |
| 2.3 Tietomallien muodot | 13 |
| 2.4 Yleisimmät tiedostoformaattit | 16 |
| 3 TIETOMALLINTAMINEN RATAHANKKEEN TOTEUTUSVAIHEESSA | 20 |
| 3.1 Malliaineiston hyödyntäminen toteutusvaiheessa | 22 |
| 3.2 Toteutusvaiheessa hyödynnettävän aineiston muoto | 27 |
| 3.3 Toteutusvaiheen pilvipohjainen tiedonhallinta | 38 |
| 4 TIETOMALLIPOHJAINEN SUUNNITTELU | 43 |
| 4.1 Yleisimmät suunnitteluohjelmat VR Trackillä | 44 |
| 4.2 Tietomallisuunnitelma | 45 |
| 4.3 Tietomalliselostus | 46 |
| 4.4 Tietomalliluettelo | 47 |
| 4.5 Mallinnettavat rakenteet toteutusvaiheelle | 47 |
| 4.6 Malliaineiston laadunvarmistus | 48 |
| 4.7 Toteutusmalliaineiston tarkastaminen | 49 |
| 4.8 Toteutusmalliaineiston tarkkuusvaatimukset | 50 |
| 4.8.1 Jatkuvuusvaatimukset | 51 |
| 4.8.2 Geometriavaatimukset | 52 |
| 5 OHJEISTUKSEN LAADINTA SUUNNITTELULLE | 56 |
| 5.1 Yleisosion laadinta | 56 |
| 5.2 Toteutusvaiheen haastattelut | 56 |
| 5.3 Haastattelujen yhteenveto | 57 |
| 5.4 Mallinnuskorttien laatiminen | 57 |
| 5.5 Esitystapakohtaisten ohjeiden laadinta | 58 |
| 5.6 Yhteenveto ohjeistuksesta | 71 |
| 6 POHDINTA | 72 |

JOHDANTO

Rakentamisen perinteiset toimintatavat ovat muuttuneet suuresti digitalisaation kehityksen myötä. Kehittyneet laitteistot ja ohjelmistot ovat mahdollistaneet uusia tapoja käsitellä ja hyödyntää tietoa rakennushankkeen eri vaiheissa. Kehityksen myötä rakentamisen tiedonkäsittelyä on haluttu tehostaa uudella menetelmällä, tietomallintamisella, jolla on todettu olevan taloudellisia sekä käytännön toiminnallisia hyötyjä. Varsinkin suuremmissa rakennushankkeissa tietomallintamisen on todettu tehostavan hankkeen läpivientä.

Talonrakennusalalla tietomallien käyttö on ollut huomattavasti edellä infrarakennusalaa. Infrarakentamisessa tietomallipohjainen rakentaminen on kuitenkin kehittynyt huomattavasti viime vuosien aikana. Nykyisin myös tilaajat ovat alkaneet vaatia hankkeiden toteuttamista tietomallipohjaisesti, mikä osaltaan edistää tietomallien kehittymistä infrarakentamisessa.

Tietomallinnuksen nopean kehityksen vuoksi infrarakenteiden mallintamiselle ei kaikilta osin ole vielä selkeitä ohjeita tai käytäntöjä. Puutteellisten ohjeistusten vuoksi mallipohjaisissa hankkeissa työmaalle toimitettavan toteutusaineiston sisältö on ollut kirjavaa. Aineiston kirjavuudesta aiheutuu lisätyötä, joka lisää hankkeen toteuttamisen kustannuksia.

Mallinnuksessa pyritään käyttämään avoimia tiedonsiirtoformaatteja, joiden tarkoituksena on parantaa tiedonsiirtoa sekä tiedon säilymistä laitteelta toiselle. Avoimet formaatit eivät vielä kuitenkaan ole kattavia kaikkien tekniikka-alojen osalta. Tästä syystä monet suunnitelmat joudutaan edelleen laatimaan perinteisiä formaatteja käyttäen, joiden ongelmana on suunnitelmätietojen häviäminen sekä mahdolliset yhteensopivuusongelmat eri ohjelmistojen ja laitteiden osalta.

Opinnäytetyö on osa VR Trackin InfraBIM2020 –projektia, jossa on lähdetty kartoittamaan ja laatimaan ohjeita toteutusaineiston laadinnalle. Opinnäytetyön tavoitteena on luoda suunnittelulle selkeät ohjeistukset siitä, millaista toteutusaineistoa on järkevää laatia tietomallipohjaisessa hankkeessa. Tavoitteena on luoda yhteiset käytännöt, jotka palvelevat työmaan tarpeita

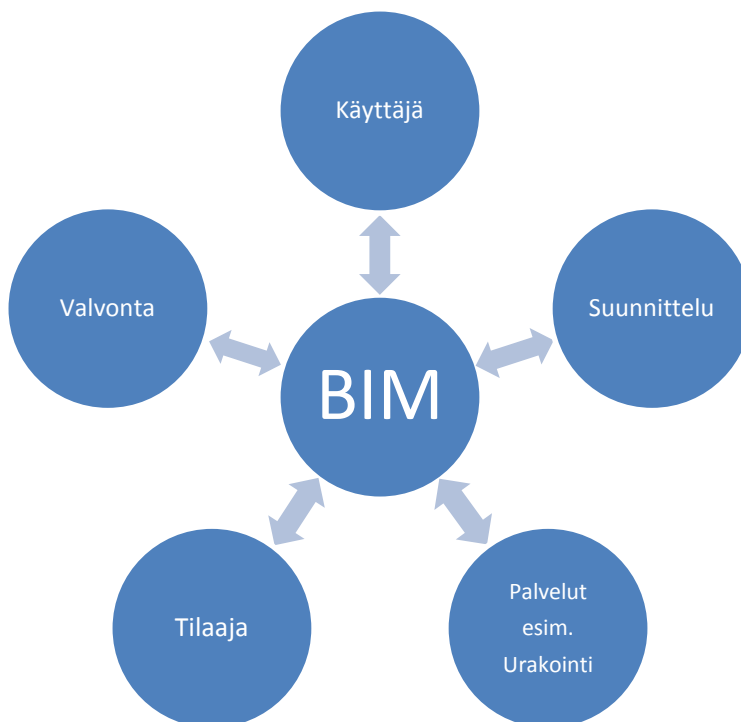
nykyistä paremmin. Esimerkiksi koneohjausmallien luomisessa on ilmennyt ongelmia, jotka ovat mahdollisesti korjattavissa jo suunnitteluvaiheessa.

Työn tilaajana on VR Track, joka on osa VR yhtymää. VR Trackin toimialoja ovat infrahankkeiden suunnittelu, rakentaminen, kunnossapito sekä kalusto- ja materiaali palvelut. VR Track on Suomen suurin radan rakentamisen ammattilainen. Rauta- ja raitiotierakentamisen lisäksi VR Track tarjoaa myös muita infrarakentamisen palveluita, mm. tie- ja siltarakentamista. Rata- ja sähkökunnossapidon keskeisimmät palvelut koostuvat radan järjestelmien ja rakenteiden kunnossapidosta sekä asiantuntijapalveluista.

1 TIETOMALLINTAMINEN INFRARAKENTAMISESSA

Tietomallintaminen (building information modeling, BIM) on nykyaikainen tapa käsitellä ja esittää rakenteet kolmiulotteisesti sekä siihen liittyvä ominaisuustieto kokonaisvaltaisesti. Tietomallin avulla on tavoitteena jakaa ja hallita tietosisältöä eri toimijoiden välityksellä rakenteen elinkaaren kaikissa vaiheissa. Infrarakenteiden kokonaisvaltaista tietomallia kutsutaan inframalliksi. (1.)

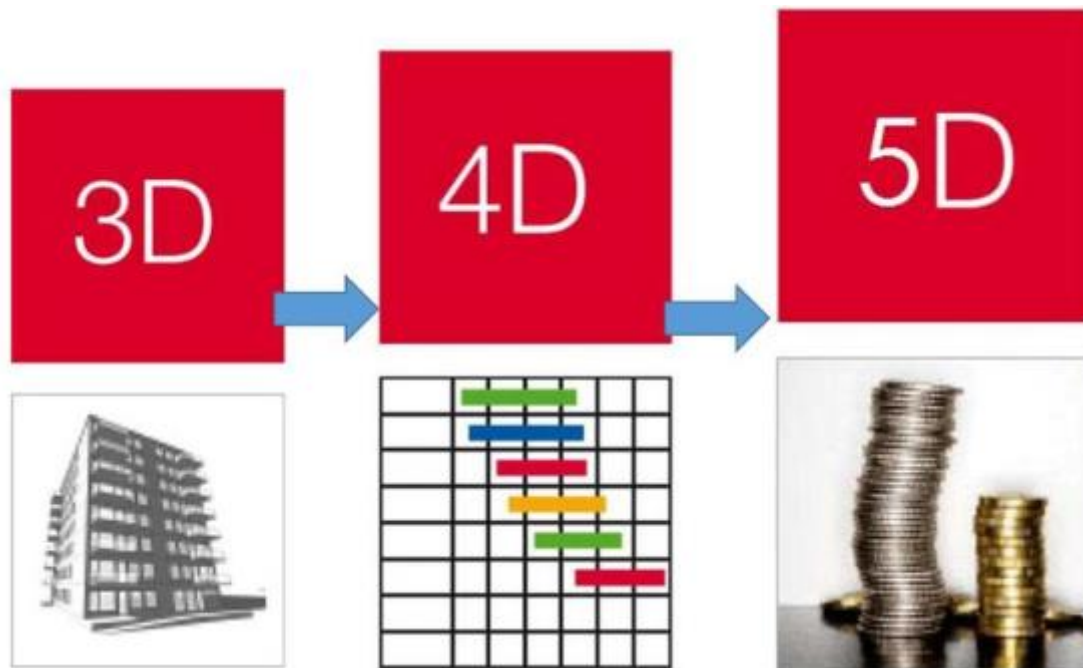
Ideaalitulanteessa kaikki rakenteeseen tapahtuvat muutokset ja tietopyynnöt voitaisiin käsitellä ja suorittaa yhtä tietomallia käyttävien alustojen välityksellä kuvan 1 mukaisesti. Myös rakentamisen ulkopuoliset osapuolet voisivat hyödyntää osittain tietomallin sisältämiä tietoja. (1.)



KUVA 1. Tietomallin (BIM) hyödyntäminen eri osa-alueilla

Usein tietomallista puhuttaessa tulevat esiin termit 4D- tai 5D-tietomalli. Käytännössä termeillä tarkoitetaan kolmiulotteista tietomallia, joka on sidottu

rakenteiden ja ominaisuustietojen lisäksi aikaan ja resursseihin. Kuvasta 2 voidaan hahmottaa pääpiirteittäin, mitä ulottuvuuden termeillä tarkoitetaan. (2.)



KUVA 2. Tietomallien ulottuvuudet

4D-tietomallissa rakenteeseen on lisätty ajallinen ulottuvuus. Käytännössä 4D-malleilla pyritään esittämään rakenteet aikajanssa, jonka avulla voidaan hahmottaa rakentamisen työvaiheet ja niiden yhteensovittaminen selkeämmin jo suunnitteluvaiheessa. 4D-tietomallin hyötyjä toteutusvaiheessa ovat esimerkiksi työvaihekohtaisen suunnittelun helpottuminen, aikataulun valvominen ja työmaan tilanteen havainnollistaminen muille osapuolille. (2.)

5D-tietomallissa rakenteeseen on lisätty arvollinen ulottuvuus. Käytännössä 5D-mallilla pyritään esittämään suunniteltujen rakenteiden materiaali- ja asennuskustannukset. 5D-mallin avulla pyritään arvioimaan hankkeen kokonaiskustannuksia sekä vertaamaan eri suunnitelmaratkaisujen kustannusten eroavaisuuksia. Mallin avulla kyettäisiin myös seuraamaan työvaiheittain rakenteen todellisia kustannuksia suunniteltuihin kustannuksiin toteutusvaiheessa. (2.)

1.1 Tietomallintamisessa noudatettavia ohjeita

Tietomallintamisen nopean kehittymisen johdosta olemassa olevat ohjeistukset ovat puutteelliset useille tekniikkalajeille ja rakenteille. Esimerkiksi radan sähkö- ja turvalaitteiden mallintamiseksi ohjeet ja nimikkeistöt puuttuvat kirjoitushetkellä lähes kokonaan. Ohjeiden puutteellisuuksien vuoksi eri toimijoille on muodostunut omia sisäisiä toimintatapoja, jotka saattavat poiketa huomattavasti muiden toimijoiden välillä. (3; 4.)

Talonrakentaminen on ollut edelläkävijä tietomallintamisessa rakennusalalla. Yhteisten mallintamisen käytänteiden tarpeen johdosta tietomallintamiselle on laadittu 14-osainen yleisten tietomallivaatimusten sarja. Ohjeet ovat suunnattu kiinteistöjen ja rakennuksien tietomallintamiselle, mutta toimivat suuntaa-antavina ohjeina infrarakentamisen tietomallintamiselle. (5.)

BuildingSMART Finland (bSF) on julkaissut yleiset inframallintamisen vaatimukset, (YIV2015). YIV-ohjeiden tarkoituksena on luoda yhtenevät tietomallinnuksen käytännöt kuvan 3 mukaisesti hankkeen eri toimijoille infrarakentamisessa. (6.)

YIV-ohjeisiin on tulossa päivitys painottuen toteutuksen ja mittauksen tietomallintamisen ohjeisiin. Päivityksen yhteydessä on odotettavissa, että nimikkeistöön tulee lisäyksiä mm. radan sähkö- ja turvalaitteille. YIV-ohjeistuksen lisäksi rakennepintojen ja taiteviivojen nimeämiseen on laadittu InfraBIM-nimikkeistö, johon on koottu infrarakentamisessa käytettävät pintatunnukset sekä viivakoodit. (3; 7.)



KUVA 3. Tietomallintamisen yleiset ohjeet (1)

Liikennevirasto on myös julkaissut tie- ja ratahankkeiden inframalliohjeet, joiden tarkoituksena on selventää mallintamisen prosessia tilaajan, tilaajan konsultin sekä palveluntarjoajien näkökulmasta. Julkaisuissa esitetään suunnittelijan laadunvarmistusmenettely tietomallipohjaiselle aineistolle. Ohjeiden liiteosiosta löytyy inframallin rakennekohtaisia tarkkuusvaatimuksia. Liikennevirasto on myös julkaissut erillisen siltarakenteiden tietomalliohjeen. (1; 8.)

Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – mittausohjeessa kuvataan tie- ja ratahankkeiden suunnittelussa tarvittavan mittausaineiston yleiset ja yksityiskohtaiset laadinnan ohjeet, laatuvaatimukset sekä dokumentoinnin ohjeet (9).

Maastotietojen hankinnan toimintaohjeissa tarkennetaan eri suunnitteluvaiheissa tarvittavan mittausaineiston tarkkuustaso sekä yleisesti aineiston käsittelyä, kuten esimerkiksi laadunvarmistus sekä dokumentointi (10).

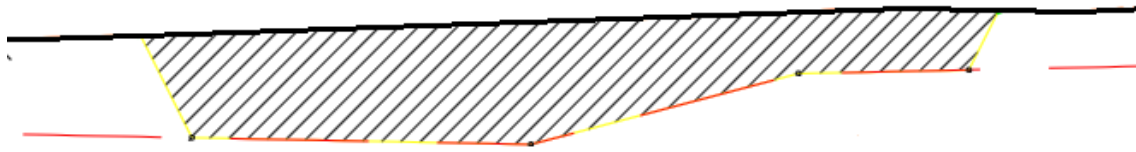
Tienrakentamisen mittaus suunnitelman laatimisoheessa annetaan ohjeet mittaus suunnitelman laadinnalle. Laadintaohjeet ovat suunnattu tienrakentamiselle, mutta niitä osittain sovelletaan ratarakentamisessa radan mittaus suunnitelman yleisten laadintaohjeiden puutteen johdosta. (11.)

1.2 InfraBIM-nimikkeistö ja infra rakentajakoodaus

InfraBIM-nimikkeistössä esitetään infrarakenteiden pintojen ja taiteviivojen numerointi- ja nimeämiskäytännöt. Yhtenevät nimeämiskäytännöt ovat käytössä hankkeen eri vaiheissa. Kirjoitushetkellä nimikkeistö on varsin puutteellinen ratarakentamiselle. (7.)

BuildingSMART on julkaissut InfraBIM-nimikkeistön lisäksi Infra-rakentajakoodauksen, joka on ensisijaisesti suunnattu työmaan tiedonsiirtoa varten. Rakentajakoodauksen sisältämä lajikoodaus perustuu InfraBIM-nimikkeistöön, maastomittauskoodeihin sekä työmaalla laadittuihin lisäyksiin. Rakentajakoodaus sisältää myös laajennetun pintatunnusluettelon, jota on sovellettu työmaalla. (12.)

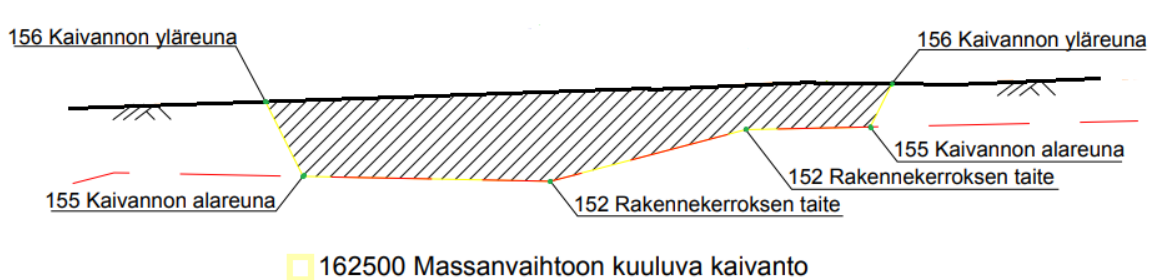
Työmaalla ei tällä hetkellä ole kattavia ohjelmistoja, jotka kykenisivät lukemaan malleihin sisällytettyjä ominaisuustietoja rakenteista. Sen sijaan työmaalla on otettu käyttöön lajikoodit, jotka kertovat osittain materiaali- ja ominaisuustietoja. Pintatunnus kuvaa päätasolla, mistä rakennepinnasta on kyse (kuva4). (12.)



□ 162500 Massanvaihtoon kuuluva kaivanto

KUVA 4. Pintatunnuksella kuvattu rakennepinta

Pinta muodostuu taiteviivoista/pisteistä, jotka nimetään kuvaavalla lajikoodilla, joita kuvassa 5 on lisätty aikaisemman kuvan pinnalle. Olemassa olevat rakenteet ja suunnitellut rakenteet erotellaan lajikoodin eteen lisättävällä D-kirjaimella. (7, 12.)



□ 162500 Massanvaihtoon kuuluva kaivanto

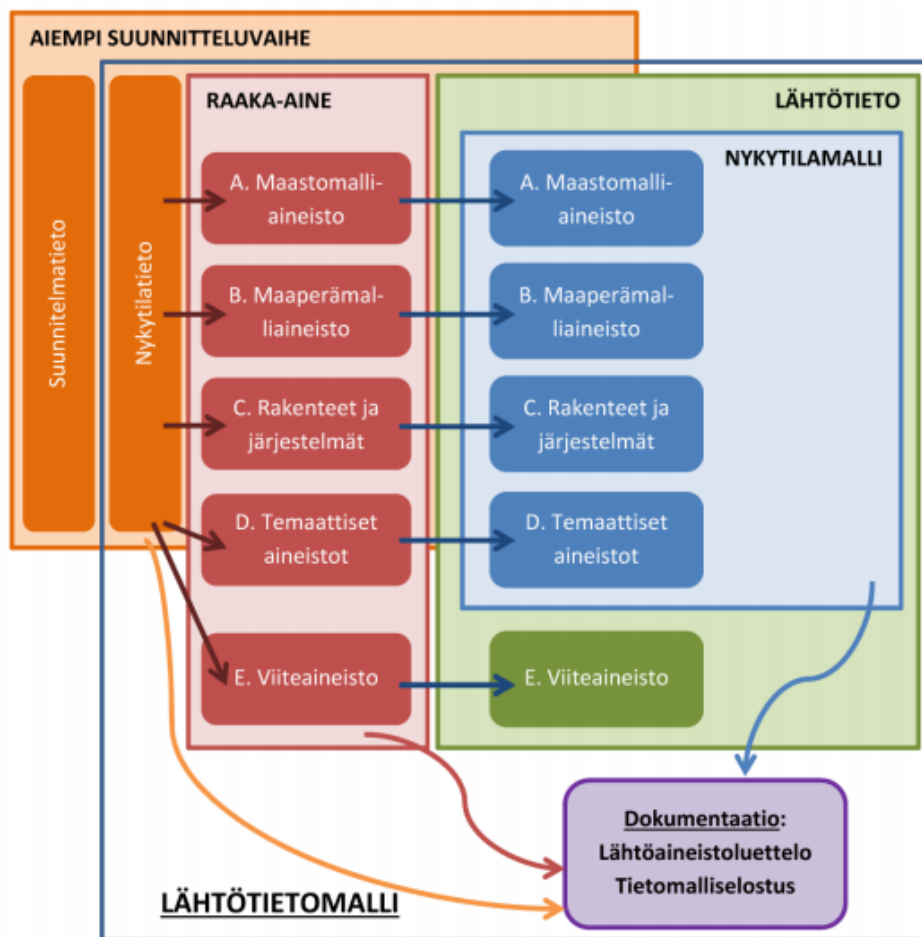
KUVA 5. Pinta muodostuu lajikoodatuista taiteviivoista

1.3 Tietomallien muodot

Maastomalli on maaston pinnasta muodostettu maaston nykytilannetta kuvaava malli, joka on sidottu mittauksen toimesta kiintopisteiden kautta koordinaatteihin. Maastomallin avulla suunnittelija kykenee suunnittelemaan ja sitomaan rakenteet maastoon täsmällisesti. Maastomallissa korostuu mittausperustan oikeellisuus, sillä mikäli maastomalli on laadittu virheellisen mittausperustan avulla, suunnitellut ratkaisut eivät vastaa käytännön olosuhteita laisinkaan. Virhe voi aiheuttaa huomattavia lisäkustannuksia hankkeelle. (13.)

Maaperämalli on maanpinnan alapuolisten maakerrosten likimääräisistä tulkituista rajapinnoista ja maalajeista luotu malli. Malliin voidaan lisätä maalajikerrosten ominaisuustietoja. (13.)

Nykytilamalli on käytännössä osa hankkeen lähtötietoja, jossa esitetään hankealueen nykyiset maasto-olosuhteet, olemassa olevat rakenteet ja järjestelmät, sekä muut olennaiset nykytilanteen tiedot hankealueelta mallinnettuna. Kun nykytilamalliin liitetään hankkeeseen liittyvät ominaisuustiedot joko mallinnettuna tai viiteaineistona, kuten kuvassa 6 on esitetty, puhutaan silloin **lähtötietomallista**. (13.)



