



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SAMI PUUPERÄ  
INFRA-ALAN TIETOMALLIEN LAATUTAVOITTEET JA HYVÄK-  
SYMISKRITEERIT

Diplomityö

Tarkastajat:  
Professori Kalle Kähkönen  
Dosentti Mauri Laasonen  
Tarkastajat ja aihe hyväksytyt  
Talouden ja rakentamisen tiedekun-  
taneuvoston kokouksessa 12. elo-  
kuuta 2015

## TIIVISTELMÄ

**SAMI PUUPERÄ:** Infra-alan tietomallien laatutavoitteet ja hyväksymiskriteerit  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Diplomityö, 73 sivua  
Lokakuu 2015  
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Liikenne- ja kuljetusjärjestelmät  
Tarkastaja: Professori Kalle Kähkönen

Avainsanat: BIM, InfraBIM, Inframalli, laatu, tuottavuus

Infra-alan suunnitteluprosessit ovat uudistumassa ja väylien suunnittelua tehdään yhä kasvavassa määrin mallintamalla. Infra-alan tietomallin eli inframallin sisällön vaadittava tarkkuustaso riippuu suunniteltavasta hankevaiheesta. Eri hankevaiheiden inframallit saattavat myös sisältää vaihtelevan määrän teknisiä virheitä ja puutteita. Inframalleille ei kuitenkaan ole määritetty teknisiä hyväksymiskriteerejä tilaajan taholta. Tässä diplomityössä tutkittiin inframallien laatutavoitteita ja hyväksymiskriteerejä. Tavoitteena oli määrittää inframallien tarkastamisen kannalta oleelliset osakokonaisuudet hankevaiheittain. Toisena tavoitteena oli määrittää inframalleille hyväksymiskriteerit.

Kirjallisuuskatsauksessa esiteltiin aluksi väylärakentamisen suunnitteluprosessi eri hankevaiheineen. Tämän jälkeen käytiin läpi rakennusalan tietomallintamisen historia ja kehitys. Inframallinnuksen määrittelyt ja inframallinnuksen taso kuvattiin eri hankevaiheissa. Kirjallisuusosion toinen osa keskittyi laatuun ja sen kytkeytymiseen inframallinnuksen yhteyteen. Tässä osiossa kuvailtiin myös tietomallien teknisen laaduntarkastuksen menetelmiä.

Empiirisen osan tutkimusmenetelmänä oli haastattelututkimus. Tutkimus toteutettiin asiantuntijahaastatteluina 12 asiantuntijalle, jotka edustivat haastatteluissa neljää eri näkökulmaa. Näkökulmat olivat tilaaja, suunnittelu (tiesuunnittelija ja rakennussuunnittelija) ja urakoitsija. Tuloksena määritettiin inframallien tärkeimmät osakokonaisuudet hankevaiheittain. Haastattelututkimuksen ohella tarkasteltiin Liikenneviraston ja ELY-keskusten hankkimaa inframalliaineistoa ja niiden testausraportteja. Aineisto käsittää 584 inframallitiedostoa, jotka on tarkastettu kolmannen osapuolen BimOne Checker-laaduntarkastusohjelmistolla. Laadun mittaustulokset tilastoitiin, virhesyitä analysoitiin ja inframallitiedostot luokiteltiin elementtien määriin liittyvien ominaisuuksien mukaan. Aineisto todettiin tiedostojen sisältämien viivojen ja kolmioiden määrien perusteella hyvin heterogeeniseksi, mikä tekee toimivien hyväksymiskriteerien määrittämisen nykyisellä mittaristolla hankalaksi.

Työssä saatiin määritettyä inframallien oleelliset osakokonaisuudet eri hankevaiheissa. Osakokonaisuudet jaettiin kolmeen eri tarkastusluokkaan niiden tärkeyden mukaan. Hyväksymiskriteereiksi ei esitetty nykyiseen mittaristoon perustuvia pisterajoja. Sen sijaan tehtiin suositus mittariston muuttamiseksi absoluuttisille virhemäärille. Lisäksi ehdotettiin automatisoidun tarkastuksen viiva- ja pintakohtaista kohdistamista ja taiteviivojen ja kolmioiden sivujen maksimipituuksien jättämistä pois tarkistuksesta.

## ABSTRACT

**SAMI PUUPERÄ:** Quality objectives and approval criteria of infrastructure information models

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 73 pages

October 2015

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Transport systems

Examiner: Professor Kalle Kähkönen

Keywords: BIM, InfraBIM, Infrastructure modeling, quality, productivity

The planning processes in infrastructure industry are changing. Route planning will increasingly be done by modelling. The precision of the content of infrastructure information model depends on project plan phase. Information models of different plan phases may also contain varying number of errors and defects. There are however no approval criteria for completed information models. The purpose of this master of science thesis was to define the essential elements of an infrastructure information model from technical inspection viewpoint. This was to be done by project plan phase. The other purpose was to define approval criteria for the information models in question.