KUVA 6. Lähtötietomallin rakenne (13)

Lähtötietomalliin kootaan eri tietolähteistä hankitut lähtötiedot jäsennehtynä digitaaliseen muotoon. Lähtötietomalli koostuu kuvan 7 mukaisesti mm. maastomallista, maaperämallista sekä muista hankkeeseen liittyvistä viiteaineistoista. Lähtötiedot suositellaan esitettävän avoimia formaatteja

käyttäen natiiviformaattien lisäksi. Avoimet formaatit edistävät lähtötietojen hyödyntämistä tehokkaammin, esimerkiksi suunnitteluvaiheessa. Lähtötietomallin laatiminen voi olla osana suunnitteluhanketta, tai se voidaan laatia erikseen esimerkiksi esisuunnitteluvaiheessa ja luovuttaa rakennussuunnitteluvaiheessa lähtötietokokonaisuutena. Lähtötietomallia täydennetään hankkeen edetessä. (13.)

Suunnitelmamalli on suunnittelun eri tekniikkalajien tuottama tietomalli, jossa esitetään hankkeeseen suunnitellut ratkaisut mallinnettuna. Joskus puhutaan myös ns. "suunnittelijan työmallista", jota suunnittelija muokkaa hankkeen aikana. Suunnitelmamallista mallinnettu aineisto viedään tarvittaessa yhdistelmämalliin, tai siitä voidaan jalostaa toteutusvaiheessa käytettävään muotoon. Suunnitelmamalleja kutsutaan myös joissakin yhteyksissä **natiivimalleiksi**. Natiivimallilla tarkoitetaan mallin alkuperäistä muuntamatonta muotoa suunnitteluohjelmistosta. (14.)

Yhdistelmämalliin kootaan eri tietomallien, esimerkiksi lähtötietomallin sekä eri tekniikkalajien suunnitelmamallien aineisto yhteiseen tietomalliin. Yhdistelmämallin avulla suunnitellut rakenteet voidaan sovittaa yhteen törmäystarkastelun avulla. Yhdistelmämallissa havaitut muokkaustarpeet suoritetaan yleensä alkuperäisissä osamalleissa niiden suunnitteluohjelmistoissa. (14.)

Toteutusmalli on toteuttajalle suunnattu tietomalli, joka on muodostettu suunnittelijoiden laatiman suunnitelma-aineiston sekä lähtötietoaineiston pohjalta. Ideaalitalanteessa toteutusmalli sisältää kaiken rakentamisessa tarvittavan aineiston työmaalla hyödynnettävässä muodossa. Toteutusmallia on tarkoitus hyödyntää esimerkiksi työtehtävien, aikataulujen tai resurssien hallinnassa. Toteutusmallin termi ei tällä hetkellä ole täysin yksiselitteinen, minkä vuoksi on tärkeä tiedostaa, mitä toteutusmallilla tarkoitetaan eri asiayhteyksissä. (14.)

Koneohjausmalli on suunnitelma- tai toteutusmallin pohjalta laadittu malli, joka viedään koneohjausjärjestelmään. Koneohjausmallia kutsutaan joissakin yhteyksissä myös toteutusmalliksi. (14.)

Toteumamallilla eli ”as-built”-malli on rakenteista mitattujen toteumatietojen perusteella päivitetty tietomalli, joka kuvastaa rakenteen todellisia toteutuneita tietoja. Toteumamalli kuvaa nimensä mukaisesti toteutuneen rakenteen kokonaisuutta. (14.)

Ylläpitomalli tai kunnossapitomalli on valmiista rakenteista luotu tietomalli, jonka avulla rakenteiden kuntoa ja ominaisuuksitietoja voidaan seurata ja päivittää kokonaisvaltaisemmin rakenteiden käytön aikana. Tulevaisuudessa ylläpitomalleja voidaan todennäköisesti hyödyntää laajemmin suunniteltaessa kunnossapidon toimenpiteitä rakenteille. Ylläpitomallien käyttö kirjoitushetkellä on vähäistä, sillä kunnossapidolle ei tällä hetkellä löydy tarvittavia ohjelmistoja tai laitteita, jotka voisivat hyödyntää tietomallintamista tehokkaasti. (14.)

1.4 Yleisimmät tiedostoformaatit

Suunnitelmien laadintaan käytetään useita eri ohjelmia tekniikka-alasta riippuen. Perinteisesti suunnitelma-aineisto kirjoitetaan ulos rakentajalle paperisena tai digitaalisena PDF- ja DWG-tiedostoina. Tietomallintamisessa tieto halutaan välittää muodossa, joka on mahdollista lukea useilla eri ohjelmistoilla ja laitteilla. Käytännössä tämä tarkoittaa ohjelmistoista riippumattomien formaattien käyttöä, ts. ohjelmille on luotu yhteisiä ”kieliä”. (15.)

DWG on Autodeskin laatima sisäinen formaatti, joka mahdollistaa Autodeskin suunnitteluohjelmistoilla laadittujen suunnitelmien sisällön tallentamisen ja tiedonsiirron. DWG on binäärinen formaatti, joka mahdollistaa pienemmän tiedostokoon. Käytännössä DWG-formaattiin voi tallentaa 2D- ja 3D-suunnitelmia, sekä niiden metatiedon Autodeskin ohjelmistojen määräämässä muodossa. Jotta DWG-formaatissa olevaa aineistoa voidaan hyödyntää muissa ohjelmistoissa, on aineisto muunnettava esimerkiksi PDF- tai DXF-formaattiin. (16.)

DXF on Autodeskin laatima tiedonsiirtoformaatti, joka on käytännössä luotu siirtämään Autodeskin ohjelmistoilla laadittuja malleja muiden ohjelmistojen hyödynnettäväksi. DXF-formaatissa DWG:n binäärinen kirjoitus muunnetaan tekstipohjaiseen ASCII-kirjoitusformaattiin, mikä kasvattaa tiedostokokoa huomattavasti. DXF ei sisällä kaikkia DWG:n sisältämiä ominaisuuksia, minkä

vuoksi osa tiedoista häviää muunnoksen yhteydessä. DXF-formaattia käytetään yleisesti esimerkiksi taustakartoissa. (16.)

PDF on Adoben keksimä ISO-standardisoitu tiedostoformaatti. PDF on yleisesti asiakirjojen ja suunnitelmien jakamiseen käytetty formaatti. Usein DWG-formaatista muunnetaan PDF-formaattiin luovutuksessa. (17.)

DWG-PDF -formaattimuunnoksessa on riski tiedon häviämisestä tai vääristymistä. PDF ei tue kaikkia DWG-formaatin visuaalisia tyylejä, esimerkiksi kolmiulotteiset tyylit rasteroituvat kuviksi. PDF-formaatin tallennustarkkuus on heikompi kuin DWG-formaatissa, mistä voi aiheutua alhaisempi resoluutiotaso sekä lukuarvojen pyöristysvirheitä. Pyöristysvirheet voivat vaikuttaa esimerkiksi koordinaattitietoihin. (17.)

VGP on Xroad-pohjainen tiedonsiirtoformaatti, jota käytetään yleisesti muiden kuin rakentamisteknisten tiedonsiirron formaattina. Rakentamisessa VGP-formaattia käytetään mittalinjojen, esimerkiksi tielinjojen tiedonsiirtoformaattina. (18.)

GT on ASCII-pohjainen tiedonsiirtoformaatti, jota käytetään yleisesti piste- ja taiteviiva-aineiston formaattina. gt-formaattia on aikaisemmin kutsuttu myös Geonic-, TIEL-, Tielaitos-, rakentaja- sekä Infra maastomalli -formaatiksi. Kuvassa 7 on selitetty gt-formaatin sisältämät osiot, ja kuvassa 8 on esimerkki gt-formaatissa olevasta aineistosta käytännössä. (19.)

GT- formaatti ja sen selitteet:

| T1 | T2 | T3 | T4 | X | Y | Z |
|----|----|----|----|---|---|---|
|----|----|----|----|---|---|---|

T1 = Pintatunnus

- InfraBIM-nimikkeistön mukainen pintatunnus.

T2 = Taiteviivan numero

- Tunnuksella kerrotaan tarkemmin mihin viivaan (juokseva nro.) tai kortteliin piste kuuluu, Hajapisteille merkataan arvoksi 0.

T3 = Lajikoodi

- Lajikoodaus perustuu infraBIM-nimikkeistöön sekä Infra rakentajakoodaukseen.
- Lajikoodin perusteella tarkennetaan mistä rakenteen kohdasta on kyse. Suunnitellut rakenteet tunnistetaan D-etumerkistä.
- Esimerkiksi Olemassa olevan tien keskilinjan lajikoodi = 121, Suunniteltu tien keskilinjan lajikoodi = D121

T4 = Pisteenn tunnus/numero

- Pistekohteen järjestysnumero/tunnus. Esimerkiksi pylvään tunnuskoodi.
- Viivamaisen aineiston pistenumeroitten ei tarvitse olla peräkkäisiä, mutta niiden oltava järjestykseltään kasvava, esimerkiksi: 1, 4, 14, 55

XYZ = koordinaatit

- X = Pohjoiskoordinaatit (NNNNNNN.NN)
- Y = Itäkoordinaatit (EEEEEEEE.EEE)
- Z = Ortometrinen korkeus (HHH.HHH)

KUVA 7. Gt-formaatin tunnusten selitteet

| T1 | T2 | T3 | T4 | X (NNNNNNN.NNN) | Y (EEEEEEEE.EEE) | Z (HHH.HHH) |
|----|----|------|--------|-----------------|------------------|-------------|
| 9 | 0 | 2882 | 517/5B | 7053739.035 | 23488795.527 | 9.280 |
| 9 | 0 | 2881 | 517-7B | 7053826.997 | 23488831.011 | 9.330 |
| 9 | 0 | 2881 | 517-8C | 7053900.923 | 23488869.854 | 9.370 |
| 9 | 0 | 2883 | 517X8B | 7053865.904 | 23488844.614 | 9.350 |
| 9 | 0 | 2881 | 517-K1 | 7053922.530 | 23488863.395 | 9.390 |
| 9 | 0 | 2881 | 517-K2 | 7053988.082 | 23488884.855 | 9.420 |

KUVA 8. Esimerkki ratapylväiden keskipisteistä gt-formaattiin kirjoitettuna.

IFC (Industry foundation classes) on XML-pohjainen ISO-standardisoitu tiedonsiirtoformaatti, jota hallinnoi BuildingSMART. IFC on tietomallintamisessa käytettävistä tiedonsiirtoformaateista tällä hetkellä eniten kehitetty. IFC-formaattia käytetään yleisesti talo- ja taitorakenteiden tietomallintamisessa. Tällä

hetkellä IFC-formaattia ei käytetä muiden infrarakenteiden tietomallintamisessa, sillä se ei sisällä niiden mallintamiselle tarvittavia formaattilaajennuksia. (20.)

Tällä hetkellä yleisin käytössä oleva versio on IFC2X3, mutta formaatista on kehitetty jo uusi versio IFC4. IFC:n pohjalle on lähdetty kehittämään laajennusta infrarakentamiselle, joka saattaa korvata muita käytössä olevia avoimia formaatteja. Laajennukset eivät ainakaan lähiaikoina tule korvaamaan LandXML- tai IM-formaattia. (20.)

LandXML on XML-pohjaisesta tiedonmäärittelystä jalostettu infrarakentamiselle suunnattu tiedonsiirtoformaatti. LandXML on kansainvälisesti yleisessä käytössä oleva formaatti, jota suurin osa suunnitteluohjelmista sekä työmaalla olevista järjestelmistä osaavat hyödyntää. (14.)

LandXML:n yleisin Suomessa käytössä oleva versio tällä hetkellä on 1.2. LandXML:stä on kehitetty uudempia versioita, mutta uuden version käyttöönotto ainakaan Suomessa ei ole edennyt. Sen sijaan suomessa on lähdetty kehittämään LandXML 1.2:n pohjalle kansallista tiedonsiirtoformaattia, inframodelia. (14.)

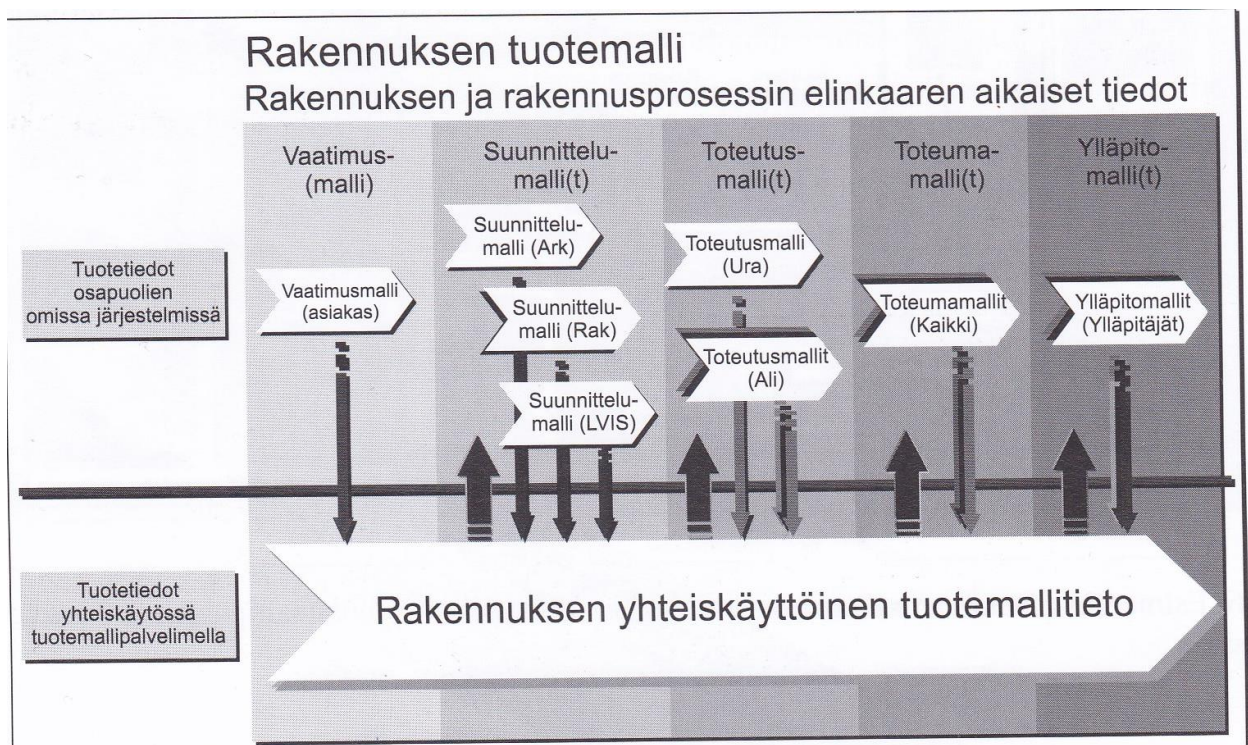
Inframodel on LandXML 1.2:n pohjalta Suomessa kehitetty tiedonsiirtoformaatti. Inframodel 3, IM3, on tällä hetkellä yleisimmin käytössä oleva versio. Inframodelista on julkaistu uusi versio inframodel 4 (IM4), joka tuo mukanaan mm. laajemmat metatietojen lisäämisen aineistoon sekä toteumatietojen laajennetut ominaisuudet vastaamaan mittauksien vaatimuksia. (15.)

2018:n helmikuun alusta lähtien Liikennevirasto sekä muutamat kaupungit ovat edellyttäneet IM4-formaatin käyttöä suunnittelu- ja toteutushankkeilla (16).

2 TIETOMALLINTAMINEN TOTEUTUSVAIHEESSA

RATAHANKKEEN

Rakentamiselle suunnattuun tietomalliin, toteutusmalliin, pyritään viemään kaikki toteutukseen tarvittava aineisto mallinnettuna. Mallinnettu aineisto korvasi osan nykyisestä paperisesta ja dokumenttipohjaisesta aineistosta. Kaikkea aineistoa ei kuitenkaan vielä voida esittää mallinnettuna, minkä vuoksi osa aineistosta laaditaan dokumenttipohjaisena. Käytettävästä tietokokonaisuudesta puhutaankin usein toteutusaineistona. Kuvassa 9 on hahmotettu hankkeen aineiston prosessia suunnittelussa ja rakentamisessa. (14; 22.)



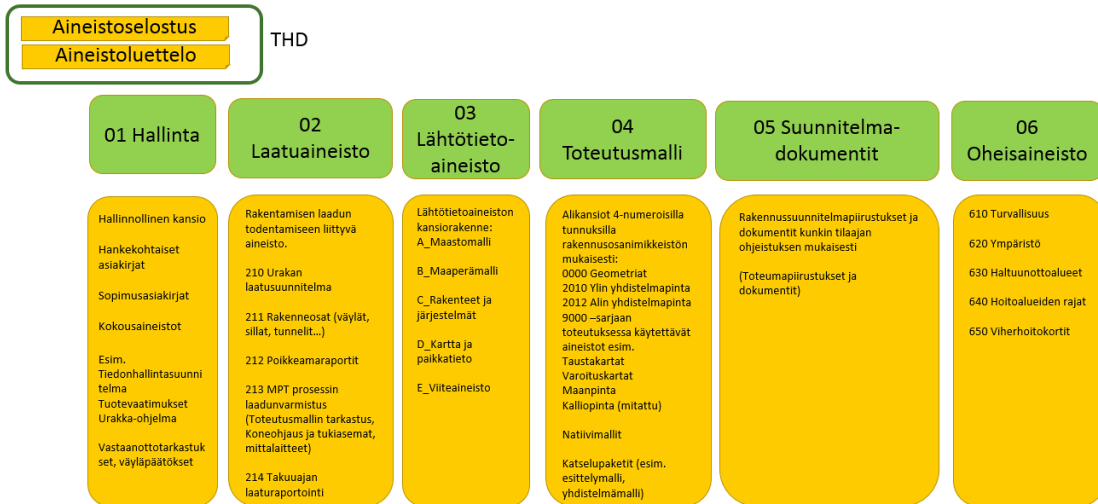
KUVA 9. Tietomallintamisen prosessi hankkeen eri vaiheissa (23)

Tällä hetkellä malleja ei kyetä hyödyntämään tai ylipäätään laatimaan sellaiseen muotoon, joita voitaisiin hyödyntää toteutusvaiheessa täysin kolmiulotteisesti ominaisuustietoineen. On myös huomioitava, että toteutuksen näkökulmasta joitain tietoja on yksinkertaisempi hyödyntää muissa kuin tietomallin muodossa. Toteutusmallissa voidaan hyödyntää dokumenttipohjaista aineistoa esimerkiksi viittaamalla dokumenttiin lisätiedon lähteenä. Muutamat laitevalmistajat ja

ohjelmistokehittäjät ovat kehittäneet koneohjauksen palveluiden lisäksi palveluita esimerkiksi mallipohjaisen työmaavalvontaan, mutta mikään ei kuitenkaan kata tietomallintamisen kaikkia hyötyjä. (22.)

Infrarakentamisen tietomallintaminen on huomattavasti jäljessä talonrakentamisen tietomallintamisen tasoon. Lähivuosina on odotettavissa, että tietomallintaminen yleistyy ja kehittyy infrarakentamisessa huomattavasti, sillä talonrakentamisen tietomallinnuksesta saatuja kokemuksia voidaan hyödyntää kehittämään infrarakenteiden tietomallintamista kaventaen mallintamisen tasoeroa. Erityisesti vaativissa ja laajoissa hankkeissa, joissa korostuvat tiedonhallinta sekä yhteistyö, tulee tietomallien käyttö yleistymään entisestään. (22; 23.)

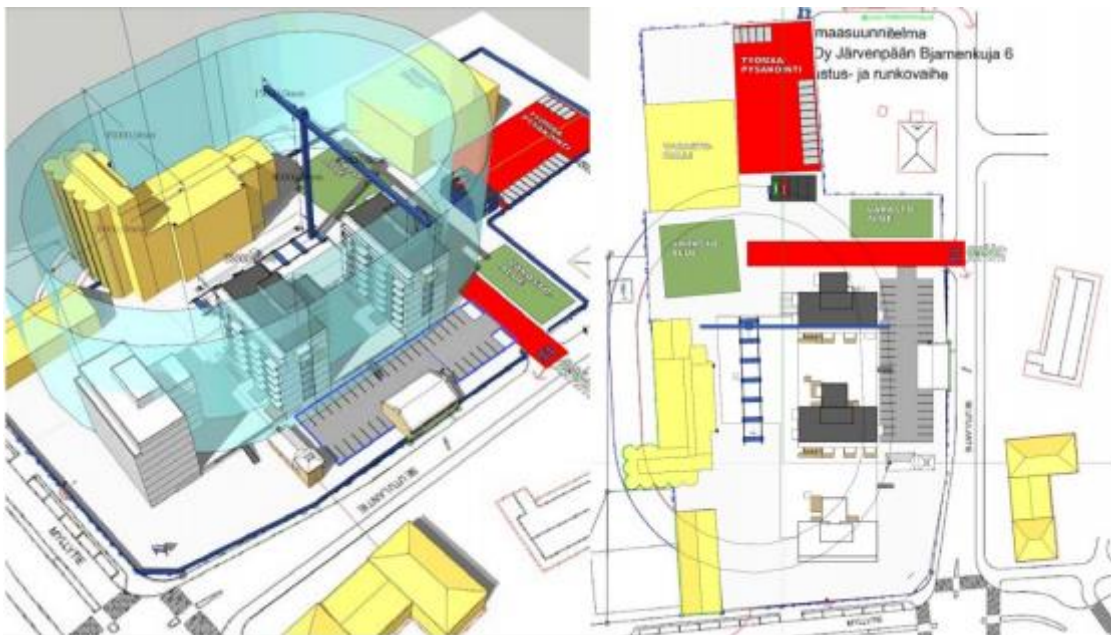
Yhteisessä rajapinnassa työskentelyssä korostuvat yhteisesti sovitut toimintatavat hankkeen osapuolten välillä, esimerkiksi kansiorakenteessa ja aineistosisällössä. Yhteisillä toimintatavoilla pyritään vähentämään epäselvyyksiä aineiston hallinnassa. Kansiorakenteen merkitys korostuu erityisesti suuremman luokan hankkeissa, joissa aineiston laajuus on huomattava. Hankkeen aineiston kansiorakenteelle ei tällä hetkellä ole yleistä tyyppirakennetta, minkä vuoksi rakenne voi vaihdella merkittävästi hankkeen luonteen ja vaiheen mukaan. YIV-ohjeiden päivityksen yhteydessä on tulossa esitys tyyppikansiorakenteesta, jota pyrittäisiin käyttämään lähes samanlaisena hankkeen luonteesta tai vaiheesta riippumatta. Kuvassa 10 on esitetty pilottivaiheessa oleva toteutusvaiheen kansiorakenne. (22; 23.)



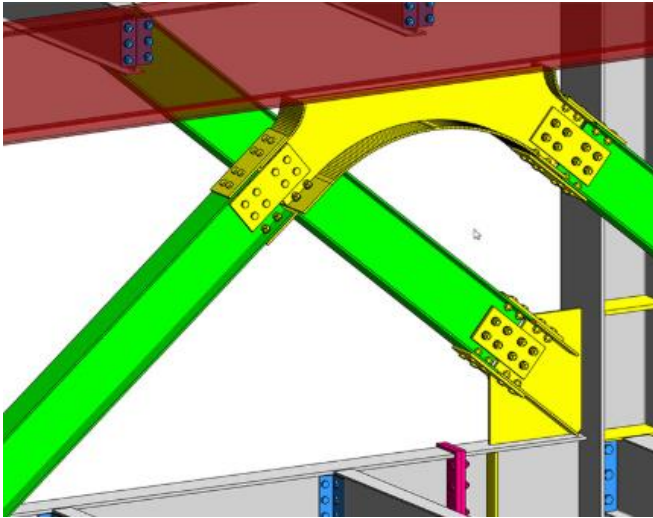
KUVA 10. Esitys kansiorakenteelle (23)

2.1 Malliaineiston hyödyntäminen toteutusvaiheessa

Mallinnetun aineiston avulla pyritään havainnollistamaan esimerkiksi hankkeen työvaiheet tai hankealue visuaalisemmin perinteisten dokumenttipohjaisten suunnitelmien lisäksi kuvan 11 mukaisesti. Kolmiulotteisen tietomallin avulla rakennedetaljit (kuva 12) voidaan hahmottaa selkeämmin perinteisiin kaksiulotteisiin detaljipiirustuksiin verrattuna. (22; 24; 25.)



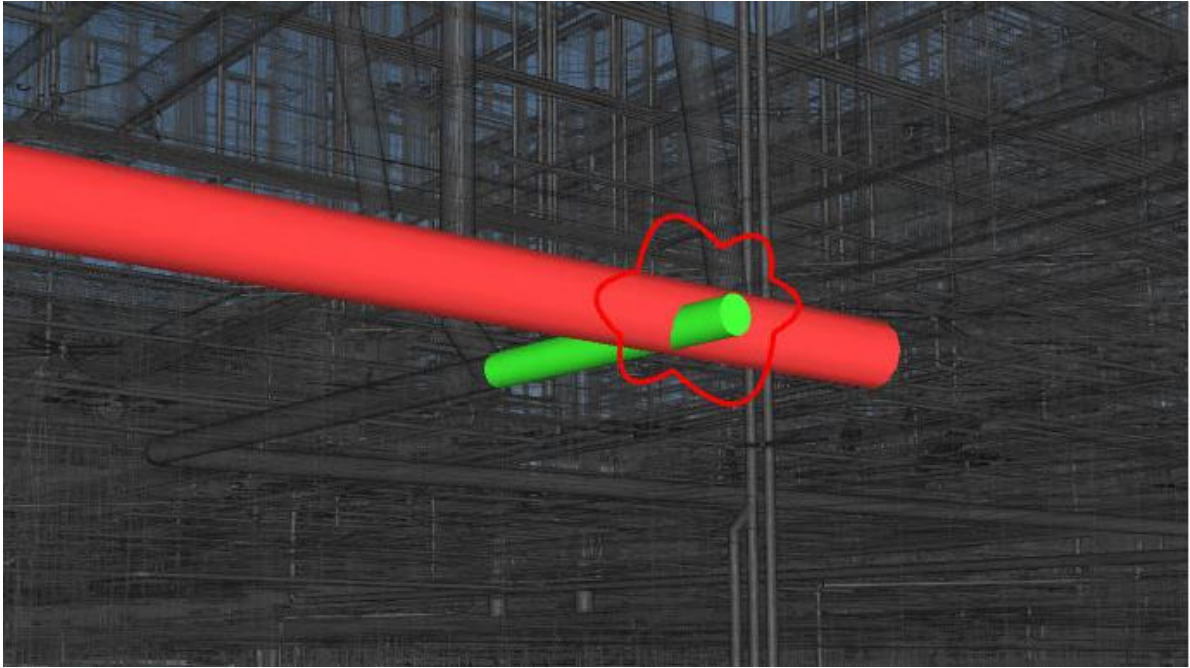
KUVA 11. Havainnollistavuuden eroja 3D- ja 2D-muodossa (5)



KUVA 12. Rakenteiden detaljit hahmotettuna kolmiulotteisesti (5)

Mallinnettujen rakenteiden avulla voidaan tarkastella eri tekniikkalajien suunnitelmien sekä maastomallin yhteensopivuutta ennen varsinaista rakentamista. Törmäystarkastelulla (kuva 13) säästetään huomattavasti resursseja, kun tekniikkalajien väliset ristiriidat ehkäistään jo suunnitteluvaiheessa. (22; 24; 25.)

Tällä hetkellä mallinnetulle aineistolle löytyy muutamia ohjelmistoja, joilla voidaan tehdä visuaalinen tarkastelu mallinnetulle aineistolle. Infrarakentamiselle ei kuitenkaan kirjoitushetkellä löydy kattavaa ohjelmistoa, joka automaattisesti ilmoittaisi leikkaavista rakenteista malleissa. Talonrakentamisessa on käytössä joitain ohjelmistoja, jotka kykenevät havaitsemaan ja ilmoittamaan automaattisesti leikkaavat rakenteet eri mallien välillä. Tulevaisuudessa on odotettavissa, että myös infrarakentamiselle kehitetään törmäystarkasteluun soveltuvia ohjelmia laajemmiksi. (22; 24; 25.)



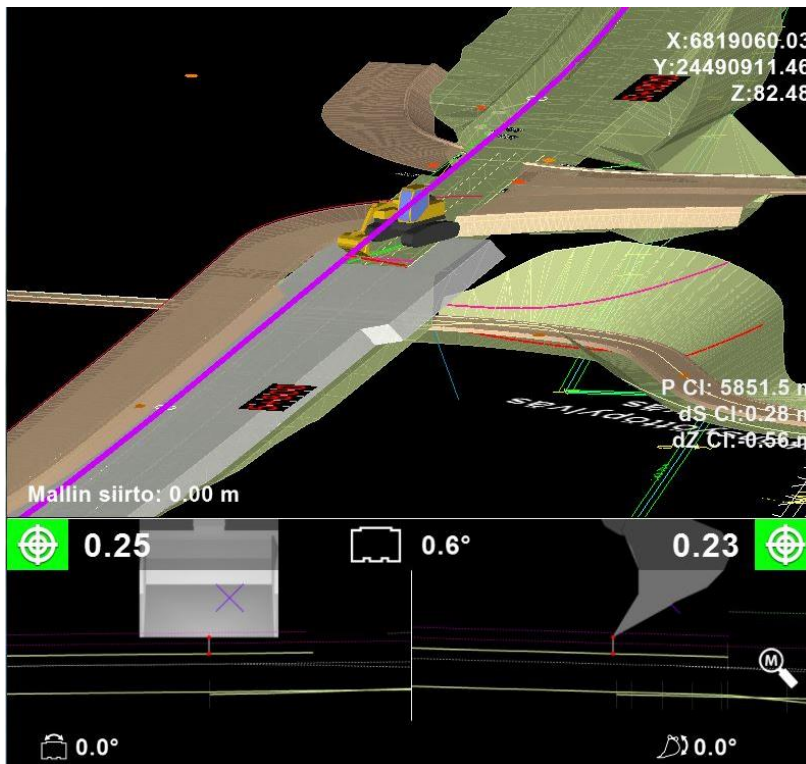
KUVA 13. Havaittu leikkaava kohta rakenteissa

Suurin hyöty malliaineistosta saadaan, kun mallien sisältämät suunnitelmat sovitetaan maastoon käytännössä. Oikein laaditun malliaineiston avulla mittausvastaava kykenee merkitsemään maastoon tarvittavat kohteet aineistoa hyödyntävillä laitteilla. Ilman paikkatietoon sidottua malliaineistoa kohteet joudutaan määrittelemään eri dokumenttipohjaisten aineistojen perusteella, mikä vaatii huomattavasti enemmän työtä toteutusvaiheessa. (22; 25.)

Paikkatietoon sidottua malliaineistoa voidaan hyödyntää työkoneissa, joihin on asennettu soveltuva koneohjausjärjestelmä. Koneellinen työ on huomattavasti tehokkaampaa, kun työkoneilla on käytössä maastoon sidottu malliaineisto, jonka avulla koneen kuljettaja kykenee suorittamaan työnsä. Maastoon sidotun malliaineiston avulla koneohjatut koneet voivat työskennellä ilman erillisiä mittauksen suorittamia maastomerkintöjä. Työkoneiden mittatarkkuus ei kuitenkaan riitä kaikilta osin korvaamaan mittauksen suorittamia maastomittauksia. (22; 24; 25.)

Työmailla on käytössä useiden eri laitevalmistajien koneohjausjärjestelmiä ja ohjelmistoja, jotka tukevat tietomallinnusta vaihtelevasti. Laitteiden kirjavuuden vuoksi tietomallien hyödyntäminen voi olla haasteellista. Osa laitevalmistajista tukee avoimia tietomallintamisen formaatteja, kun taas osalla valmistajista on

käytössä omat sisäiset formaattinsa ja muunnosohjelmansa. Sisäisissä formaateissa piilee riski tietojen häviämisessä tai malliaineiston esitystavan poikkeavuuksissa. Laitteiden omien vaatimusten lisäksi lisätyötä aiheutuu työmaalla, jos vastaanotettua aineistoa ei ole laadittu ohjeiden mukaisesti, jolloin aineisto useimmiten joudutaan laatimaan uusiksi mittauksen toimesta. Suunnittelijan tulisikin toimittaa alkuperäinen aineisto pintamalleista (taiteviivat), sillä niiden avulla työmaalla tehdään tarvittavat muokkaustoimenpiteet malliaineistoon. Työmaalla yleisimmät käytössä olevat koneohjausjärjestelmät ovat Novatron, Leica, Topcon sekä Trimble. Esimerkkikuvassa 14 on havainnollistettu työkoneen koneohjausjärjestelmän näkymää käytettäessä pintamalliaineistoa. (22; 24; 25.)



KUVA 14. Malliaineiston hyödyntäminen LandNovassa

Malliaineisto ja sen laadinnassa käytetty mittausperustan yhteensopivuus maastoon tarkistetaan ennen kuin malliaineisto voidaan ottaa käyttöön. Käytetystä mittausperustasta onkin suositeltavaa toimittaa malliaineiston lisäksi tiedot käytettyjen mittapisteiden ominaisuustiedoista. Toteutusvaiheessa hyödynnetään ja täydennetään samaa mittausperustaa, jota on käytetty suunnitteluvaiheessa malliaineiston laatimisessa. (22; 24; 25.)

Muut kartta- ja paikkatiedot, esimerkiksi rakenteista ja temaattisista rajoista, ovat useimmiten PDF- ja DWG -formaattissa 2D-piirustuksina, joista yleensä laaditaan taustakarttoja hahmottamaan hankkeen tietoja yleispiirteisesti. Aineisto on useimmiten sidottu koordinaatistoon, jonka avulla tausta-aineisto voidaan myös sitoa maastoon esimerkiksi koneohjauksen höydyksi. (22; 25.)

Massalaskennassa perinteisten piirustusten ja määräluetteloiden lisäksi voidaan nykyään hyödyntää tietomalleja edellyttäen, että tietomalli on laadittu riittävällä tarkkuudella ja teknisesti oikein. Pelkkä maaston pinnasta muodostettu maastopintamalli ei vielä riitä massalaskentaan, sillä massalaskenta perustuu oikein koodattujen rakennepintojen välisiin tilavuuksiin. Maaston pintamallissa aineisto on koodattu kolmioverkoksi (9211), jolloin pinnasta ei voida erotella maanpintaa muista pinnan kohdista. Mikäli maastomallista saadaan alkuperäinen maastomittausaineisto sisältäen lajikoodauksen, voidaan sitä hyödyntää massalaskennassa ja –seurannassa tehokkaammin. (22; 25.)

Perinteisten urakkalaskentavaiheen määräluetteloiden lisäksi talonrakentamisessa on sovellettu tietomalleja työvaihekohtaisessa määrälaskennassa. Infrarakentamisessa ei tällä hetkellä ole ohjelmistoja, jotka kykenisivät lajittelemaan ja luotteloimaan rakennemateriaalit määräluetteloksi. Käytännössä vain massalaskentaa voidaan tehdä mallipohjaisesti infrarakentamisessa tällä hetkellä. Ohjelmistojen kehittyessä on odotettavissa työvaihekohtaisten ja materiaaliikohtaisen määrälaskennan yleistymistä myös infrarakentamisessa. (22; 25.)

Työn toteutusvaiheen suunnittelun ja valvonnan työkalut ovat varsin vähäiset tällä hetkellä infrarakentamisessa. Infrakit-ohjelmiston avulla voidaan karkeasti tehdä aluesuunnittelua ja valvoa työn etenemistä toteumatietojen avulla, mutta mikään ohjelma ei tällä hetkellä tarjoa konkreettista aikataulun tai resurssien hallintaa infrarakentamiselle. (22; 25.)

Tulevaisuudessa tietomallien sitominen aikatauluihin ja resursseihin on odotettavissa. Infrarakentaminen poikkeaa luonteeltaan huomattavasti talonrakentamisesta, joka voi osaltaan asettaa haasteita toimintojen kehittämiseksi. (22; 25.)

Mallinnettujen rakenteiden avulla voidaan tarkastella eri tekniikkalajien suunnitelmien sekä maastomallin yhteensopivuutta ennen varsinaista rakentamista. Törmäystarkastelulla säästetään huomattavasti resursseja, kun vältetään ristiriidat jo suunnitteluvaiheessa. (22; 25.)

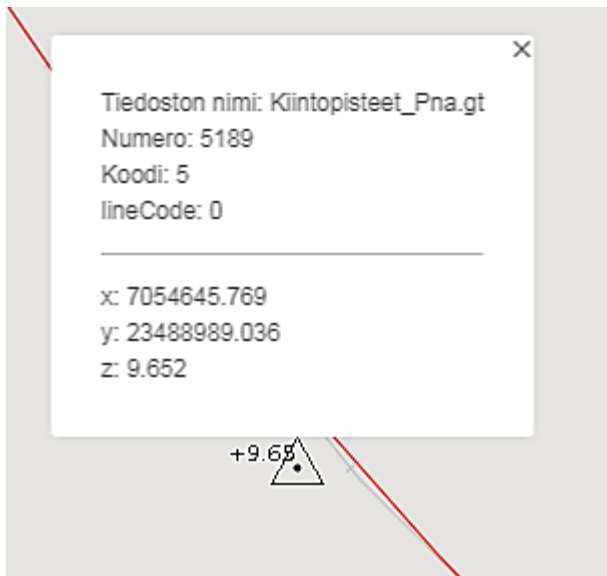
Tällä hetkellä mallinnetulle aineistolle voidaan tehdä useilla eri ohjelmistoilla visuaalinen tarkistelu. Infrarakentamiselle ei kirjoitushetkellä löydy kattavaa ohjelmistoa, joka automaattisesti ilmoittaisi leikkaavista rakenteista mallissa. Talorakentamisessa on käytössä joitain ohjelmistoja, jotka kykenevät havaitsemaan ja ilmoittamaan automaattisesti leikkaavat rakenteet. Tulevaisuudessa on odotettavissa myös infrarakentamiselle automaattisen törmäystarkastelun yleistymistä. (22; 25.)

2.2 Toteutusvaiheessa hyödynnettävän aineiston muoto

Kuten aiemmin on mainittu, toteutusvaiheessa ei voida hyödyntää suunnitelmaohjelmistojen kaltaisia tietomalleja, minkä vuoksi hankkeen mallintamisessa tulee harkita sen hyödynnettävyys käytännössä. Toteutuksessa ei tällä hetkellä voida hyödyntää lähes lainkaan rakenteiden ominaisuustietoja, sillä avoimissa formaateissa ei ole tarpeeksi laajaa määrittelyä ominaisuustiedoille. Ominaisuustietoja voidaan välittää työmaalla käyttämällä tarkentavia lajikoodeja ja pintatunnuksia, joiden avulla voidaan osittain ”sisältää” rakenteeseen ominaisuustietoa. (22; 24; 25.)

Kohteiden sijainnit voidaan esittää **pistetietona**, useimmiten rakenteen keskipisteen kohdalla. Rakenteen lisätiedot voidaan esittää pisteen ominaisuus- ja metatietoina. Kuvassa 16 on esimerkki siitä, miten gt-formaatissa olevan pisteen tiedot näkyvät Infrakitissä. Jotkin rakenteet on käytännöllisistä syistä järkevämpi esittää pisteinä tarkemman mallintamisen sijaan. Esimerkiksi pylväiden tai kaivojen sijainti pistetietona on riittävä ja selkeä esitystapa toteutuksen kannalta. Koordinaatteihin sidottu pistetieto on usein käytännöllisempää kuin pelkästään ratakilometriin sidottu sijaintitieto, sillä koordinaattien avulla rakenne voidaan sitoa suoraan maastoon. Tarkemmat

tiedot rakenteesta katsotaan yleensä dokumenttipohjaisesta aineistosta. Pistemäiselle aineistolle käytetään yleensä gt-formaatia. (22; 25.)



KUVA 15. Pisteiden tiedot esitettynä infrakitissä

Pistetieto on usein riittävä tieto myös koneohjauksessa, jossa pisteet antavat tarkan sijaintitiedon rakenteesta. Liian tarkasti mallinnettu rakenne voi joskus jopa haitata koneohjausta, esimerkiksi rakenne voi olla kuvaruudulla näköesteenä muuta rakennetta työstettäessä. (22; 25.)

Taiteviivat muodostuvat suorista viivoista, jotka eivät sisällä geometrialinjan tavalla muita geometrian elementtejä, kuten kaaria tai klotoideja. (22; 25.)

Yksittäisillä taiteviivoilla voidaan esittää esim. hankealueen kaapeli- ja putkilinjat, mikäli ei ole tarpeen mallintaa tarkemmin. Pintamallien luomisessa käytetään rakenteiden taitekohdista laadittua taiteviiva-aineistoa. (22; 25.)

DWG- ja PDF-formaateissa olevat taiteviivat ovat useimmiten kaksiulotteisia 2D-taiteviivoja, mutta nykyään toteutuksessa hyödynnetään entistä enemmän korkoon sidottua kolmiulotteista 3D-taiteviiva-aineistoa. (22; 25.)

Toteutusvaiheessa joudutaan usein tekemään muokkauksia pintamalleihin, jotka suoritetaan yleensä alkuperäisen taiteviiva-aineiston pohjalta. Esimerkiksi

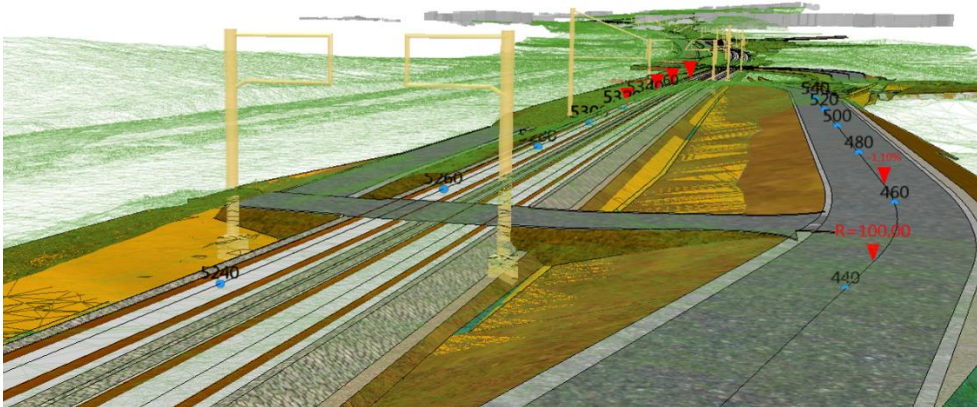
työmaalla saatetaan tehdä pintojen kolmiointi uusiksi, jotta saadaan halutun kaltainen kolmiointi. (22; 25.)

Koneohjauksessa hyödynnetään mallipintojen rinnalla sen taiteviivoja, joista koneen kuljettaja voi seurata kauhan etäisyyttä pitkittäisiin linjoihin. Kuljettaja samalla näkee, mistä rakenteen taitteesta on kyse, mikäli taiteviiva-aineiston tunnukset on laadittu oikein. (24.)

Geometrialinja on taiteviivaa yksityiskohtaisempi linjatyyli, joka sisältää suorien lisäksi geometriaelementtejä, esim. kaarteita ja klotoideja. Geometrialinjojen virheettömyys on ensisijaisen tärkeää, sillä geometrian perusteella muiden rakenteiden sijainti sidotaan sen avulla. Rata- ja katugeometrioita hyödynnetään työmaalla yleensä Inframodel-formaatissa. Yleisesti geometrialinjoina esitetään ne linjat, joihin sidotaan paalu- tai sivumittatiedolla kohteita. (22; 24; 25.)

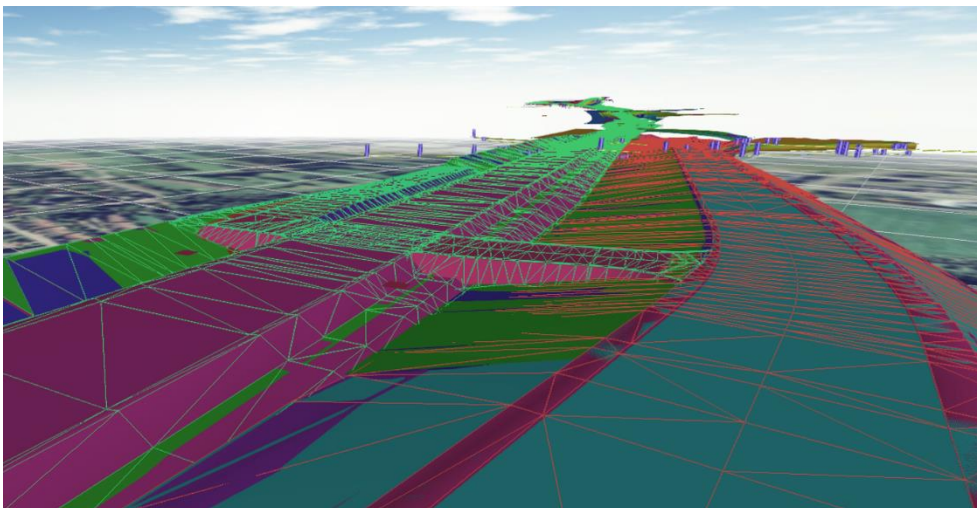
Rakenteiden osat voidaan mallintaa kolmiulotteisina **pintamalleina**, jotka muodostetaan useimmiten hajapisteiden ja taiteviivojen avulla. Pintamallien avulla hankkeen rakenteet voidaan havainnollistaa kolmiulotteisesti maastoon sidottuna. Pintamalleja voidaan hyödyntää koneohjauksen ja visuaalisen havainnollistamisen lisäksi massalaskennassa, edellyttäen että aineisto on laadittu riittävällä tarkkuudella. (22; 24; 25.)

Suunnitteluohjelmistot muodostavat useimmiten kuvan 17 mukaisia **taiteviivapintamalleja**, jossa taiteviivojen väliin ei muodosteta erillistä kolmiointia (25).