The literature review began with a presentation of route planning process and different project plan phases. History and development of information modelling in construction industry was reviewed next. Definitions for infrastructure modelling and level of modelling in different project plan phases were also presented in this part. The other part of literature review concentrated on quality and application of quality in infrastructure modelling. The quality inspection methods of information models were also described at that stage.

The research method of the empirical part was interview study. The interview study was executed by interviewing 12 experts representing four different standpoints which were customer, planning (road plan and construction plan) and contractor. The essential elements of infrastructure information model were defined as a result of the study. In addition the empirical part contained examination on quality of recent infrastructure model data ordered by the state. Quality reports of 584 infrastructure model files of recent projects were examined and statistics were done about quality scores and characteristics of the files. The data was discovered to be very heterogeneous. Also it was noticed that defining working approval criterion based on would be correspondingly difficult.

As a result of this thesis the essential elements of infrastructure model in different project plan phases were defined. The elements were divided in three classes by their importance. No approval criterion based on current way of measuring the quality was suggested. The criterion was suggested to be based on absolute quantity of errors instead of proportional quantity. Also it was proposed that the automated checking would be able to check individual breaklines and surfaces. Measuring the maximum length of breakline or side of a single triangle was proposed to be excluded from the checking process.

## ALKUSANAT

Digitalisaatio on yksi tämän hetken kuumista puheenaiheista ja tämä työ tarjosi hyvän mahdollisuuden tutustua yhteen siihen liittyvään kehitystarinaan. Tekijä oppi prosessin aikana paljon väylien suunnittelusta ja inframalleista.

Diplomityön aiheen löytymisestä tahdon kiittää työn ohjaaja Tiina Perttula Liikennevirastosta ja Tuomo Palomaata BimOne Finland Oy:stä, joka ohjausryhmässä toimimisen lisäksi myös tarjosi erinomaisen perehdytyksen aihealueeseen. Myös muita ohjausryhmään kuuluneita Joonas Peltoniemi Pohjois-Savon ELY-keskuksesta, Ville Palviaista Ramboll Finland Oy:stä ja Mauri Laasosta TTY:stä kiitän työhön liittyvästä ohjauksesta. TTY:n professori Kalle Kähköstä kiitän työn tarkastamisesta ja Liikennevirastoa työn tekemisen mahdollistaneesta rahoituksesta.

Tähän työhön liittyviin haastatteluihin osallistumisesta kiireisistä aikatauluistaan huolimatta tahdon kiittää seuraavia henkilöitä: Mika Jaakkola, Niko Janhunen, Ari Kuotesaho, Toivo Kämäräinen, Jukka Liinanki, Krister Lönnberg, Pauliina Nissi, Petteri Palviainen, Seppo Parantala, Joonas Peltoniemi, Teppo Rauhala ja Jonne Tiilikainen.

Tampereen teknillistä yliopistoa ja Oulun yliopistoa tahdon vielä kiittää tämän työn mahdollistaneen DI-muuntokouluksen järjestämisestä. Projektin oli mielenkiintoinen ja opetus erittäin motivoivaa!

Oulussa, 18.9.2015

Sami Puuperä

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Työn tausta .....	1
1.2	Tavoitteet ja aiheen rajaus .....	2
1.3	Tutkimusmenetelmät ja -aineisto .....	2
2.	VÄYLÄN MALLIPOHJAINEN SUUNNITTELU .....	4
2.1	Väylärakentamisen suunnitteluprosessi .....	5
2.2	Tietomallinnus infra-alalla .....	11
2.2.1	Historia ja kehitys .....	11
2.2.2	Mallinnuksesta saatavat hyödyt .....	12
2.2.3	Inframallintamisen määrittelyt .....	15
2.2.4	Mallinnus eri hankevaiheissa .....	22
2.2.5	Tulevaisuus .....	25
2.3	Tietomallinnus muilla aloilla .....	28
2.4	Laatu tietomallinnuksessa .....	30
2.4.1	Laadun määritelmiä .....	30
2.4.2	Laadun kustannukset .....	32
2.4.3	Laadun ohjaamisen menetelmiä .....	32
2.4.4	Laadun käsite inframallien yhteydessä .....	34
2.4.5	Teknisen laadun tarkastaminen .....	37
3.	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO .....	41
3.1	Asiantuntijahaastattelut .....	41
3.2	Viiteaineisto .....	43
4.	INFRAMALLIEN LAATU HANKEVAIHEITTAIN .....	46
4.1	Virheet yleissuunnitelmavaiheessa .....	46
4.2	Virheet tiesuunnitelmavaiheessa .....	49
4.3	Virheet rakennussuunnitelmavaiheessa .....	50
4.4	Muita inframallien virheitä ja puutteita .....	54
4.5	Virheiden ja puutteiden merkittävyys hankevaiheittain .....	56
4.6	Inframallien hyväksymiskriteerit .....	56
5.	PÄÄTELMÄT .....	61
5.1	Suosituksot ja tutkimuksen vastaaminen tavoitteisiin .....	61
5.2	Tutkimuksen luotettavuus .....	63
5.3	Jatkotutkimustarpeet .....	64
5.4	Yhteenveto ja pohdintaa .....	65
	LÄHTEET .....	67