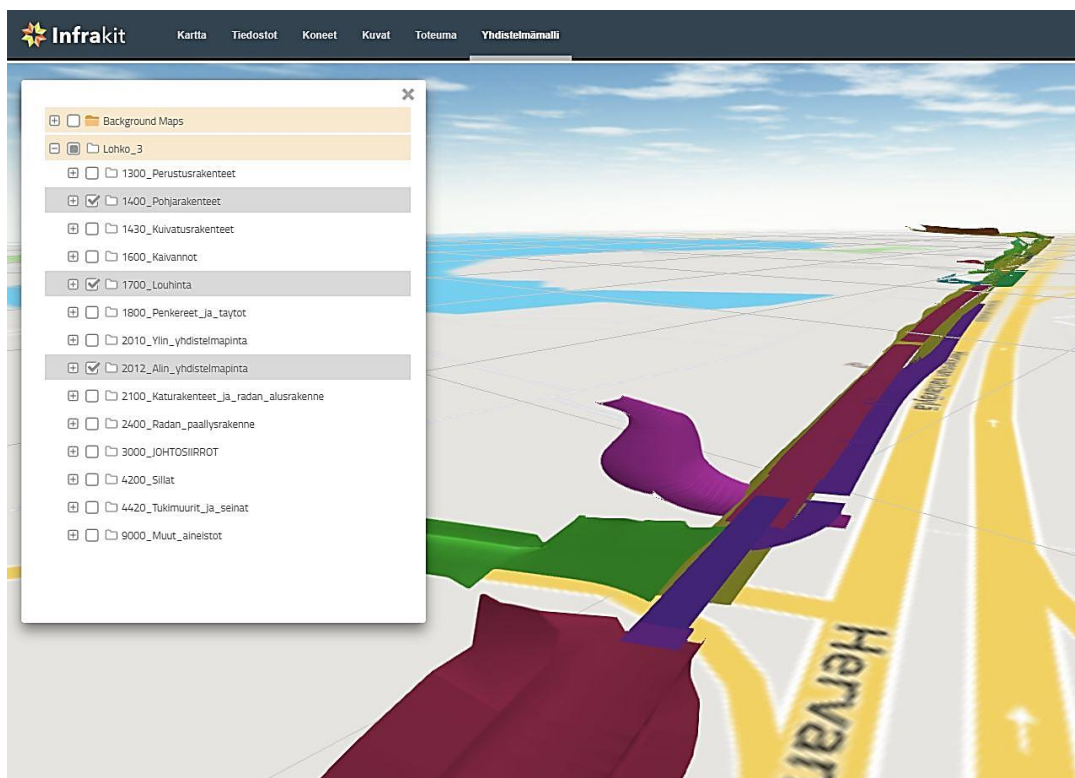
KUVA 16. Suunnitelmamallin (natiivimallin) rakennepinnat taiteviivapintoina (25)

Pintamallit voidaan laatia kuvan 18 mukaisiksi **kolmioverkkopinnoiksi**, joita voidaan hyödyntää toteutusvaiheessa. Eri ohjelmat voivat tuottaa huomattavasti poikkeavat kolmioverkon samasta aineistosta, mikä johtuu useimmiten ohjelmistojen poikkeavista kolmioidun algoritmeista. (22; 25.)



KUVA 17. Toteutusmallin kolmiooidut rakennepinnat (25)

Pintamalleissa käytettävät pintatunnukset ja lajikoodit havainnollistavat, mistä rakenteen kohdasta/taitteesta on kyse. Esimerkiksi Infrakitissä eri pintatunnuksilla olevat rakenteet havainnollistetaan eri väreillä, kuten kuvassa 19 on esitetty. (22; 24; 25.)



KUVA 18. Pintamallien esitystapa

Koneellinen työ on huomattavasti tehokkaampaa, kun kuljettajalla on käytössä maastoon sidotut pinnat rakennekerroksittain. Maastoon merkintöjen tarve vähenee merkittävästi, kun koneen kuljettaja voi seurata suoraan koneohjausjärjestelmän näytöltä kaivettavan pinnan tasoa. Pintamallit myös havainnollistavat koneen kuljettajalle rakennettavan kohteen kokonaisuutta selventäen, miksi rakenne tehdään kyseisellä tavalla. (22; 24; 25.)

Työkoneiden ja mittauslaitteiden suorittamat tarke- ja toteumamittaukset voidaan ”liittää” koodattujen pintamallien avulla rakenteisiin. Pintoihin liitettyjä mittaustietoja voidaan havainnollistaa ja hallinnoida tehokkaammin luovutusaineiston laadinnassa. (22; 24; 25.)

Rakenteet voidaan mallintaa kuvan 20 mukaisina **3D-objekteina**, jotka parantavat mallin hahmotettavuutta. Talo- ja taitorakenteista laadittuihin objekteihin voidaan tällä hetkellä sisältää esimerkiksi tilavuustietoja sekä muita teknisiä ominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää määrä- ja massalaskennassa. Objektien tiedostformaattina käytetään usein IFC-formaattia, joka sisältää kattavasti talo- ja taitorakenteissa käytettäviä määrittelyjä. IFC-formaattia

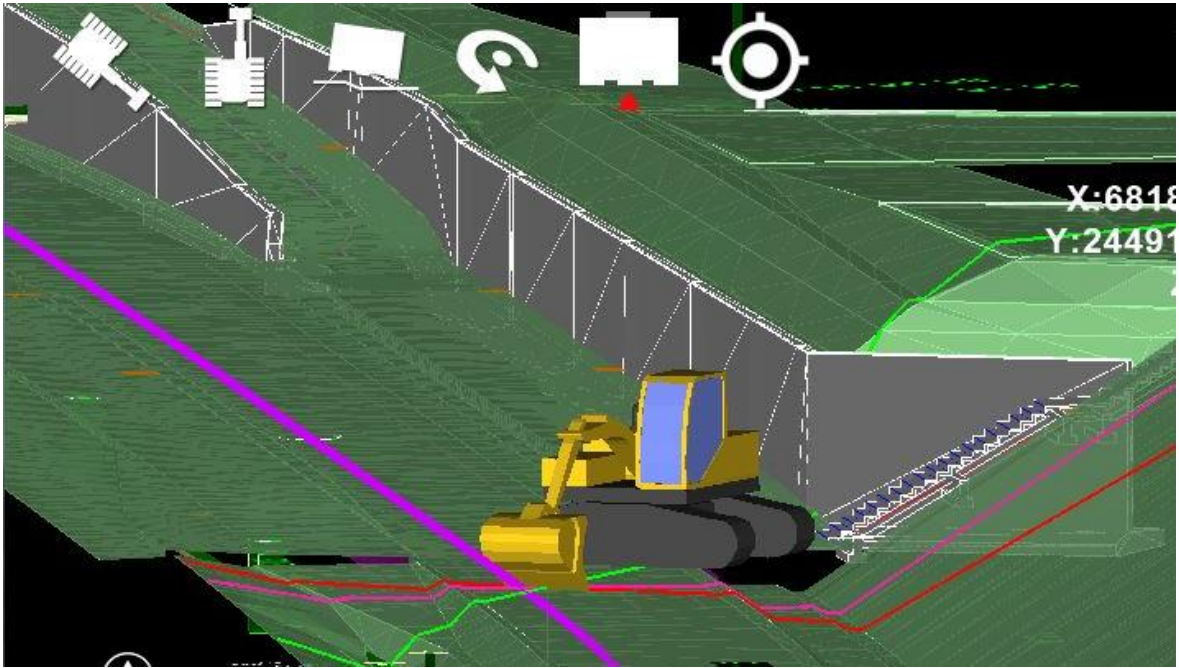
kuitenkaan ei tällä hetkellä sisällä infrarakentamisessa tarvittavia määrittelyjä.
(22; 24; 25.)



*KUVA 19. Radan rakenteet voidaan tarvittaessa mallintaa osatarkkuudella.
(Railengineer UK)*

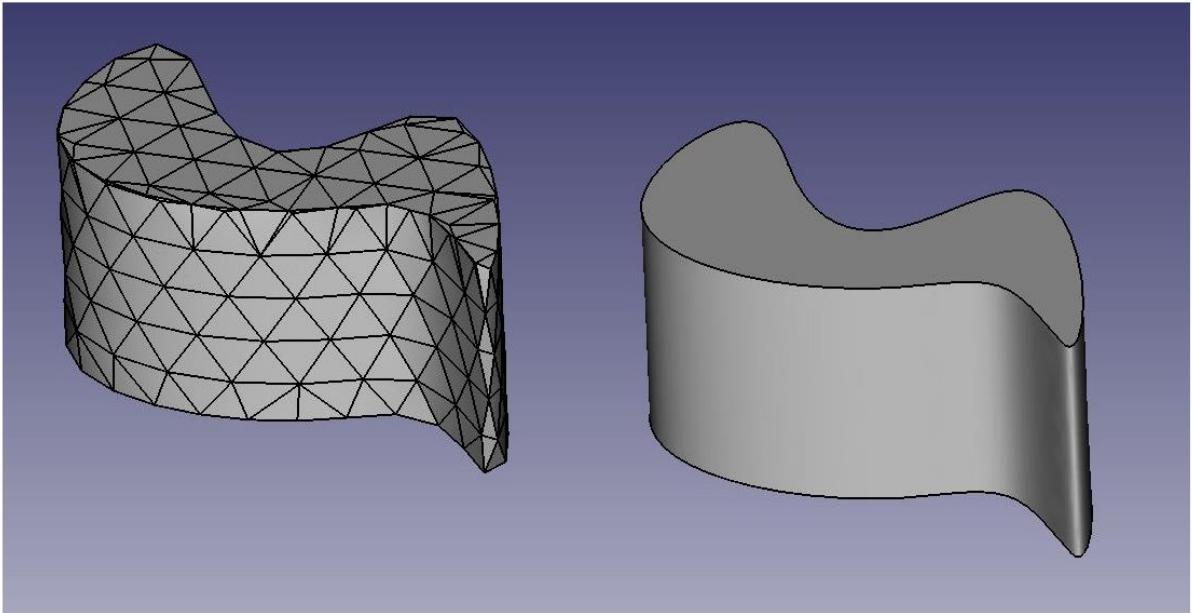
Hankkeen luonteesta riippuen on harkittava, kuinka tarkasti rakenteet halutaan mallintaa. Kappaleiden mallintaminen lisää työtä sekä vaatii huomattavasti enemmän tehoa laitteistolta. Usein kappaleen vaatima tilarajaus ja sijainti karkeana kolmiulotteisena kappaleena on riittävä tieto rakentamisvaiheessa. Hankkeen koko elinkaarta ajatellen voidaan kuitenkin tarvita tarkoin mallinnettua aineistoa. (22; 25.)

Objektien hyödyntäminen toteutusvaiheessa on varsin vähäistä rajallisten formaattien ja ohjelmistojen vuoksi. Toteutusvaiheessa voidaan hyödyntää DXF-formaatissa olevia mesh ja solid-objekteja sekä osittain IFC-formaatissa olevia objekteja. Objekteja voidaan hyödyntää lähinnä koneohjausjärjestelmässä visuaaliseen havainnollistamiseen, kuten kuvassa 21 on esitetty. (24; 25.)



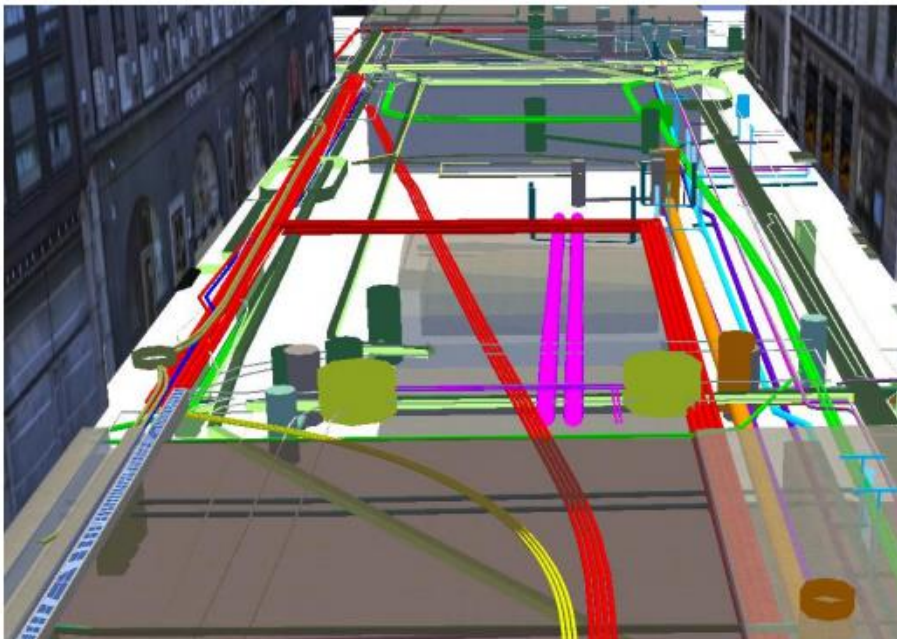
KUVA 20. objektien kuvautuminen koneohjausjärjestelmässä (25)

Mesh-objekteissa kappaleet muodostetaan kolmioimalla kappaleen pinnan muodot. Riippuen kolmionnin tiheydestä, kappaleen sisältämä vektoritieto voi muodostua jopa solid-objektia raskaammaksi. **Solid**-objekteihin sisältyvät tilavuus- sekä rakenteen pintoihin liittyvät geometriaelementit. solid-objektit ovat tarkempia, sisältävät enemmän tietoa ja ovat helpommin muokattavissa verrattuna mesh-objekteihin. Kuvassa 22 on havainnollistettu objektien visuaalista eroa käytännössä. (26.)



KUVA 21. Mesh-objekti ja solid-objekti

Verkostomalli on järjestelmästä, esim. hulevesiviemäriverkostosta laadittu rakennemalli. Verkostomallissa korostuu ohjeiden mukainen värikoodien käyttö eri rakenteiden erottamiseksi, kuten kuvasta 23 voidaan havaita. (22; 25.)



KUVA 22. Katurakenteissa sijaitsevat verkstorakenteet mallinnettuna (YIV2015)

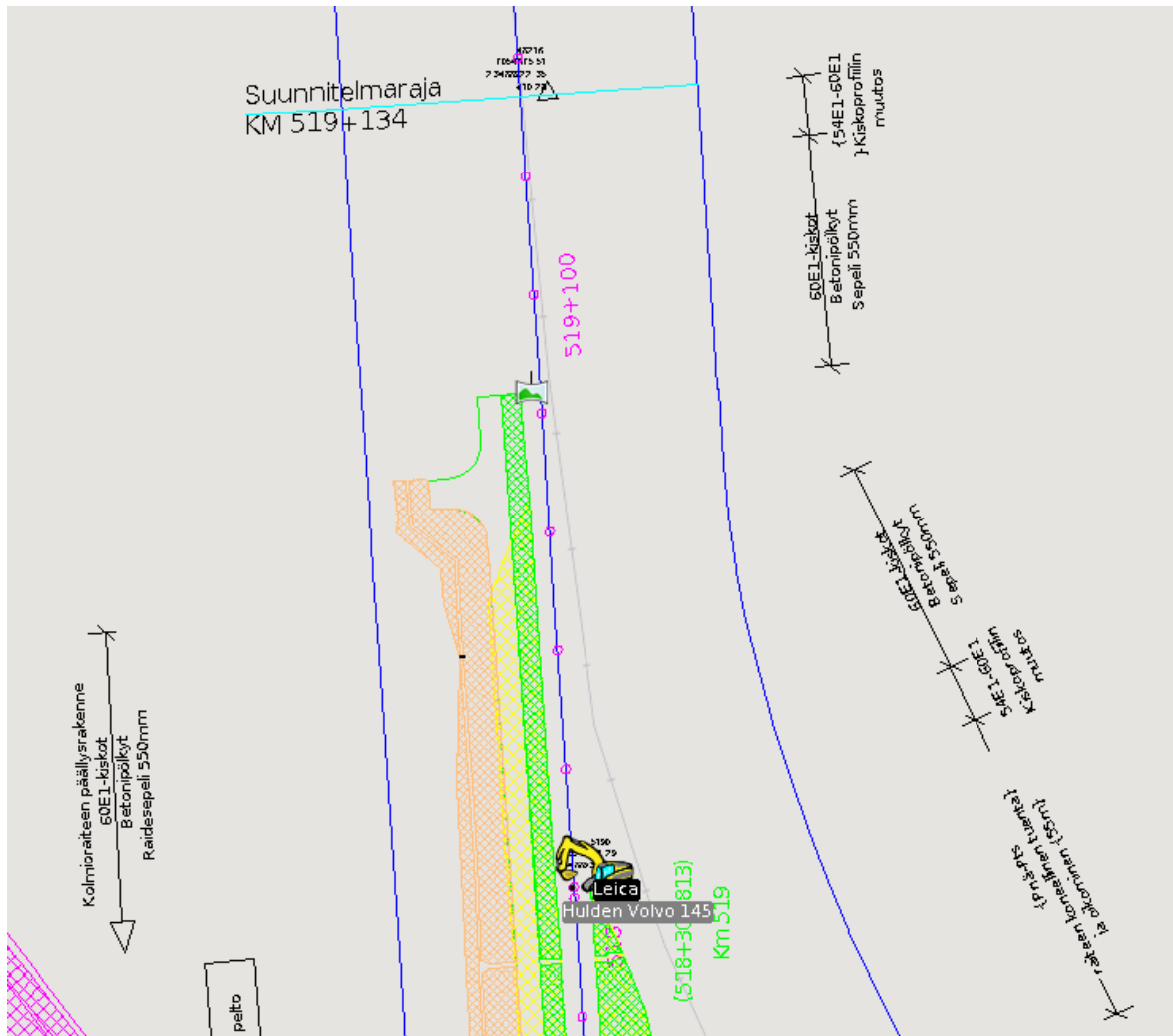
Inframodel-formaattiin on laadittu verkostojärjestelmien mallintamiseen Pipenetworks-määrittely, jonka avulla järjestelmät voidaan mallintaa kolmiulotteisesti. Pipenetworks-määrittelyä voidaan hyödyntää jo osittain toteutusvaiheessa. Pipenetworksia käytetään lähinnä visuaaliseen havainnollistamiseen, kuten kuvassa 24 on havainnollistettu. (25.)



KUVA 23. Pipenetworks-aineisto LandNovassa ja Infrakitissä

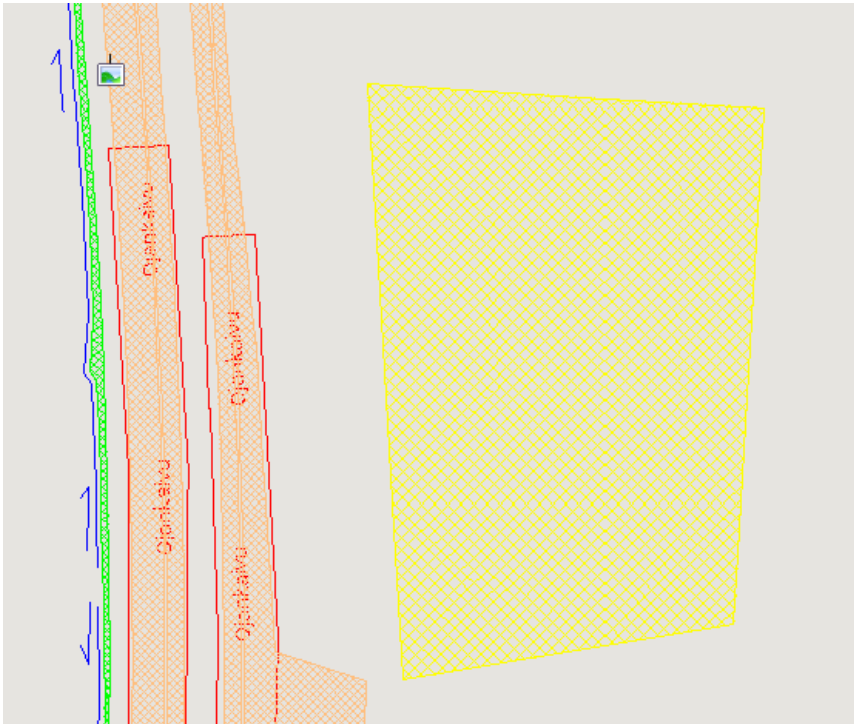
Toteutuksessa esitetään huomattava määrä tietoa **taustakarttojen** avulla (kuva 25). Suunnittelijan laatimat suunnitelmat tulee toimittaa aina PDF-formaatin lisäksi myös DWG-formaatissa. Suunnittelijan laatimista yleis- ja suunnitelmakartoista muodostetaan usein taustakarttoja laitteisiin soveltuvaan muotoon, pääsääntöisesti DXF-formaattiin. (22.)

Taustakartat ovat useimmiten kaksiulotteisia, mutta tulevaisuudessa on odotettavissa, että suunnitelmakarttoihin esitettyihin kohteisiin voidaan sisältää korkotietoa (22).



KUVA 24. Infrakitissä voidaan esittää yleistieta taustakarttojen avulla

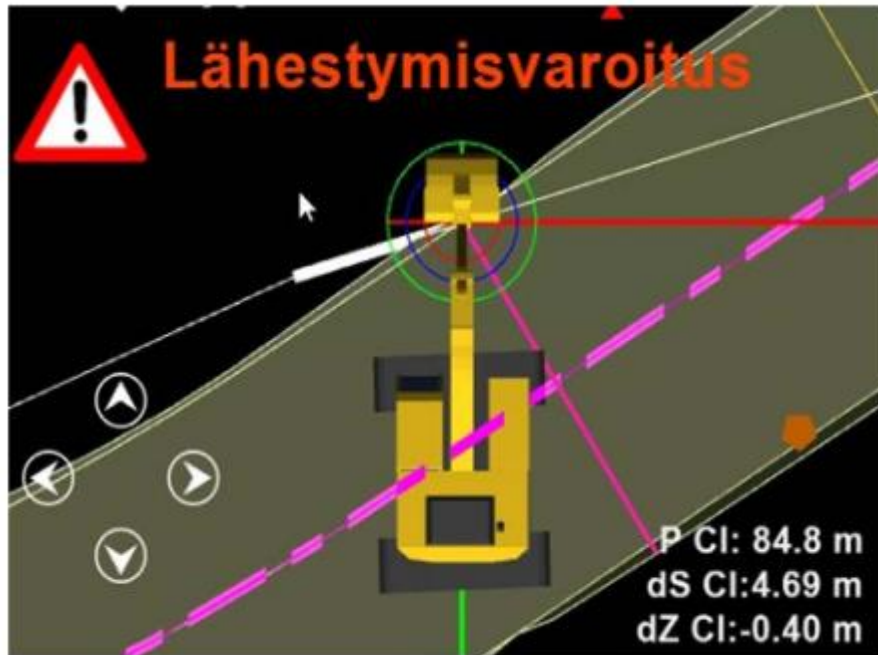
Aluerajauksella voidaan havainnollistaa esimerkiksi työmaa-alueen rajat karttapalvelussa (kuva 26). Yleensä aluerajaukset tehdään kaksiuotteisesti, mutta tietomallintamisen kehittyessä aluerajat voidaan havainnollistaa kolmiuotteisesti mallissa. (22.)



KUVA 25. 2D-aluerajauksia Infrakitissä

Taustakarttojen ja aluerajauksen lisäksi osassa koneohjausjärjestelmissä on käytössä varoitustoiminto, jossa kohteelle voidaan määrittää varoetäisyys, jonka sisällä koneohjauksen varoittaa kuljettajaa. Varoitustoimintaa voidaan hyödyntää kaksi- ja kolmiulotteisena. (23.)

Varoituskartoissa on kuitenkin huomioitava, että tiedot maan alla olevista rakenteista eivät koskaan ole täsmällisiä, minkä vuoksi kuljettaja ei siis voi täysin luottaa mallissa olevaan varoitustoimintoihin (23).



KUVA 26. Koneohjauksen näytöllä näkyvä varoituskarttatoiminto (25)

2.3 Toteutusvaiheen pilvipohjainen tiedonhallinta

Aineiston tiedonhallinta on siirtynyt viime vuosina entistä enemmän hyödyntämään langatonta pilvipohjaista tiedonsiirtoa. Tarjolla on useita erilaisia pilvipalveluita, joista toteutusvaiheessa on käytetty esimerkiksi Trimble Connectia sekä Infrakit-pilvipalvelua. VR Trackillä on otettu yleiseen käyttöön Infrakit-pilvipalvelu, jonka avulla toteutusvaiheen tiedonhallintaa pyritään tehostamaan ratarakentamisessa. (22.)

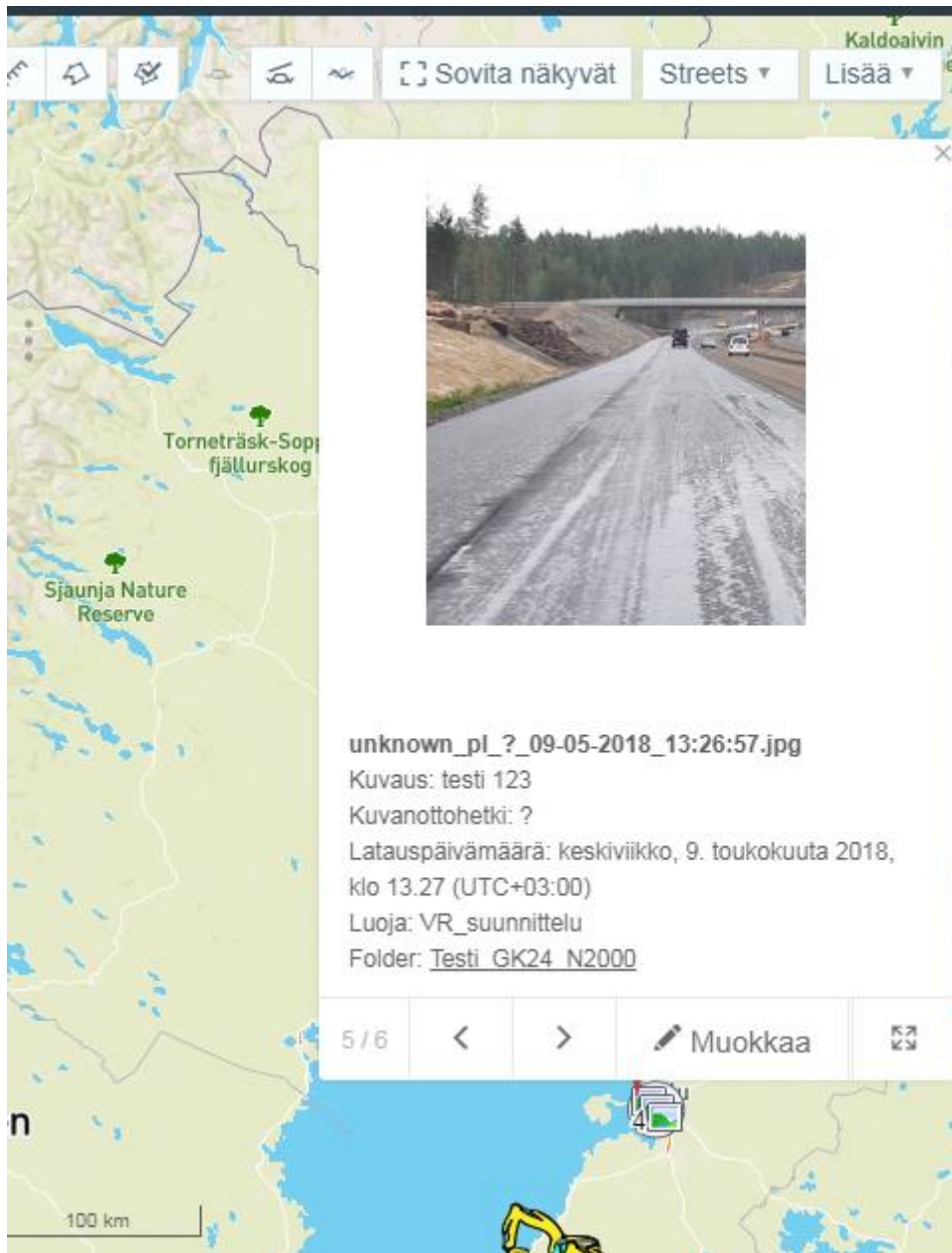
Infrakit on Suomalainen Infrarakentamisen projektihallintaan tarkoitettu pilvipalvelu. Alustalla voidaan jakaa reaaliaikaisesti projektin tietoja eri tekijöille. Infrakittiä voidaan hyödyntää hankkeen eri vaiheissa, esimerkiksi lähtötietomallin laatimisessa, tiedonsiirrossa tai luovutusaineiston laatimisessa. Infrakit myös

mahdollistaa langattoman koneohjausmallien viemisen Infrakitiä tukeviin koneohjausjärjestelmiin. Infrakit on varsin uusi palvelu, joka on ollut mukana tiiviisti rakentamisen tietomallinnuksen kehityksessä. (27.)

Infrakit tukee tietomallintamisessa käytettäviä yleisiä avoimia tiedostoformaatteja sekä kansallista Inframodel-formaattia. Infrakitin käyttää YIV-ohjeiden mukaisia tiedostojen ja rakenteiden nimi- ja rakennemuotoja. Yhtenevillä toimintatavoilla selkeytetään tietomallin käyttöä ja ehkäistään virhemahdollisuuksia. Infrakit tukee osittain IFC-formaattia tällä hetkellä. Infrakitissä voidaan esittää IFC-formaatissa olevan rakenteen ulkorajat ja poikkileikkausten äärirajat. (27.)

Infrakit-pilvipalvelun avulla kaikilla Infrakit-tunnukset omaavilla on aina saatavilla projektin ajantasainen aineisto. Aineistoa voidaan tarvittaessa lisätä, ladata tai tarkastella tietokoneelta tai Android-älypuhelimelta. (27.)

Infrakitiin voidaan lisätä valokuvia sijaintiin sidottuna (kuva 28). Valokuvat voidaan joko siirtää tietokoneen kautta infrakitiin tai valokuva voidaan siirtää suoraan Infrakittiin Android-sovelluksen avulla. Valokuvien lisäämistä voidaan hyödyntää esimerkiksi katselmuksien yhteydessä, jolloin otettuja kuvia voidaan helpommin hyödyntää myöhemmissä vaiheissa. (22.)



KUVA 27. Kuvien avulla voidaan havainnollistaa työmaalla havaittuja kohteita

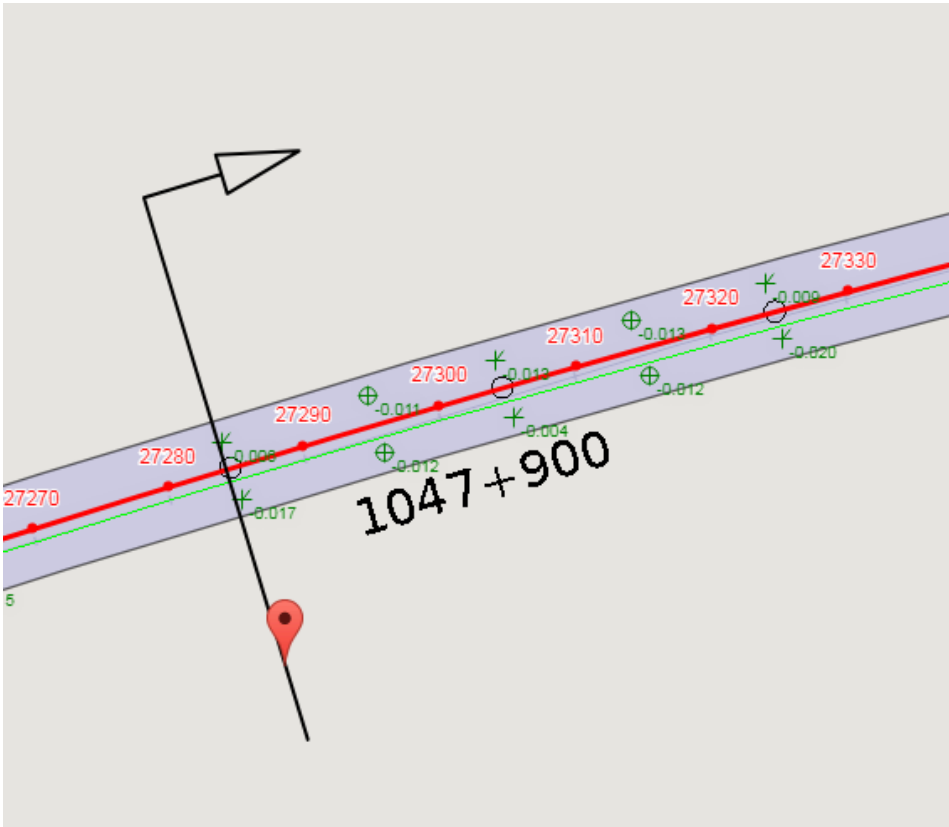
Infrakitissä voidaan tiedonhallinta toteuttaa yhdeltä alustalta, jolloin työnaikainen luovutusaineiston kerääminen on mahdollista. Esimerkiksi toteumatiedot sekä muu luovutusaineisto voidaan tallentaa Infrakitiin haluttuun järjestykseen. Infrakitistä voidaan tarvittaessa hakea paalukohtaiset poikkileikkaukset toteumatietoineen. (22.)

Infrakitissä voidaan seurata työkonien aktiivisuutta ja hallita koneisiin liittyviä yleisiä tietoja, mm. koneen kuljettajan tiedot sekä työkonien malli, kuten kuvassa 29 on esitetty. Infrakitin avulla voidaan siirtää dataa langattomasti koneohjausjärjestelmiin sekä siirtää koneen tuottamat toteumamittaukset koodattuna Infrakittiin reaaliajassa. Toteumapisteet tallennetaan rakennettävien pintojen tunnusten mukaan, jolloin toteumatietoihin tallentuu tieto, mistä rakenteesta toteuma on mitattu. Pintamalliin voidaan asettaa mittatoleranssit, joita voidaan seurata ja hallinnoida työn edetessä.

| KONEEN NIMI | TOIMINNOT | TYYPPI | PAALU | VIIMEISIN YHTEYS | KONEIDEN KÄYTTÖTILASTO |
|-----------------------|-----------|--------------------|-------|------------------|------------------------|
| ● CAT323E | ! ⬇ | Trimble Excavator | 0 | 14.08.2018 12.33 | 0% |
| ● Ratakaivin_telakone | ! ⬇ ↗ | Novatron Excavator | 0 | 15.07.2017 00.31 | 0% |
| ● Sami | ! ⬇ ↗ | Novatron | 0 | 31.05.2018 14.49 | 0% |
| ● Volvo 220_PL | ! ⬇ ↗ | Novatron Excavator | 0 | 20.03.2018 08.43 | 0% |
| ● Volvo EC 210 CL_AS | ! ⬇ ↗ | Novatron Excavator | 0 | 14.08.2018 12.39 | 83% |
| ● Volvo EC 290 CL_HS | ! ⬇ ↗ | Novatron Excavator | 0 | 01.08.2018 10.03 | 0% |
| ● Volvo_EC250_VL | ! ⬇ ↗ | Novatron Excavator | 0 | 14.08.2018 12.38 | 77% |

KUVA 28. Yleiskatsaus työkonista

Tarvittaessa tilaajalle voidaan antaa käyttöoikeudet Infrakit-projektiin, jolloin tilaajalla on mahdollisuus valvoa työn toteutumista. Pintamalleista mitatut toteumat voidaan havainnollistaa karttanäkymässä kuvan 30 mukaisesti. (22.)



KUVA 29. Toteumapisteiden havainnollistaminen

3 TIETOMALLIPOHJAINEN SUUNNITTELU

Suunnittelu on siirtynyt muutaman vuosikymmenen aikana käsin piirtämisestä tietokonepohjaiseen digitaaliseen suunnitteluun. Perinteisesti digitaalinen aineisto on laadittu useimmiten CAD-pohjaisina kaksiulotteisina piirustuksina. Ohjelmistojen kehittyessä rakennemalleja on voitu laatia kolmiulotteisesti, joita ei kuitenkaan ole voitu hyödyntää hankkeen seuraavissa vaiheissa tehokkaalla tavalla. Kuvassa 31 voidaan hahmottaa suunnittelun kehittymistä digitaalisemmaksi tietomallintamisen suuntaan. (23.)



KUVA 30. Suunnittelu ennen, nyt ja tulevaisuudessa

Suunnitelma-aineisto on useimmiten koostunut irrallisista dokumenteista. Aineisto ei ole vuorovaikutuksessa toisiinsa, jolloin eri lähteistä tulleiden aineistojen yhtensovittaminen, varsinkin aineistoon tulevien muutosten yhteydessä on haastavaa. Muutokset voivat aiheuttaa muiden suunnitelmien kanssa ristiriitaisuuksia, jotka pahimmassa tapauksessa huomataan vasta toteutusvaiheessa. Tiedonhallinnan tehostaminen sekä eri tekniikka-alojen suunnittelun yhtensovittaminen ovat olleet isoina tekijöinä suunnittelun kehittymiselle tietomallipohjaiseen suuntaan. (22; 23.)

Tietomallipohjainen suunnittelu on lähes kaikilla rakentamisen tekniikka-aloilla vallitsevana kehityssuuntana. Varsinkin talo- ja taitorakenteiden suunnittelussa käytettävät ohjelmistot mahdollistavat jo nykyhetkellä varsin tarkkoja, tietorikkaita tietomalleja rakenteista. Rakenteet kyetään mallintamaan osatarkkuudella

sisältäen ominaisuustiedot, mahdollistaen rakenteisiin liittyvän tiedonhaun tehokkaammin. (22; 23.)

Kuten aiemmin on todettu, tietomallipohjainen suunnittelu infra-alalla on muutaman askeleen jäljessä verrattuna talo- ja titorakenteiden tietomallipohjaiseen suunnitteluun. Suurimpina rajoitteina on ohjelmistojen ja tiedonsiirtoformaattien puutteet infrarakenteiden tehokkaan mallintamisen toteuttamiseksi. (22; 23.)

Haasteita asettavat myös muiden osapuolten ymmärrys tietomallintamisesta tai valmius hyödyntää tietomalliaineistoa. Tasoerot osaltaan rajoittavat aineiston laatimista tietomallipohjaisena. Varsinkin rakennussuunnittelussa on tarkoin harkittava, miten aineisto tulee laatia, jotta siitä olisi käytännössä hyötyä. (22; 23.)

3.1 Yleisimmät suunnitteluohjelmat VR Trackillä

VR Trackillä on käytössään useampia ohjelmistoja, joista ohjeiden osalta perehdyttiin Tekla Civiliin, Novapointiin, 3D-winiin sekä osittain Autocad-ohjelmistoon ja sen Map 3D-laajennukseen. Ohjeiden laadinnan alkuvaiheessa perehdyttiin suunnitteluohjelmistojen perustoimintoihin, painottaen toteutusaineiston uloskirjoittamiseen ja muotoon. Ohjelmiston käyttöön perehdyttiin yhteistyössä ohjelmistoja käyttäneiden suunnittelijoiden sekä tietomallikoordinaattoreiden kanssa.

Tekla Civil on infrarakentamiselle suunnattu suunnittelujärjestelmä, joka on ominaisuuksiltaan samankaltainen kuin Novapoint. Tekla Civilillä pystytään suunnittelemaan ratarakenteita tietomallipohjaisesti sekä kirjoittamaan aineistoa inframodel-formaatissa toteutusvaihetta varten. (28.)

Novapoint on infrasuunnitteluun suunnattu suunnittelujärjestelmä, joka pohjautuu Autodeskin Autocad-ohjelmistoon. Novapointin Base-versio on ohjelmiston perusohjelma, jota muut lisäohjelmat käyttävät perustana. Novapointille on useita eri tekniikka-aloille suunnattuja lisäohjelmia, kuten esimerkiksi Railway, Road sekä Water & Sewer, joilla voidaan laatia tarvittavat suunnitelmat ratarakentamiselle. (29.)

3D-Win on kotimainen maastomittausaineiston käsittelyyn suunnattu ohjelmisto. 3D-win on yleisesti käytetty ohjelmisto laadittaessa ja muokattaessa aineistoa työmaan käyttöön soveltuvaan muotoon. Ohjelmassa voidaan lisätä, muokata ja editoida erityyppistä aineistoa, esimerkiksi piste-, taiteviiva- sekä kolmioverkkoaineistoa. 3D-Winistä löytyy laaja kirjo formaattimuuntimia sekä toimintoja eri laite- ja ohjelmistomuunnoksia varten. 3D-Winissä tehdään usein ns. lopulliset viimeistelyt aineistolle ennen luovutusta. (30.)

Autocad on Autodeskin kehittämä suunnittelu- ja piirto-ohjelmisto, joka on käytössä laajalti monien eri alojen suunnittelussa. Autocadia käytetään yleisesti suunnitelma-aineiston muokkaamiseen sekä piirustusten laatimiseen. Autocadissa käytettävät DWG- ja DXF-formaatit ovat yleisesti käytettyjä tietojen formaattimuotoja, joita hyödynnetään monissa ulkopuolisissa ohjelmistoissa ja laitteissa. Jotkin ohjelmistot, esimerkiksi Novapoint pohjautuu Autocadin järjestelmän päälle. Autocadin kehittämä Map 3D -laajennus tuo toimintoja hallita suunnitelma-aineiston sisältämää paikkatietoa tehokkaammin. (31.)

3.2 Tietomallisuunnitelma

Mikäli hankkeessa aiotaan hyödyntää tietomallintamista laajemmassa mittakaavassa, on suositeltavaa laatia tietomallinnusta ohjaava tietomallisuunnitelma hankkeen alkuvaiheessa. Tietomallisuunnitelmassa käsitellään mm.

- Mallintamisen laajuus
- mallintamisen tavoitteet
- mallintamisen käyttötarkoitus
- mallin luovutus ja dokumentointi
- hankekohtaiset poikkeukset yleisistä mallinnusvaatimuksista.
- roolit ja vastuut, organisaatio
- laadunvarmistus. (32.)

Tietomallinnussuunnitelmaan kirjattavia asiakohtia ohjaavat suunnitteluperusteet, suunnitteluohjelma, yleiset mallinnusvaatimukset, sekä tekniikkalajikohtaiset ohjeistukset. Yleisten inframallivaatimusten ensimmäisessä osassa on esitetty laajemmin tietomallipohjaisen hankkeen suunnittelussa huomioitava tekijöitä. (32.)

3.3 Tietomalliselostus

Tietomalliselostuksen ja luettelon avulla voidaan muodostaa yleiskuva tietomallien sisällöstä ja laadinnan prosessista. Toteutuksessa niiden avulla voidaan varmistaa aineiston ajantasaisuus ja tarkkuustaso. Tietomalliselostus ja luettelo ovat osa luovutettavaa toteutusaineistoa. (32.)

Selostuksessa kerrotaan lyhyesti, mitä tietoa malliaineisto sisältää, ja mahdolliset poikkeukset vaatimuksista. Selostuksessa kuvataan käytännössä mallinnetun aineiston tila luovutushetkellä. (32.)

Malliselostuksessa käydään läpi tiedostokohtaisesti mm.

- kohde ja mallin käyttötarkoitus
- sisältyvät tekniikkalajien mallit ja niiden sisältö
- käytetty ohjelmisto ja sen versio ja tiedostomuodot
- koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä
- osien nimeämis- ja numerointikäytännöt
- mahdolliset puutteet ja keskeneräisyydet mallissa suhteessa kyseisen vaiheen vaatimuksiin
- rakenteiden tarkkuus inframallissa verrattuna vaadittuun vaiheeseen
- tuotetut tiedostot
- laadunvarmistustoimenpiteet
- mallin tarkastus- ja hyväksymistiedot
- muut huomioitavat asiat. (32.)

Lähtötieto-, toteutus ja suunnitelmamallien selostukset voidaan laatia yhteiseen dokumenttiin. Tilanteesta riippuen voidaan myös laatia erilliset selostukset, mikäli esimerkiksi lähtötietomalli tulee tilaajalta. (32.)

3.4 Tietomalliluettelo

Tietomallien laadinnasta pidetään ns. ”lokitedostoa”, johon merkataan tietomallin raaka-aineiston hankinnan vaiheet, aineistoon tehdyt muutokset ja lisäykset. Luettelolla on tarkoitus seurata ja dokumentoida tietomallin laadinnan prosessia. (22.)

Toteutusvaiheessa tietomalliluettelo on tärkeä tiedonlähde aineiston ajantasaisuuden tarkistamiseksi. Tästä syystä tietomalliluettelo tulee päivittää aina, kun aineistoon tehdään muutoksia. (22.)

3.5 Mallinnettavat rakenteet toteutusvaiheelle

Yleisvaatimuksena toteutukseen mallinnetaan ne kohteet, joiden rakentamisessa hyödynnetään koneohjausta. Mallinnettavista rakenteista on hyvä sopia etukäteen, miten ja millä tarkkuudella rakenteet mallinnetaan, jotta malliaineistosta on käytännössä hyötyä. (33.)

Tietomallien käyttö toteutusvaiheessa painottuu koneohjaukseen, minkä vuoksi usein termit toteutusmalli ja koneohjausmalli sekoittuvat. Suunnittelijan ei kuitenkaan lähtökohtaisesti tarvitse ”räätälöidä” malliaineistoa laitevalmistajien vaatimaan muotoon. Lopullinen muokaus tapahtuu urakoitsijan mittausvastaavan, tietomallikoordinaattorin tai tietomallioperaattorin toimesta. Suunnittelijan tulee kuitenkin laatia mallinnettu aineisto yleisten vaatimusten mukaisesti, jotta työmaalla vältetään turhilta muokausvaiheilta. Oikein laadittuja malleja voidaan käyttää jopa sellaisinaan ilman muokausvaiheita. (22; 25.)

Mallintamiselle laadittuja vaatimus- ja ohjejulkaisuja käytetään usein projektin mallinnusvaatimusten viiteaineistona, sillä ne antavat mallintamisen yleispiirteiset vaatimukset. Ohjejulkaisut eivät kuitenkaan huomioi hankkeen luonteesta riippuvia seikkoja, minkä vuoksi onkin tärkeä sopia muiden osapuolten kanssa mallinnettavista rakenteista ja tarkkuudesta. (22; 25.)

Toteutuksen mallinnustapojen selkeyttämiseksi BIM2020 -projektissa kartoitettiin suositeltavat mallinnustavat litterakohtaisesti mallinnuskortteihin. Mallinnuskorteissa esitetään rakenteen suositeltava esitystapa sekä formaatti. Mallinnuskorttien näkökulmat yhtenäistettiin olemassa olevien ohjevaatimusten kanssa, mutta tietyille rakenteille voidaan esittää poikkeavaa esitystapaa työmaakokemusten perusteella.