## KUVALUETTELO

<i>Kuva 1. Tietomallin elinkaari (Perustuu lähteeseen InfraBIM 2014)</i> .....	4
<i>Kuva 2. Väylähankkeen eteneminen ja siihen liittyvät tietomallit (InfraBIM 2015, osa 1)</i> .....	6
<i>Kuva 3. Vaikutusmahdollisuus kustannuksiin hankkeen eri vaiheissa (Woddy 2013)</i> .....	13
<i>Kuva 4. Rakennusalan tuottavuuden kehitys (Perustuu lähteeseen Eastman et al. 2011)</i> .....	14
<i>Kuva 5. Mallinnuksen kautta saavutettuja hyötyjä Norjan väylähankkeissa</i> .....	15
<i>Kuva 6. Inframallin vaatimukset ja määrittelyt</i> .....	16
<i>Kuva 7. Yksiajorataisen tien rakennepintoja (InfraBIM 2014b)</i> .....	17
<i>Kuva 8. Tavoitteena on parempi tiedonhallinta (Halttula 2015)</i> .....	17
<i>Kuva 9. Esimerkki Inframodel-formaatista</i> .....	18
<i>Kuva 10. Väylämalli ja muut osamallit (Perustuu lähteeseen InfraBIM 2015)</i> .....	20
<i>Kuva 11. Esimerkki jatkuvasta toteutusmallista (InfraBIM 2015)</i> .....	24
<i>Kuva 12. BIM sosioteknisenä järjestelmänä (Perustuu lähteisiin Kiviniemi 2015; WSP 2013)</i> .....	25
<i>Kuva 13. Siirtyminen dokumenttipohjaisesta prosessista älykkäiden tietomallien toimintaympäristöön (Halttula 2015)</i> .....	26
<i>Kuva 14. INFRA 2025 visio ja sen osatekijät (Perustuu lähteeseen RYM Oy 2015)</i> .....	27
<i>Kuva 15. ISO 15926 yhteisenä kielenä prosessiteollisuuden laitoksen elinkaareissa (Paap 2010)</i> .....	29
<i>Kuva 16. ISO 15926-standardin mukaisesti siirrettyjä kokonaisuuksia (Glendinning 2010)</i> .....	29
<i>Kuva 17. Laatugurujen laatumääritelmiä</i> .....	31
<i>Kuva 18. Rakennusalan suunnittelutiedon laadun tekijät</i> .....	31
<i>Kuva 19. Zebra Stripes-työkalun havainnollistamia pinnanmuotoja (Autodesk 2013)</i> .....	39
<i>Kuva 20. BimOne Checker-palvelun tuottaman laaturaportin pisteytys erään väylän mittalinjalle</i> .....	40
<i>Kuva 21. Ote BimOne Checker-palvelun tuottamasta karttaesityksestä. Kyseessä on erään väylän ylin yhdistelmäpinta</i> .....	40
<i>Kuva 22. Kolmioiden määrien osuudet eri hankevaiheiden pintamalleissa</i> .....	44
<i>Kuva 23. Kolmioiden pisimmän yksittäisen sivun mitta eri hankevaiheiden tiedostoissa</i> .....	45
<i>Kuva 24. Kolmioiden lyhimmät yksittäiset sivut eri hankevaiheiden pintamalleissa</i> .....	45
<i>Kuva 25. Esimerkki epäjatkuvuuskohdasta kiertoliittymän yhteydessä (InfraBIM 2015)</i> .....	48
<i>Kuva 26. Rakennussuunnitelmavaiheen aineistoa, jossa kolmiointi on osittain harvaa</i> .....	52