Mallinnuskorteissa otettiin huomioon pelkästään toteutusvaiheen näkökulma. Malliaineiston eri käyttötarkoitus voi asettaa poikkeavia mallinnustarpeita.

3.6 Malliaineiston laadunvarmistus

Mallinnetun aineiston kelpoisuus tulee vaimistaa hankkeen eri vaiheissa. Rakennushankkeissa aineiston tarkastavia osapuolia ovat yleensä tilaaja, suunnittelija sekä toteuttaja. Riippuen hankkeen organisaatorakenteesta tarkastusmenettely voi kuitenkin poiketa. (34.)

Suunnittelun itselleluovutuksessa on suositeltavaa soveltaa toteutusmalliaineiston tarkistuksessa samoja tarkastusmenetelmiä, joita sovelletaan toteutusvaiheessa. Tällöin aineistosta todennäköisesti saadaan poistettua ne virheet, jotka aiheuttavat usein lisätyötä toteutusvaiheessa. Itselleluovutuksen visuaalisen tarkastelun apuna voidaan käyttää erilaisia ohjelmia, esimerkiksi 3D-winiä tai koneohjausjärjestelmien työpöytäsimulaattoreita. (22; 23; 25.)

Tietomallipohjaisessa hankkeessa laadittavat tietomalliselostus ja -luettelo sekä itselleluovutuksen tarkastusdokumentit tulee tarkistaa perinteisten dokumenttipohjaisten aineistojen tavoin (34).

Malliaineiston tarkastamiseksi on laadittu erilaisia tarkastuslistoja, joista esimerkiksi BuildingSMARTin laatimaa tarkastuslistaa on hyödynnetty toteutusvaiheessa. Samaa tarkistuslistaa suositellaan käytettäväksi myös suunnittelijan itselle luovutuksessa. Tarkistuslista on todennäköisesti julkaistaan YIV-ohjeiden seuraavan päivityksen yhteydessä. (23.)

3.7 Toteutusmalliaineiston tarkastaminen

Toteutusaineiston mallinnetun aineiston tarkastaminen voidaan pääpiirteittäin jakaa sisällölliseen ja laadulliseen tarkasteluun. Sisällöllisessä tarkastelussa selvitetään, mitä aineistoa löytyy ja mitä puuttuu, sekä se, onko aineisto dokumentoitu oikeaoppisesti. Laadullisessa tarkastelussa selvitetään, miten aineisto on laadittu ts. onko aineisto laadittu teknisesti oikein. Kuvassa 30 on tiivistetysti esitetty oleellisimpia tarkastuksessa huomioitavat seikat, jotka on esitetty Novatronin laatimassa aineistossa. (35.)

Sisällöllinen tarkastelu

- Onko kaikkien rakennettavien kohteiden aineisto toimitettu?
 - Lähtötieto-, malli- ja dokumenttipohjainen aineisto
- Mitä tiedonsiirtoformaattia on käytetty?
- Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä?
- Mittausperusta?
- Onko tietomalliselostus toimitettu?

Laadullinen tarkastelu

- Taiteviiva-aineiston tarkastus
 - Onko metatiedot oikein?
 - Onko pintatunnukset ja lajikoodit InfraBIM-nimikkeistön mukaiset?
 - Missä muodossa taiteviivat on esitetty?
 - Onko kolmioituvuutta haittaavia virheitä/epäkohtia?
- Kolmioverkkoaineiston tarkastus:
 - Onko metatiedot oikein?
 - Onko pintatunnukset ja (*lajikoodit) InfraBIM-nimikkeistön mukaiset?
 - Sisältääkö mukanaan taiteviivat (*Breaklines)
 - Onko poikkeavia kaltevuuksia
 - Onko reikiä?
 - Onko taiteviivoissa ja kolmioverkossa samat pisteet (yhtenevyys)
- Geometria- ja linja-aineiston tarkastus:
 - Onko matemaattisia ongelmia
 - Onko yksittäisen tielinjan vaaka- ja pystygeometriat yhtä pitkät?
 - Onko vaaka- ja pystygeometrioiden sama linjanimi?
 - Onko reunakiviliinat 2D vai 3D?
 - Putkilinjojen kaltevuudet
- Pistemäisen aineiston tarkastus:
 - Onko korkeustieto ja sijainti muihin rakenteisiin verrattuna oikein (esim. valaisinpylväiden etäisyys tien reunaan tai kaivon etäisyys reunakiviliinaan)?
- Yhteensopivuuden tarkastus:
 - Onko eri väylien liitoskohtien tasaus ja kaltevuudet yhteensopivat?
 - Pistemäisen tiedon törmäystarkastelu muihin rakenteisiin verrattuna

KUVA 31. Novatronin ohjeiden tiivistelmä

3.8 Toteutusmalliaineiston tarkkuusvaatimukset

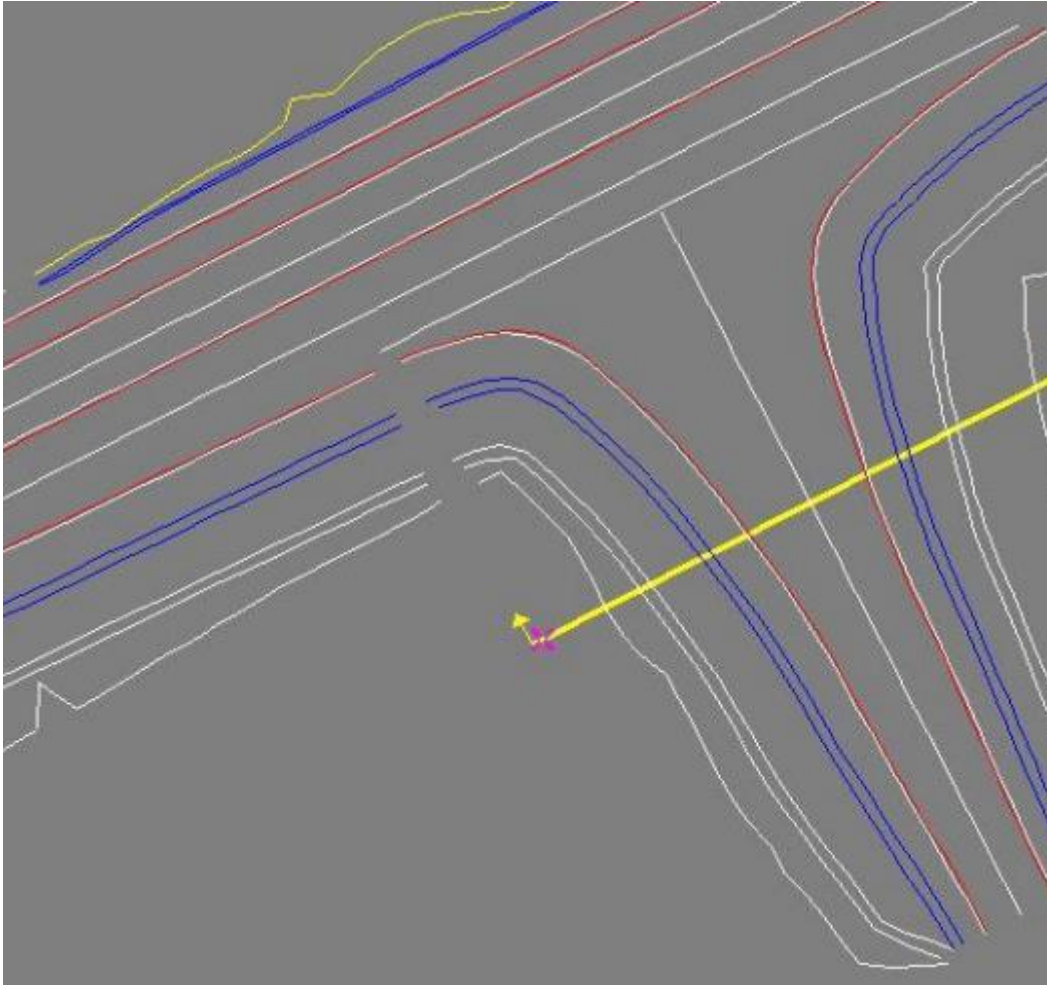
Yleisissä inframallivaatimuksissa on annettu ohjeita koneohjausmallien laatimiselle. Laadulliset tarkkuusvaatimukset voidaan jakaa taiteviivojen ja pintojen jatkuvuusvaatimuksiin sekä taiteviivojen ja pintojen geometriavaatimuksiin. Luvuissa 3.8.1 sekä 3.8.2 on tiivistetty ja osittain selitetty tarkastamisessa huomioitavia asioita. (33.)

3.8.1 Jatkuvuusvaatimukset

Jatkuvuusvaatimuksilla pyritään takaamaan mallinnetun aineiston virheetön kuvautuminen käytettävistä ohjelmistoista riippumatta. Jatkuvuuspoikkeamat voivat aiheuttaa huomattavia muutoksia esimerkiksi pintamalleihin. (33.)

Jatkuvuusvaatimuksia ovat:

- ei päällekkäisiä taiteviivoja samassa pinnassa
- ei risteäviä taiteviivoja
- ei pystysuoria muutoksia
- Pinta ei saa mennä suoraan ylöspäin, pienikin viiste on riittävä
- pinta ei saa taittua päällekkäin
- enintään yhden metrin rako taiteviivojen välillä rakenteiden liittymiskohdissa (kuva 34). (33.)



KUVA 32. Sallittu rako liittyvässä rakenteessa (YIV2015)

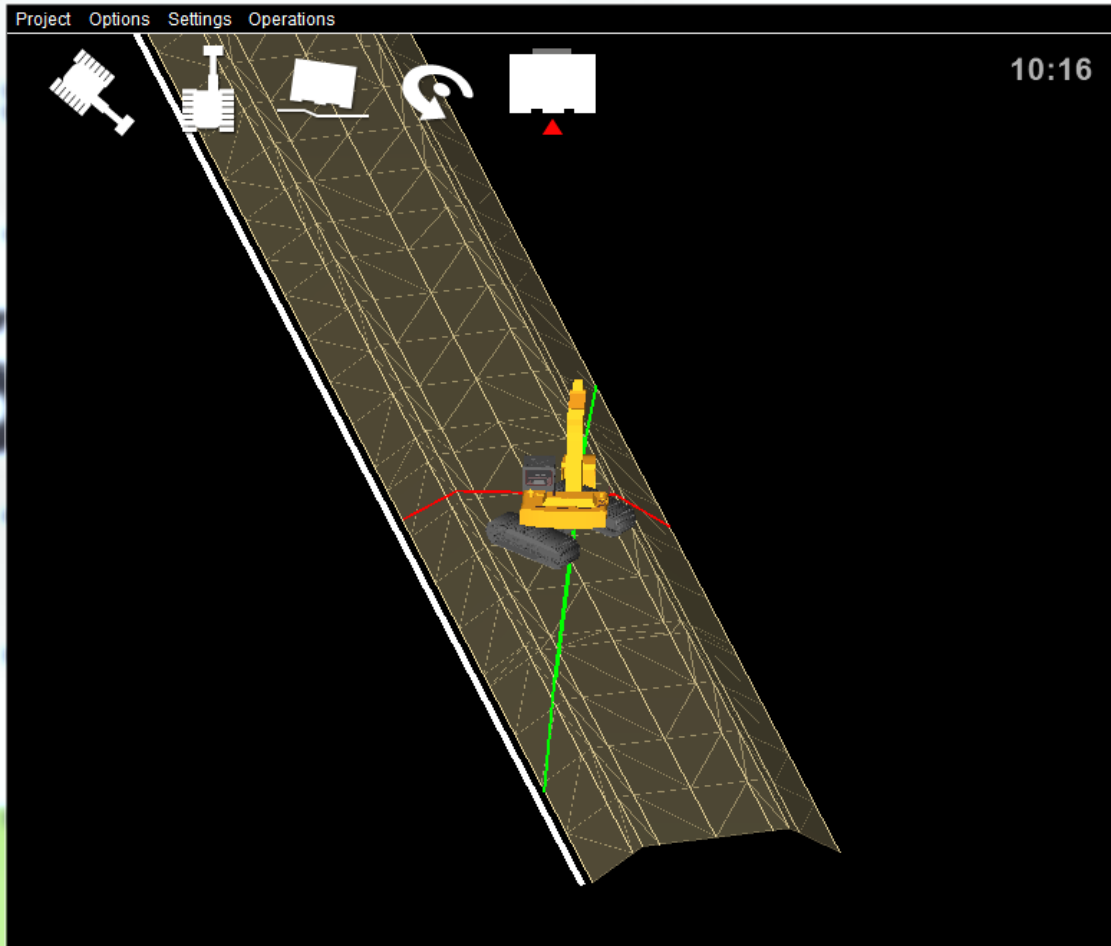
3.8.2 Geometriavaatimukset

Geometriavaatimukset antavat raja-arvot malliaineiston geometrian tarkkuustasolle. Vaatimuksilla pyritään ehkäisemään matemaattisten poikkeavuuksien esiintymistä malliaineistossa muuhun suunnitelma-aineistoon. (33.)

Geometriavaatimuksia ovat:

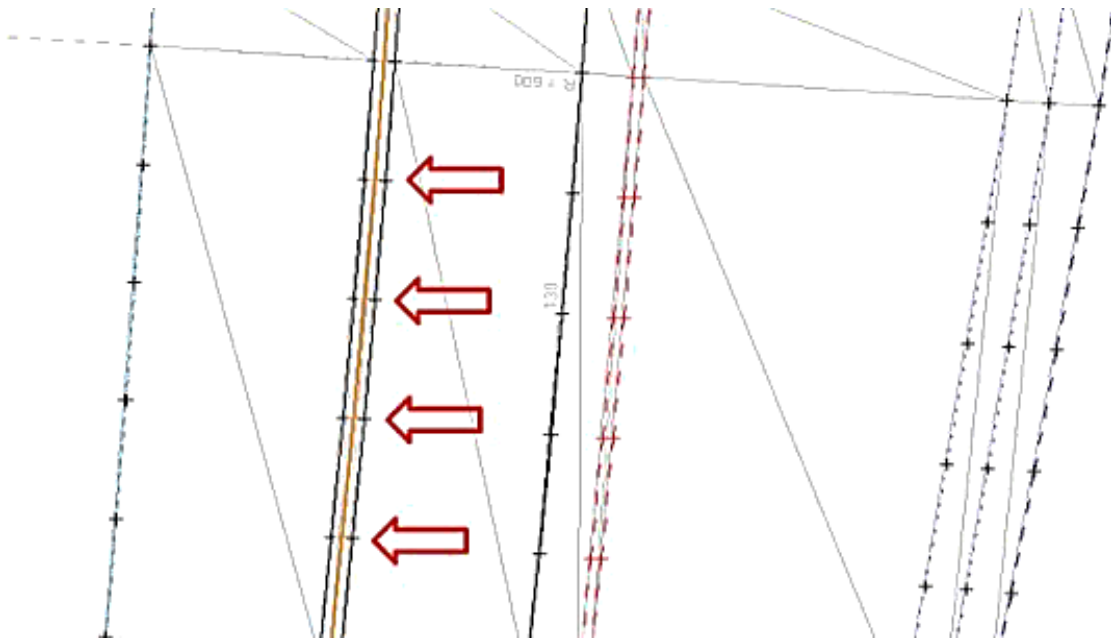
- taiteviiva enintään 10 m pitkä, vähintään 0,5 m
- vähimmäispituudesta voidaan poiketa esimerkiksi ylimmän yhdistelmäpinnan tai tarkkojen pintamallien kuvautumisen parantamiseksi

- Kolmiointi mahdollisimman säännönmukainen
- Säännöllinen piste- ja taiteviivaväli takaa selkeän kolmioverkon (kuva 35)
- kolmiot oikein päin



KUVA 33. Säännöllinen kolmiointi

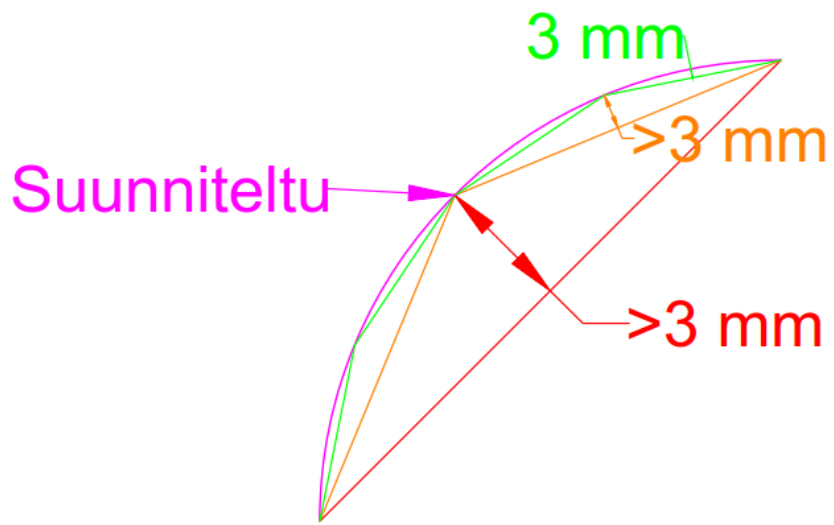
- kolmiointin pisteet yhtenevät taiteviiva-aineiston kanssa (kuva 36). (33.)



KUVA 34. Esimerkki irtonaisesta linjasta kolmioverkossa (24)

Taiteviivat muodostuvat suorista, jonka vuoksi pyöristettyjen muotojen mallintamisessa syntyy poikkeavuutta taiteviivojen pituudesta riippuen. Vaatimusten mukaan taiteviiva saa poiketa suunnitellusta linjasta Enintään ± 3 mm (kuva 37). (33.)

- Huomioitava esim. kaarteissa.
- poikkeamaa vähennetään tihentämällä taiteviivojen pisteväliä, kuitenkin vähimmäispituudet huomioiden
- pysty- ja vaakageometriassa pienempi kaarresäde määrää tarkkuuden.
- taiteviivojen enimmäispituudet kaarteissa on taulukoitu YIV-ohjeissa. (33.)



KUVA 35. Taiteviivan sallittu poikkeama suunnitellusta kaaresta

4 OHJEISTUKSEN LAADINTA SUUNNITTELULLE

Tietomallipohjainen hanke edellyttää entistä enemmän yhteistyötä hankkeen eri toimijoiden, varsinkin suunnittelun ja toteutuksen välillä. Toimiva tietomallipohjainen rakentaminen edellyttää, että osapuolet hahmottavat eri osapuolten valmiuden hyödyntää tietomallintamista käytännössä.

Opinnäytetyössä laadittavan ohjeistuksen tavoitteena oli hahmottaa suunnittelijalle nykyhetken toteutusvaiheen tietomallintamisen käyttövalmiutta sekä antaa konkreettisia ohjeita toteutusaineiston laadinnalle. Luvuissa 5.1–5.6 kuvataan ohjeistuksen laadinnan prosessia.

4.1 Yleisosion laadinta

Tietomallintaminen oli opinnäytetyön kirjoitushetkellä suhteellisen uusi ilmiö. Sen vuoksi koettiin tarpeelliseksi laatia ohjeisiin tietomallintamisen yleisesittely sekä lisätä linkit julkisiin tietomallintamista käsitteleviin tietolähteisiin. Yleisosiossa painotettiin toteutusvaiheen tietomallintamisen nykytilannetta, jotta ohjeiden lukijalle tulisi mahdollisimman selkeä kuva, millaista tietomallipohjaista toteutusaineistoa voidaan hyödyntää rakentamisessa.

Tietojen keräämiseksi laadittiin kyselyitä eri tahoille. Koneohjausjärjestelmien valmistajille laadittiin kysely, jolla kartoitettiin koneohjausjärjestelmien valmiutta hyödyntää malliaineistoa. Muut yleistiedot kartoitettiin haastattelujen sekä olemassa olevien ohjeaineiston avulla.

4.2 Toteutusvaiheen haastattelut

Toteutusvaiheen mallinnusohjeita kerättiin haastattelemalla VR Trackin tietomallikoordinaattoreita sekä mittauksen ja suunnittelun henkilöstöä. Geoteknisten rakenteiden osalta mallinnusohjeita kyseltiin sähköpostitse VR Trackin geotekniikan suunnittelijoilta, joilla oli kokemusta toteutusvaiheen malliaineiston laadinnasta.

Osa haastatteluihin osallistuneista henkilöistä ovat olleet osana Tampereen raitiotien allianssihanketta. Allianssihanke oli ohjeiden laadinnan kannalta

erinomainen tiedonlähde ohjeiden laadinnalle, sillä toteutuksen ja suunnittelun yhteistyö allianssihankeissa on huomattavasti tiiviimpää tavanomaisiin urakkamuotoihin verrattuna. Raitiotieallianssin hankkeen aikana on voitu laatia juuri sellaista aineistoa, jota toteutuksessa on tarvittu. Yhtenä ohjeistuksen tarkoituksena olikin kerätä hankkeissa havaittuja toimivia käytäntöjä toteutusaineiston laadinnalle. Tampereen raitiotieallianssin tapaamisen pohjalle laadittiin lisäksi kysymyksiä, joilla kartoitettiin yleisesti tietomallipohjaista toteutusta.

4.3 Haastattelujen yhteenveto

Useimmille rakenteille sekä radan sähkö- ja turvalaitteille saatiin koottua mallinnusohjeet haastattelujen ja kyselyjen avulla mallinnuskortteihin melko kattavasti. Osaan geoteknisistä rakenteista saatiin myös mallinnusohjeita.

Suurin osa toteutusvaiheen mallinnusvaatimuksista oli yksinkertaisia esitystapamuotoja, esimerkiksi pylväistä riittävänä esitystapana koettiin XYZ-koordinaatteihin sidottu pistetieto gt-formaatissa.

Suunnittelijan aineiston tarkastukseen toivottiin hyödynnettäväksi samoja tarkastusmenetelmiä, joita käytetään toteutusvaiheessa. Yhtenevillä tarkastusmenettelyllä voitaisiin ehkäistä suurin osa niistä virheistä, jotka aiheuttavat ylimääräistä työtä toteutusvaiheessa.

Osalle rakenteita esitettiin 3D-objekteja sekä PIPENETWORKS-määrittelyä vaihtoehtoiseksi esitystavaksi, mikäli rakenne halutaan havainnollistaa tarkemmin. Molemmissa esitystavoissa kuitenkin on ongelmana niiden käytännön hyödyn vähyys, sillä koneohjausjärjestelmät eivät saa tarvittavaa paikkatietoa.

4.4 Mallinnuskorttien laatiminen

Mallinnusohjeet koostettiin kuvan 38 mukaisiin litterakohtaisiin mallinnuskortteihin, joihin määriteltiin toteutusvaiheen näkökulmat rakennekohtaisesti. Mallinnustapojen kartoittamisen lisäksi haastattelussa nousi

esille muita olennaisia asioita, joita on pyritty nostamaan esille ohjeen yleisosassa

241000 Tukikerrokset ratarakenteissa Tuk

241100 Tukikerrokset

| Mallinnusvaatimukset ja -tarkkuus |
|---|
| YIV-ohjeiden mallinnusvaatimukset |
| Mallinnusvaatimus: Geometria: - tukikerroksen yläpinta mallinnetaan pintana xyz-koordinaatistossa |
| Ominaisuudet: - tukikerroksen vaatimukset, linkki erilliseen dokumenttiin |
| Käytettävät formaatit: |
| Toteutusmallit |
| Toteutus tarvitsee |
| <ul style="list-style-type: none">• Tukikerroksen yläpinta kolmioverkkona + taiteviiva-aineisto<ul style="list-style-type: none">○ Inframodel-formaatti• Rakennekerroksen luiskat tulee mallintaa koneohjauksen sekä määrälaskennan vuoksi.• Tukikerroksen vaatimukset esitettynä, esimerkiksi linkki erilliseen dokumenttiin• Rakentajakoodauksesta löytyy tarkentavia pintatunnuksia |

KUVA 36. Esimerkki mallinnuskortista

Samalla ajanhetkellä, kun mallinnusohjeita laadittiin, oli YIV-ohjeisiin tulossa laaja päivitys toteutusvaiheen mallintamiselle. Päivitysohjeiden vastuuhenkilöiltä pyrittiin kyselemään lisätietoja päivityksen sisällöstä, jotta omat laaditut mallinnusohjeet eivät olisi ristiriitaiset yleisten ohjevaatimusten kanssa.

Haastattelujen ja kyselyjen jälkeen laadittiin esitystapakohtaiset ohjeet malliaineistolle.

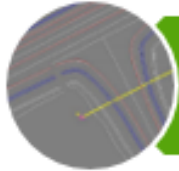
4.5 Esitystapakohtaisten ohjeiden laadinta

Kuten haastatteluista kävi ilmi, suurin osa toteutuksen tarvitsemasta aineistosta koostuu pisteistä, taiteviivoista, geometrialinjoista, pinnoista sekä suunnitelma- ja taustakartoissa esitettävistä tiedoista. Toteutuksessa voidaan osittain hyödyntää Inframodelin Pipenetworks-määrittelyä sekä 3D-objekteja visuaaliseen havainnollistamiseen. Ohjeet nähtiin järkeväksi laatia kuvaan 39 koostettuihin esitystapoihin.



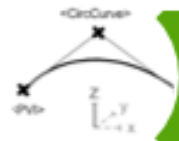
Pisteet

- Pistemäiset kohteet esim. pylväät, puut jne.



Taiteviivat

- Pintojen taitteet ja linjamaiset rakenteet.



Geometrialinjat

- Tie- ja raidegeometria
- Linjat, joihin sidotaan muita rakenteita.



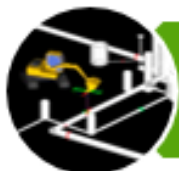
Pinnat (kolmioverkot)

- Rakennekerrokset, pinnat, aluemaaiset kohteet.



Objektit (3d-solid, 3d-mesh)

- Rakenteet, joiden visuaalinen havainnollistaminen tuo lisäarvoa toteutukselle.



Verkostojärjestelmät

- Vesi- ja viemärijärjestelmät yms. järjestelmät
- Inframodel-formaatti <PipeNetwork>



Suunnitelma- ja taustakartat

- Kohteet joiden mallintaminen ei tuo lisäarvoa, voidaan esittää taustakartoissa.



Dokumenttipohjainen aineisto

- Työselitykset, luettelot, viiteaineisto jne.

KUVA 37. Kooste toteutusvaiheessa hyödynnettävästä aineistosta

Suunnitteluohjelmistoihin perehdyttäessä ohjelmistoissa havaittiin huomattavia poikkeavuuksia niiden tavassa kirjoittaa aineistoa avoimissa formaateissa. Tekla Civilissä ja Novapointissa havaitut ongelmat Inframodelissa olivat suurimmalta osin puutteellisia tunnus- ja kooditietoja, jotka joudutaan jälkeinpäin korjaamaan muilla ohjelmilla. Osassa aineistoa havaittiin ongelmia myös puutteellisten paikkatietojen tai muiden ominaisuustietojen virheellisenä uloskirjautumisena. Laadituissa ohjeissa on pyritty korostamaan havaittuja virheitä ja pyritty antamaan mahdollisimman yksinkertaiset ohjeet niiden korjaamiseksi.

Pisteet

Kohteet esitetään yksinkertaisimmillaan pisteinä, joille on annettu XY-koordinaatti sekä korkotieto Z. Tekla Civilissä tai Novapointissa ei varsinaisesti voitu laatia pisteaineistoa. Pisteaineisto laadittiin jälkikäteen muussa formaatissa olevasta aineistosta. Pisteaineistoa laadittiin esimerkiksi 3D-winissä, jossa voidaan laatia ja muokata pisteitä ja kirjoittaa ne esimerkiksi gt-formaattiin.

Suunnitteluohjelmistoilla laadituista aineistoista esimerkiksi Pipenetworks-määrittelyssä olevasta aineistosta putkilinjat ja kaivot voitiin muuntaa taiteviivoiksi ja pisteiksi. Aineiston muuntaminen vaatii kuitenkin ominaisuustietojen muokkaamista formaattimuunnokseen sopivaan muotoon. Kuvassa 40 on esitetty alkuperäisestä Pipenetworks-aineistosta laadittu piste- ja taiteviiva-aineisto gt-formaatissa. Kuten kuvasta 40 voidaan havaita, aineiston rakenne on hyvin satunnaista eikä todennäköisesti toimi toteutusvaiheessa käytettävissä laitteissa.

| | | | | | | | | | | | |
|----|-------|--------|-----------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|---------|------|
| 1 | ..... | 312300 | Sekavesi | ..... | 7107720.861 | ..... | 3528724.878 | ..... | 156.047 | CRIF | |
| 2 | ..... |  | Sekavesi | ..... | 7107720.861 | ..... | 3528724.878 | ..... | 155.395 | CRIF | |
| 3 | ..... |  | Sekavesi | ..... | 7107720.861 | ..... | 3528724.878 | ..... | 155.300 | CRIF | |
| 4 | ..... | 312300 | Sekavesi | ..... | 7107829.911 | ..... | 3528672.564 | ..... | 157.167 | CRIF | |
| 5 | ..... |  | Sekavesi | ..... | 7107829.911 | ..... | 3528672.564 | ..... | 156.000 | CRIF | |
| 6 | ..... | 312300 | Sekavesi | ..... | 7107738.913 | ..... | 3528589.671 | ..... | 155.503 | CRIF | |
| 7 | ..... |  | Sekavesi | ..... | 7107738.913 | ..... | 3528589.671 | ..... | 154.618 | CRIF | |
| 8 | ..... |  | Sekavesi | ..... | 7107738.913 | ..... | 3528589.671 | ..... | 154.600 | CRIF | |
| 9 | ..... | 312300 | Sekavesi | ..... | 7107631.337 | ..... | 3528496.831 | ..... | 154.097 | CRIF | |
| 10 | ..... |  | Sekavesi | ..... | 7107631.337 | ..... | 3528496.831 | ..... | 153.179 | CRIF | |
| 11 | | | Sekavesi | 311100 | | 7107738.913 | | 3528589.671 | | 154.618 | CRIF |
| 12 | | | Sekavesi | 311100 | | 7107720.861 | | 3528724.878 | | 155.300 | CRIF |
| 13 | | | SekavesiX | 311100 | | 7107631.337 | | 3528496.831 | | 153.179 | CRIF |
| 14 | | | SekavesiX | 311100 | | 7107738.913 | | 3528589.671 | | 154.600 | CRIF |

KUVA 38. Alkuperäinen Pipenetworks-aineisto muunnettuna gt-formaattiin

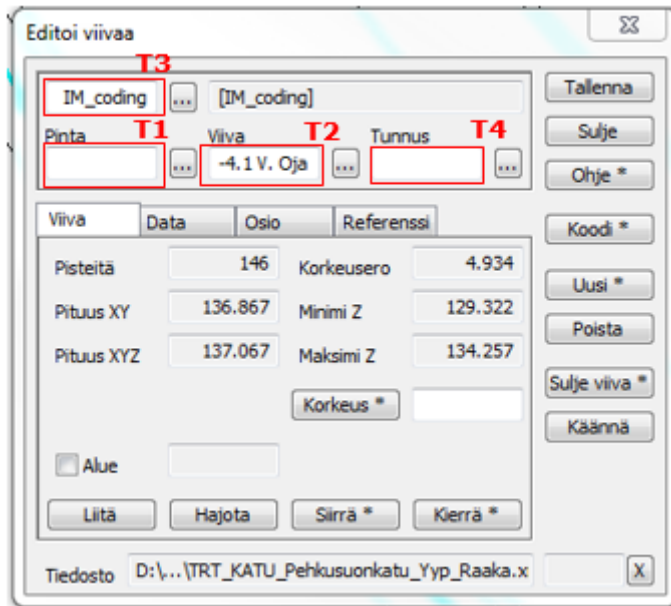
Aineistoa muokattiin esimerkiksi 3D-winin avulla, jossa pisteiden ominaisuustiedot korjattiin paremmin soveltuvaan muotoon. Kuvassa 41 on esitetty sama aineisto muokattuna ja muunnettuna gt-formaattiin 3D-winillä.

| | | | | | | | | | |
|----|--------|---|------|-----|-------------|-------------|---------|----|----|
| 1 | 312220 | 0 | D432 | K11 | 7107720.861 | 3528724.878 | 156.047 | CR | TF |
| 2 | 312220 | 0 | D430 | K11 | 7107720.861 | 3528724.878 | 155.300 | CR | TF |
| 3 | 312220 | 0 | D432 | K10 | 7107829.911 | 3528672.564 | 157.167 | CR | TF |
| 4 | 312220 | 0 | D430 | K10 | 7107829.911 | 3528672.564 | 156.000 | CR | TF |
| 5 | 312220 | 0 | D432 | K12 | 7107738.913 | 3528589.671 | 155.503 | CR | TF |
| 6 | 312220 | 0 | D430 | K12 | 7107738.913 | 3528589.671 | 154.600 | CR | TF |
| 7 | 312220 | 0 | D432 | K12 | 7107631.337 | 3528496.831 | 154.097 | CR | TF |
| 8 | 312220 | 0 | D430 | K12 | 7107631.337 | 3528496.831 | 153.179 | CR | TF |
| 9 | 312100 | 2 | P12 | P12 | 7107738.913 | 3528589.671 | 154.618 | CR | TF |
| 10 | 312100 | 2 | P12 | P12 | 7107720.861 | 3528724.878 | 155.300 | CR | TF |
| 11 | 312100 | 3 | P13 | P13 | 7107631.337 | 3528496.831 | 153.179 | CR | TF |
| 12 | 312100 | 3 | P13 | P13 | 7107738.913 | 3528589.671 | 154.600 | CR | TF |
| 13 | 312100 | 1 | P11 | P11 | 7107720.861 | 3528724.878 | 155.395 | CR | TF |
| 14 | 312100 | 1 | P11 | P11 | 7107829.911 | 3528672.564 | 156.000 | CR | TF |

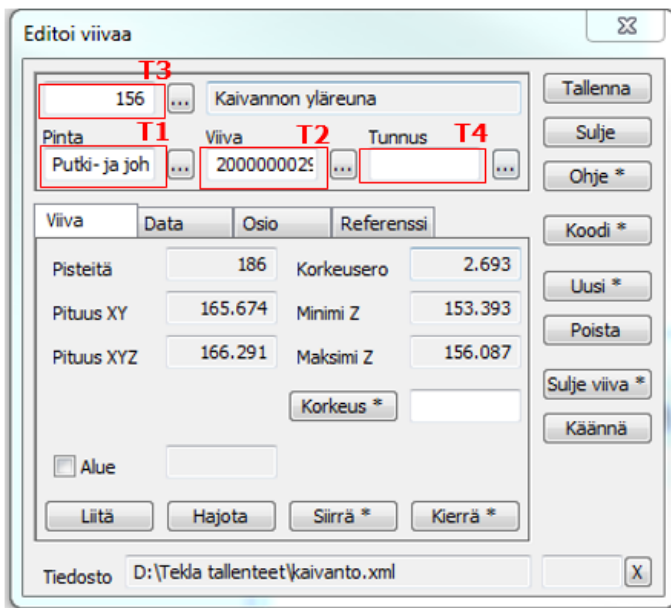
KUVA 39. 3D-winillä muokattu Pipenetworks-aineisto muunnettu gt-formaattiin

Taiteviivat

Kirjoitettaessa taiteviivoja Inframodel-formaattiin T2-taiteviivalajit kirjoittautuivat useimmiten oikein suunnitteluohjelmistoissa, mutta pintatunnukset olivat useimmiten virheelliset. Numeerisen pintatunnuksen sijasta tilalla oli joko tekstimuotoinen selite tai tunnus puuttui kokonaan. Puutteelliset tunnukset voitiin korjata jälkikäteen 3D-winillä. Kuvissa 42 ja 43 on esitetty eri suunnitteluohjelmistoilla tuotettujen taiteviiva-aineistojen puutteita Inframodel-formaatissa.



KUVA 40. Novapointissa tuotetun taiteviivan puutteita, T1-T3



KUVA 41. Tekla Civilissä tuotetun taiteviivan puutteita, T1, T2

Tekla Civilissä taiteviivat kirjoittautuivat Inframodelin IrregularLine-määrittelyyn, jota ei suositella käytettäväksi taiteviiva-aineistolle. Novapoint kirjoitti taiteviiva-aineiston Breaklines-määrittelyyn, jota suositellaan käytettäväksi

toteutusaineiston osalta. Kuvissa 44 ja 45 on havainnollistettu IrregularLine- ja Breaklines-määrittelyn eroavaisuuksia samasta taiteviivasta.

```
<Alignment name="2000000027_SL" length="165.514570324" staStart="0" desc="1 Kaivanto_pohja_Q" oID="" state="proposed">
  <CoordGeom>
    <IrregularLine length="165.514570324" staStart="0">
      <Start>7107514.702089 3528730.681692 152.947525</Start>
      <End>7107669.184386 3528790.097960 155.648723</End>
      <PntList3D>7107514.702089 3528730.681692 152.947525 7107531.866789 3528737.283499 153.247658 7107533.369001 3528737.
    </IrregularLine>
  </CoordGeom>
  <Feature code="IM_coding" source="inframodel">
    <Property label="infraCoding" value="155"/>
    <Property label="infraCodingDesc" value="Kaivannon alareuna"/>
    <Property label="proprietaryInfraCoding" value="155"/>
    <Property label="proprietaryInfraCodingDesc" value="Kaivanto_pohja_Q"/>
  </Feature>
</Alignment>
```

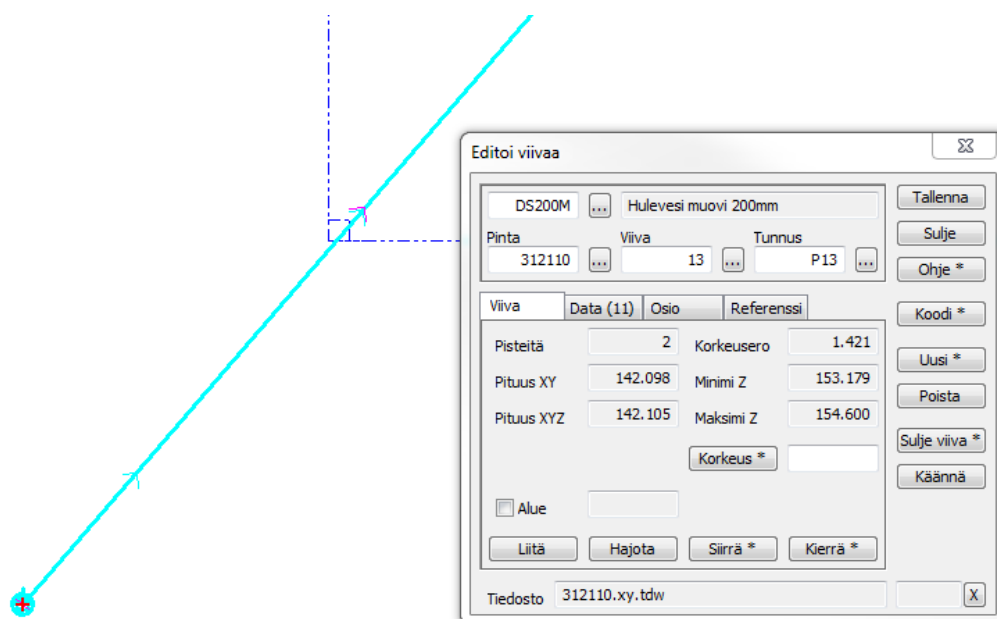
KUVA 42. Tekla Civilistä uloskirjoitettu taiteviiva IrregularLine-määrittelyssä

```
<Breakline brkType="standard" name="2000000027_SL">
  <PntList3D>7107514.702089 3528730.681692 152.947525 7107531.866789 3528737.283499 153.247658 7107533.369001 3528737.
  <Feature name="IM_3" code="IM_coding" source="inframodel">
    <Property label="infraCoding" value="155"/>
    <Property label="infraCodingDesc" value="Kaivannon alareuna"/>
  </Feature>
</Breakline>
```

KUVA 43. Muokattu taiteviiva Breakline-määrittelyssä

Taiteviiva-aineiston virheet ja formaatit voitiin muokata haluttuun muotoon 3D-winillä. Taiteviivojen ominaisuustietojen puutteet editoitiin 3D-winin viivaeditoinilla. Osassa taiteviiva-aineistossa havaittiin ominaisuustietojen puutteiden lisäksi virheitä myös taiteviivojen korkotiedoissa. Esimerkiksi taiteviivojen päiden korot saattoivat kirjautua virheellisesti muunnettaessa Pipenetworks-aineistoa muihin formaatteihin, minkä vuoksi onkin tärkeä aina tarkistaa aineiston ominaisuustietojen lisäksi geometriset tiedot virheiden varalta. Kuvassa 46 on esimerkki 3D-Winissä muokatun taiteviiva-aineiston

ominaisuuksista.



KUVA 44. Muokatun taiteviivan tiedot

Geometrialinjat

Raidegeometria laadittiin lähtökohtaisesti Autocad-pohjaisella LUOTI-ohjelmistolla. Raidegeometriaa ei yleensä muokata muiden kuin geometriasuunnittelijan alkuperäisessä ohjelmistossa. LUOTI-ohjelmistossa on käytössä VR:n oma formaatti, jota ei yleensä hyödynnetä muissa kuin LUOTI-ohjelmistossa. (22.)

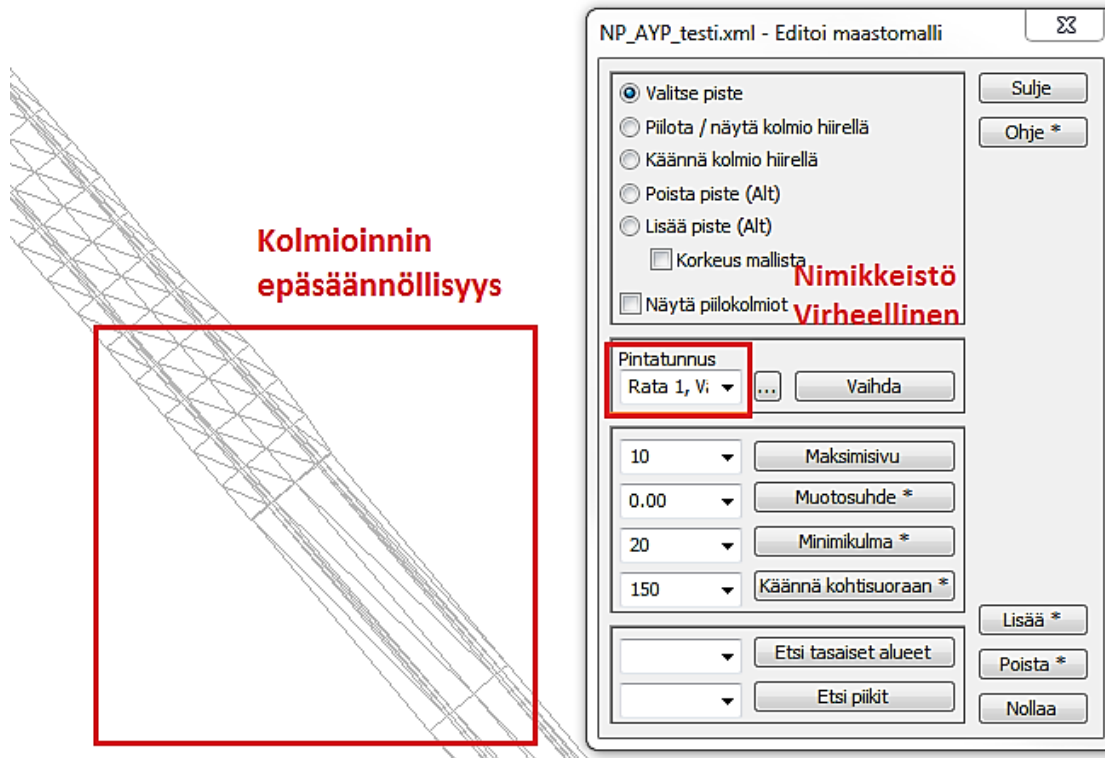
Kyseinen formaatti voitiin muuntaa Inframodel-formaattiin, joka soveltuu käytettäväksi esimerkiksi suunnittelun tai toteutuksen ohjelmistoissa ja laitteissa geometria-aineiston osalta. LUOTI-ohjelmistossa Inframodel-formaattiin muunnetussa geometria-aineistossa ei havaittu puutteita ominaisuustietojen osalta. Aineiston tekninen oikeellisuus tulee kuitenkin aina tarkistaa ennen sen soveltamista muissa vaiheissa.

Tekla Civilillä sekä Novapointilla voidaan myös laatia geometrialinjoja, mutta varsinkin Novapointin geometria-aineiston uloskirjauksessa havaittiin puutteita raidegeometrian ratakilometripaalutuksessa. Tekla Civilissä laaditussa geometria-aineistossa ei havaittu merkittäviä puutteita ohjeiden laadinnan yhteydessä.

Geometria-aineiston ominaisuustietoja tai geometria-arvoja ei yleensä muokata muuten kuin pilkkomalla sitä pienempiin aineistokokonaisuuksiin. Muokkaustoimenpiteet voidaan suorittaa useilla ohjelmistoilla, joista esimerkiksi 3D-win on yleisesti käytetty työmaalla tehtävissä geometria-aineiston muokkauksissa. (22.)

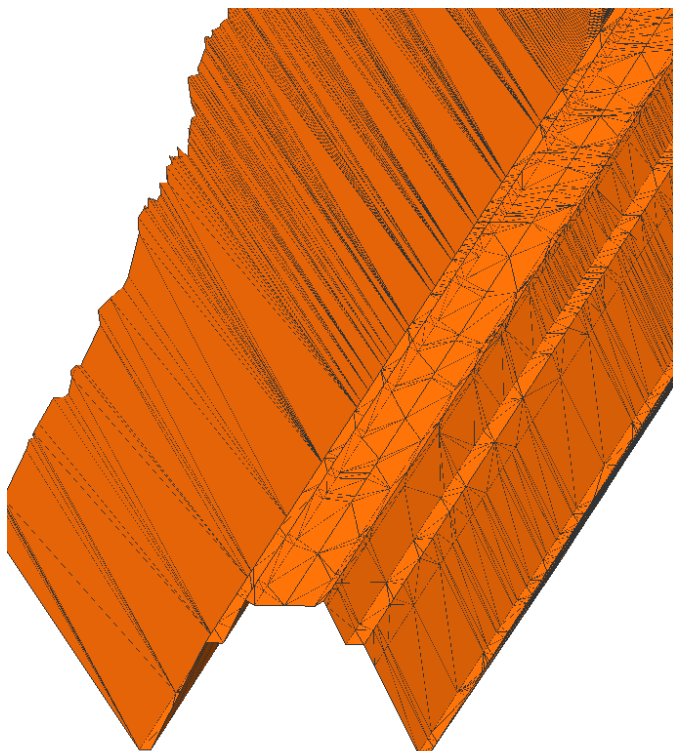
Pintamallit

Suunnitteluohjelmistoissa pinnat ovat useimmiten ns. taiteviivapintamalleja, joihin ei muodosteta ohjelmiston sisällä erillisiä kolmioverkkoja. Pinnat kolmioitiin useimmiten vasta uloskirjoitusvaiheessa. Suunnitteluohjelmistojen laatimissa kolmioverkoissa havaittiin puutteita ja epäsäännöllisyyksiä, joita pelkän pintamallin avulla oli haastavaa editoida. Kolmioinnin puutteiden lisäksi pintamallien ominaisuustiedoissa esiintyi huomattavia puutteita, esimerkiksi pinnan tunnus oli useimmiten tekstimuotoinen selite tai se puuttui kokonaan. Esimerkiksi kuvassa 47 esitetyn Novapointilla laaditun pintamallin pintatunnus oli numeerisen tunnuksen sijasta tekstimuotoinen selite. Kuvasta 47 voidaan myös havaita epäsäännöllisesti muodostunut kolmiointi.

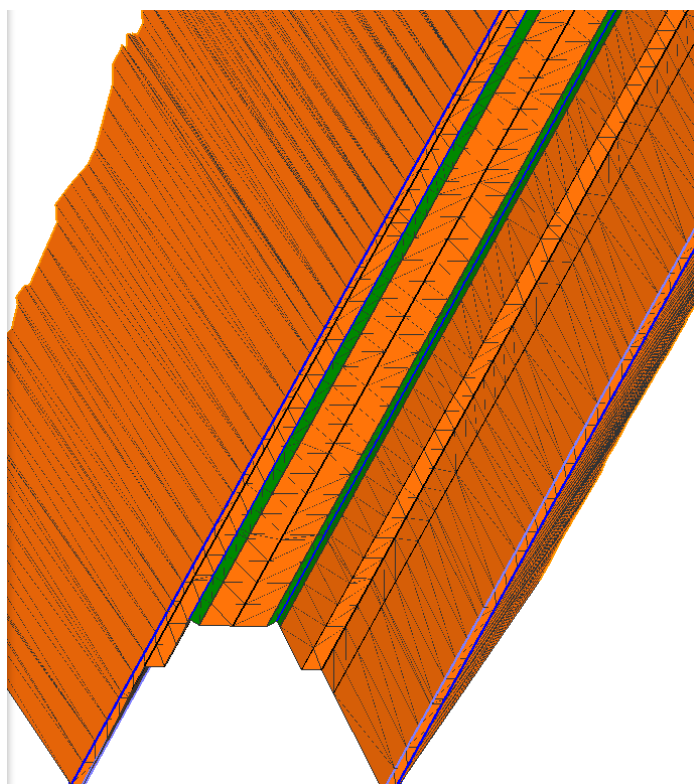


KUVA 45. Novapointissa laaditussa pintamallista havaittuja virheitä 3D-winissä tarkasteltaessa

Tekla Civilissä laaditun pintamallien tunnukset kirjoittautuivat oikein, mutta kolmiointi oli useimmiten epäsäännöllistä. Kolmioverkkopintojen puutteiden ja epäsäännöllisyyksien vuoksi kolmiointi laadittiin usein muilla ohjelmistoilla alkuperäisen taiteviiva-aineiston pohjalta. Kolmiointi suoritettiin esimerkiksi 3D-Winillä. Kuvissa 48 ja 49 on havainnollistettu Tekla Civilissä laaditun kolmioinnin poikkeavuuksia verrattuna 3D-winillä laadittuun säännölliseen kolmiointiin samasta taiteviiva-aineistosta.



KUVA 46. Alkuperäinen kolmioverkoaineisto Tekla Civilistä



KUVA 47. 3D-winillä laadittu kolmioverko taiteviiva-aineistosta

Objektit

Toteutuksen hyödyntämät objektiaineisto pystyttiin laatimaan Autocad-pohjaisilla suunnitteluohjelmilla DWG- tai DXF-formaatissa havainnollistamaan rakenteita yleispiirteisesti. Objektien hyödyt toteutusvaiheessa ovat tällä hetkellä suhteellisen vähäiset, sillä niistä ei saada varsinaista paikkatietoa esimerkiksi koneohjauksessa. Talo- ja taitorakenteiden objektien laadinnassa voitiin hyödyntää IFC-formaattia, jossa on huomattavasti kattavammat ominaisuudet tietomallinnusta ajatellen.

Opinnäytetyössä ei perehdytty tarkemmin objekteihin.

Verkostojärjestelmät

Tekla Civilillä tai Novapointilla on mahdollista kirjoittaa verkostojärjestelmät Inframodelin Pipenetworks-määrittelyyn. Molemmilla suunnitteluohjelmistoilla laadittiin Pipenetworks-aineistoa, joista havaittiin useita virheitä. Verkostojärjestelmien ominaisuus- ja korkotiedot kirjoittuivat useimmiten virheellisesti, jotka muokattiin Notepad++:n avulla suhteellisen yksinkertaisesti. Kuvassa 50 on esitetty Tekla Civilissä laaditun Pipenetworks-aineiston puutteita sekä niiden korjaustoimenpiteitä.

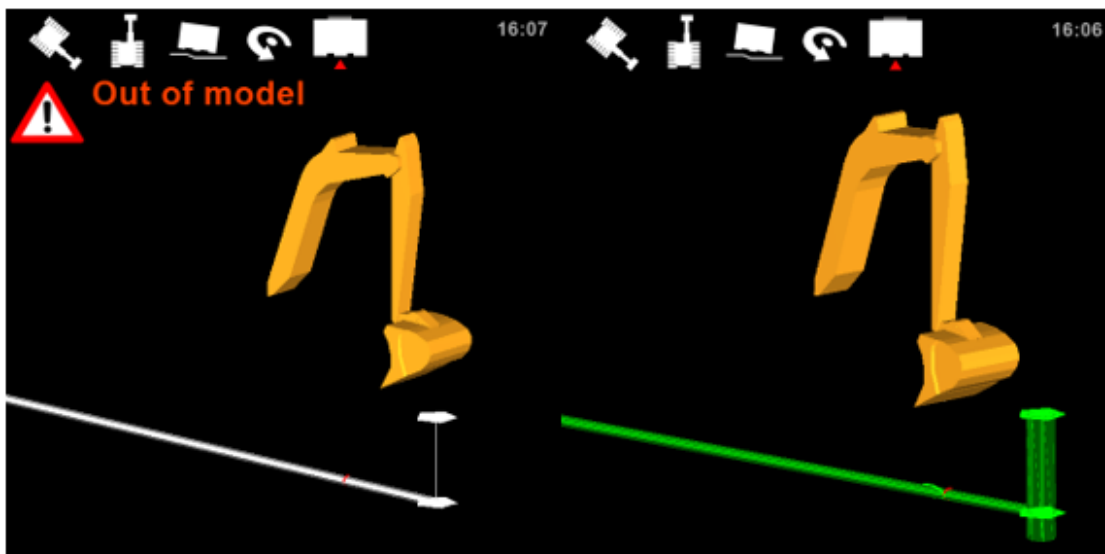
Alkuperäinen Tekla Civilillä tuotettu Pipenetworks-aineisto

```
<PipeNetworks name="Pipenetworks_testi">
  <PipeNetwork name="Muu verkosto" pipeNetType="other" state="existing">
    <Structs>
      <Struct name="Sekavesikaivo_1_Pipenetworks_testi" desc="Sekavesikaivo" elevRim="156.892000000" elevSump="153.517000000" state="proposed">
        <Center>7107784 109230218 3528673 618036405</Center>
        <CircStruct diameter="0.560000000" desc="Sekavesikaivo" material="P5" thickness="NaN"/>
        <Invert desc="Sekavesiviemäri" elev="152.983603649" flowDir="in" rePipe="Sekavesiviemäri_3_Pipenetworks_testi"/>
        <Feature code="IM_struct" source="inframodal">
          <Property label="structLabel" value="1"/>
          <Property label="heightDeposit" value="0.500000000"/>
          <Property label="volumeDeposit" value="0"/>
          <Property label="rimMaterial" value="valurauta"/>
        </Feature>
        <Feature code="IM_coding" source="7_inframodal">
          <Property label="infraCoding" value="312300"/>
          <Property label="infraCodingDesc" value="Hulevesiviemärien tarkastuskaivo ja -putki"/>
          <Property label="proprietaryInfraCoding" value="5000200"/>
          <Property label="proprietaryInfraCodingDesc" value="Sekavesikaivo"/>
        </Feature>
      </Struct>
    </Structs>
  </PipeNetwork>
</PipeNetworks>
```

1. Tila tulee muuttaa `state=proposed` (suunniteltu)
2. `elevRim="Kaivon kannen korko [m]"` joissakin tapauksissa voi kirjoittua väärin. Luetaan kohdasta "Z(kansi)".
3. `elevSump="sakkapesän pohjan korko [m]"` Tekla kirjoittaa sakkapesän korkotiedon virheellisesti, täytyy korjata käsin. Luetaan kohdasta "Z(pohja)", mikäli muut arvot ovat syötetty oikein.
4. `diameter="halkaisija [m]"` tulee suoraan kohdasta "Kaivon halkaisija". Mikäli halkaisijan optio jätetään tyhjäksi, tämä koodirivi jää kokonaan tyhjäksi tiedostosta.
5. `thickness="seinävahvuus [m]"` ei voi syöttää seinävahvuutta, joudutaan kirjaamaan käsin. Arvo tarvitaan, jotta kaivon seinät mallintuvat kolmiulotteisesti.
6. `elev="Liittyvän putken vesijuoksu"` yleensä OK, tarkista alkuperäinen.
7. tarkista nimet ja tunnukset!

KUVA 48. Pipenetworks-aineisto Notepad++:lla tarkasteltuna

Pipenetworks-aineisto soveltuu käytettäväksi osassa toteutusvaiheessa käytettävissä laitteissa ja ohjelmistoissa, kuten esimerkiksi Infrakitissä sekä muutamien laitevalmistajien koneohjausjärjestelmissä. Kuvassa 51 on esitetty Pipenetworks-aineiston kuvautuminen koneohjausjärjestelmässä alkuperäisessä sekä Notepad++:lla muokatussa muodossa.



KUVA 49. Alkuperäinen ja muokattu Pipenetworks-aineisto

Suunnitelma- ja taustakartta-aineisto

Suunnitelma-aineistosta saadaan toteutusvaiheessa nykyään paperisten ja PDF-dokumenttien lisäksi alkuperäiset DWG-tiedostot, joista on huomattavasti helpompi laatia suunnitelma- ja taustakartta-aineistoa eri laitteille (22).

Novapoint on CAD-pohjainen ohjelmisto, minkä vuoksi aineiston käsittely ja muokkaaminen DWG- ja DXF-formaatissa ei pääsääntöisesti tuottanut ongelmia. Ongelmia ilmeni yleensä muunnettaessa aineistoa muihin kuin CAD- tai Novapointin natiiveihin formaatteihin.

Tekla Civilissä aineistoa voidaan kirjoittaa DWG-formaattiin. Testitiedostoissa ilmeni virheitä ja puutteita, esimerkiksi taiteviivojen korkotiedot puuttuivat täysin. Tekla Civilistä löydettiin useampia tapoja kirjoittaa aineistoa DWG-formaattiin. Eri kirjoitustavoilla saatiin kirjoitettua esimerkiksi taiteviivat korkotietoineen. Tekla Civilissä voitiin myös ennalta määrittää uloskirjoituksen asetukset, joiden perusteella taiteviivojen värit ja tasot määräytyvät. Alkuasetusten määrittelyn avulla aineiston jatkokäsittely on huomattavasti nopeampaa.

4.6 Yhteenveto ohjeistuksesta

BIM2020 -projektia varten laaditut ohjeet kuvaavat kirjoitushetken toteutuksen valmiutta hyödyntää tietomalleja sekä antavat ohjeita aineiston laadinnalle sen perusteella. Toteutuksen mallintamisen valmiuden kehittyessä ohjeita tulee jatkossa päivittää vastaamaan nykytilannetta. Esimerkiksi attribuuttitietoa ei käytännössä tällä hetkellä voida liittää metatietojen lisäksi malliaineistoon juuri lainkaan. Pintatunnusten ja lajikoodien avulla voidaan välittää osittain lisätietoa rakenteesta, mutta kyseessä ei ole varsinaisesti kyse ominaisuustiedoista.

Aineiston laadinnalle on useampia toimivia laadintatapoja, joista ohjeisiin pyrittiin löytämään vähintään yksi tapa laatia aineisto toteutusvaiheessa hyödynnettävään muotoon. Vaikka laaditut suunnitelmat olisivatkin näennäisesti oikein alkuperäisessä suunnitteluohjelmistossa, virheet syntyivät useimmiten ohjelmistojen tavassa muuntaa aineisto eri formaatteihin. Tästä johtuen ohjeessa korostettiin uloskirjoituksen jälkeen havaittuja virheitä, jotka vaikuttavat toteutusvaiheessa aineiston hyödynnettävyyteen.

Useimmille suunnitteluohjelmistoille oli ennestään laadittu kattavia ohjeita, joihin tehdyissä ohjeissa viitattiin ja täydennettiin tarvittaessa toteutusaineiston laadinnalle.

Ohjeet on laadittu rakentamissuunnittelun sekä toteutuksen näkökulmasta ratapuolella. Mallintamiselle voidaan asettaa erilaiset vaatimukset riippuen hankkeen vaiheesta ja sen luonteesta riippuen. Esimerkiksi mallinnustapa voi poiketa ohjeissa esitetyistä tavoista, mikäli aineistolle on jokin muu käyttötarkoitus kuin pelkkä rakentamisen aikainen mallintaminen.

5 POHDINTA

Tietomallipohjainen rakentaminen on tullut jäädäkseen. Tietomalleissa on valtavasti potentiaalia, mutta niiden hyödyntäminen vaatii huomasti kehittämistä kaikilla rakentamisen osa-alueilla hankkeen aloittamisesta ylläpitoon asti. Laitteiden ja ohjelmistojen kehittymisen lisäksi käyttäjiltä vaaditaan entistä enemmän tietoteknistä osaamista rakennusteknisten taitojen lisäksi. Esimerkiksi tiedonsiirtoformaatit sekä niiden eroavaisuudet voivat olla haastava ymmärtää, ellei henkilöllä ole aikaisempaa kokemusta aiheesta.

Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä tietoa yleisesti tietomallintamisesta ratarakentamisessa sekä siihen liittyvistä ongelmista suunnittelu- ja toteutusvaiheessa. Havaittuihin toteutusaineiston ongelmiin pyrittiin löytämään ratkaisuja perehtymällä suunnitteluohjelmistojen tapaan tuottaa aineistoa sekä muihin mallinnuksen käytäntöihin.

Sain koottua työtäni varten valtavasti tietoa mallipohjaisesta rakentamisesta, josta iso kiitos kuuluu projektiin osallistuneille alan ammattilaisille. Mielestäni kerätyistä tiedoista sain koottua työhöni selkeän tietopaketin tietomallintamisen kirjoitushetken tilanteesta ratarakentamisessa. Perehtyessäni eri suunnitteluohjelmistoihin toteutusaineistossa ilmeni varsin monia puutteita ja ongelmia. Osaan ongelmista löydettiin selkeät korjaustoimenpiteet, mutta osa havaitusta ongelmista vaatii huomattavasti enemmän perehtymistä.

Suunnitteluohjeita onkin tarkoitus kehittää jatkossa eteenpäin, sillä ne eivät vielä ole kaikilta osin kattavia. Mallinnuskortteihin kerättyjä mallinnusohjeita saatiin kerättyä enemmän kuin osasin odottaa, mikä oli varsin positiivinen yllätys. Mallinnuskorteissa tulee kuitenkin muistaa, että niihin kerätyt tiedot ovat ratarakentamisen näkökulmasta. Mallinnuskorttien tiedot eivät välttämättä vastaa muunlaisten infrahankkeiden mallinnustarpeita. Kuten ohjelmistokohtaisissa ohjeissakin, mallinnuskortitkaan eivät ole täysin kattavat tällä hetkellä vaan vaativat kehittämistä jatkossa.

LÄHTEET

1. Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. 2017. Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-12_tie_ratahankkeden_web.pdf. Hakupäivä 20.9.2018.
2. What is BIM? 2017. The NBS. Saatavissa: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained>. Hakupäivä 10.9.2018.
3. Pulkkinen, Eveliina 2017. Turvalaite- ja sähköratatekniikan tietomallintamisen kehittäminen. Tampere: Teknillinen yliopisto, rakennustekniikka. Diplomityö.
4. BIM2020 Toteutusaineisto - projektisuunnitelma. 2018. VR Track.
5. YTV osa 1 - yleinen osuus. 2012. BuildingSMART Finland. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf. Hakupäivä 15.8.2018.
6. Yleisten inframallivaatimusten kotisivut. BuildingSMART Finland. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>. Hakupäivä 25.8.2018.
7. InfraBIM-nimikkeistö, versio 1.7.1. 2018. BuildingSMART Finland. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2018/06/InfraBIM_nimikkeist%C3%B6_v1_71.pdf. Hakupäivä 15.8.2018.
8. Siltojen tietomalliohje. 2014. Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2014-06_siltojen_tietomalliohje_web.pdf. Hakupäivä 1.10.2018.
9. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot, mittausohje. 2017. Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf. Hakupäivä 20.9.2018.

10. Maastotietojen hankinta – Toimintaohjeet. 2011. Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2011-23_maastotietojen_hankinta_web.pdf. Hakupäivä 20.9.2018.
11. Tienrakentamisen mittaus suunnitelman laatimisohje. 2008. Tiehallinto. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2000024-v-08tienrakent_mittausuunn_laot.pdf. Hakupäivä 20.9.2018.
12. Infra-rakentajakoodaus, saateviesti. 2018. BuildingSMART Finland. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2018/08/Saate_Infra-Rakentajakoodaus_20180815.pdf. Hakupäivä 7.9.2018.
13. YIV osa 3 – Lähtötiedot. 2015. BuildingSMART Finland. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA3_Lahtotiedot_V_1_0.pdf. Hakupäivä 20.8.2018.
14. InfraBIM-sanasto. 2014. BuildingSMART Finland. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2013/10/InfraBIM_Sanasto_0-7.pdf. Hakupäivä 15.8.2018.
15. Inframodel 3 – käyttöohje. 2013. BuildingSMART Finland. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2014/04/Inframodel3-kayttoohje.pdf>. Hakupäivä 7.9.2018
16. Should you use dwg or dxf. 2014. Scan2CAD. Saatavissa: <https://www.scan2cad.com/tips/use-dwg-dxf/>. Hakupäivä 6.9.2018.
17. PDF-formaatin perusteet. Acrobat Adobe. Saatavissa: <https://acrobat.adobe.com/fi/fi/acrobat/about-adobe-pdf.html>. Hakupäivä 20.8.2018.
18. XRoad VGP tiegeometriaformaatti. 3D-system. Saatavissa: <http://www.3d-system.net/help/64/fin/conv/road/xroad.htm>. Hakupäivä 20.8.2018.
19. Maastokartoituskoodit, gt-formaatti. 2015. Vantaan mittausosasto. Saatavissa:

- https://www.vantaa.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/vantaa/embeds/vantaaawwwstructure/118870_Maastokartoituskoodit_Vantaa.pdf. Hakupäivä 20.8.2018.
20. IFC-format. Kotisivut. BuildingSMART International Ltd. Saatavissa: <http://www.buildingsmart-tech.org/>. Hakupäivä 20.8.2018.
21. Inframodel4 käyttöön 1.2.2018. 2017. BuildingSMART Finland. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/inframodel4-kayttoon-1-2-2018/>. Hakupäivä 20.8.2018.
22. Frilander, Tiina - Heikkilä, Jussi - Jaakkola, Sami - Schenkwein, Marion 2018. BIM2020-projektiin liittyvät keskustelut.
23. Penttilä, Hannu 2006. Tuotemallintaminen rakennushankkeessa – yleiset periaatteet. Helsinki: Rakennustieto Oy.
24. Kuusela, Petri 2018. Tietomalliasiantuntija. Novatron. Haastattelu 7.8.2018.
25. Kiviniemi, Antti - Viinikka, Teppo. 2018. Tampereen raitiotieallianssin henkilöiden haastattelu 22.8.2018.
26. Manual: traditional modeling. 2018. FreeCAD. Saatavissa: https://www.freecadweb.org/wiki/Manual:Traditional_modeling,_the_CSG_way. Hakupäivä 10.11.2018.
27. Infrakit-esite suunnittelijalle, Infrakit. Saatavissa: <https://infrakit.com/fi/lue-lisaa/>. (vaatii yhteystietojen luovuttamisen). Hakupäivä 3.11.2018.
28. Tekla Civil tuote-esittely. Trimble. Saatavissa: <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-civil>. Hakupäivä 29.10.2018.
29. Trimble novapoint ohjelmistot. 2018. Civilpoint. Saatavissa: <https://civilpoint.fi/ohjelmistot/trimble/novapoint/>. Hakupäivä 10.11.2018.
30. 3D-system. 3D-winin kotisivut. Saatavissa: <http://www.3d-system.fi/index.php/3d-win>. Hakupäivä 29.10.2018.

31. Autocadin tuotesivut. 2018. Autodesk. Saatavissa: <https://www.autodesk.fi/products/autocad/features>. Hakupäivä 10.11.2018.
32. YIV osa 2 – yleiset vaatimukset. 2015. BuildingSMART. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA2_Yleiset_Vaatimukset_V_1_0.pdf. Hakupäivä 10.11.2018.
33. YIV osa 5.1 - Väylärakenteen toteutusmallin laatimisohe. 2015. BuildingSMART. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA5_2_Vaylarakenteen_toteutusmallin_laatimisohe_V_1_0.pdf. Hakupäivä 10.11.2018.
34. YIV osa 8 – inframallin laadunvarmistus. 2015. BuildingSMART Finland. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2015/02/YIV-2015_OSA_8_Inframallin-laadunvarmistus_20160211.pdf. Hakupäivä 10.11.2018.
35. Kuusela, Petri - Palviainen, Petteri 2017. Toteutusmallien tarkastaminen. Koulutusmateriaali. Viitattu 25.8.2018. Saatu käyttöön tietomallioperaattori Sami Jaakkolalta VR Trackiltä.