<i>Kuva 27. Viivojen epäjatkuvuuskohtia rasteilla havainnollistettuna BimOne Checker-työkalun karttaesityksessä .....</i>	<i>53</i>
<i>Kuva 28. Inframallin osakokonaisuuksien merkittävyys hankevaiheittain .....</i>	<i>56</i>
<i>Kuva 29. Viiteaineiston tiedostojen laatu vaakageometrian osalta .....</i>	<i>57</i>
<i>Kuva 30. Viiteaineiston tiedostojen laatu pystygeometrian osalta .....</i>	<i>58</i>
<i>Kuva 31. 3D-viivojen laatu viiteaineistossa hankevaiheittain .....</i>	<i>58</i>
<i>Kuva 32. Pintamallien laatu viiteaineistossa hankevaiheittain .....</i>	<i>59</i>
<i>Kuva 33. Tuplapisteiden määrien osuudet eri hankevaiheiden pintamalleissa .....</i>	<i>60</i>
<i>Kuva 34. Ehdotus automatisoidun tarkastuksen kohteiksi eri hankevaiheissa .....</i>	<i>62</i>

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

AQL	engl. Acceptable Quality Level, kvantitatiivinen laadunmittausmenetelmä
BIM	engl. Building information model, rakentamisen tietomallinnus. Rakennuksen ja rakennusprosessin elinkaaren aikaisten tuotetietojen kokonaisuus.
CIS/2	Teräsrakenteiden tuotetietojen siirtoon käytettävä standardi
COBie	Iso-Britanniassa käytettävä tiedonsiirtoformaatti
DMAIC	engl. Define-Measure-Analyze-Improve-Control, laadun kehittämisen protokolla
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
IFC	engl. Industry Foundation Classes, talonrakennuksessa käytettävä yhteinen tiedonsiirtoformaatti
IM	Inframodel, suomalainen laajennos kansainvälisestä LandXML-formaatista
IPD	engl. Integrated Project Delivery, uudenlainen integroitu toimintamalli projektien läpiviemiseen
LandXML	Infra-alan kansainvälinen tiedonsiirtostandardi
LPD	engl. Lean project delivery, uudenlainen integroitu toimintamalli projektien läpiviemiseen
STEP	engl. Standard for the Exchange of Product model data, teollisuudessa yleisesti käytetty tiedonsiirtostandardi
ST-urakka	Suunnittele-Toteuta-urakkamuodolla toteutettava urakka
TQL	engl. Total Quality Management, laadunjohtamisen toimintatapa
XML	engl. Extensible Markup Language, tekstimuotoinen rakenteellinen tietotekninen kuvauskieli, joka auttaa jäsentämään laajoja tietomasoja
YIV	yleiset inframallivaatimukset

## TERMIT

BimOne Checker	Suomessa kehitetty inframallien laadun testaustyökalu
Inframalli	Infrarakenteen tuotemalli
Koneohjausjärjestelmä	Tietomallia ja sijaintitietoa hyödyntävä työkoneen ohjausjärjestelmä
Metatieto	Tietoa tiedosta, määrittävää tietoa tietovarannosta
Suunnittelumalli	Infrarakenteen tuotemallin tietosisällön osajoukko, joka kattaa suunnittelijoiden suunnitteluratkaisut
Toteutusmalli	Infrarakenteen tuotemallin tietosisällön osajoukko, joka kattaa toteutuksen näkökulman. Voi olla myös suunnittelumallista jalostettu työkoneiden koneohjausmalli.
Yhdistelmämalli	Eri tietomalleista yhdistetty tietomalli

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Digitalisaatio lisää tuottavuutta ja muuttaa kilpailuoloja. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2015) Se vaikuttaa myös infrarakentamisen prosesseihin. Perinteisesti infran suunnittelu on perustunut 2D-kuviin ja paperitulosteisiin. Tiedon hallinta ei ole ollut koordinoitua eikä kaikkea hankkeen elinkaaren aikana tuotettua tietoa ole pystytty tallentamaan myöhempää käyttöä varten. Tavoitteena infra-alalla on tietomallien tehokas hyödyntäminen suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa. Tämän avulla pyritään parantamaan alan tuottavuutta ja laatua. (InfraBIM 2014)

Infra-alan tietomalleja kutsutaan sekaannusten välttämiseksi inframalleiksi (Liikennevirasto 2014c). Inframallien käyttöä yhtenäistämään alalle on määritetty yhteinen tiedonsiirtoformaatti Inframodel, yhteinen InfraBIM-nimikkeistö ja YIV (yleiset inframallivaatimukset). Inframallien koko hankkeen elinkaaren mittainen hyödyntäminen käynnistyy lähtötietomalleista. Tuotemallit ovat suunnittelun eri hankevaiheiden inframalleja. Hankkeen toteutusvaiheessa luodaan toteutusmalli, jonka avulla hanke toteutetaan. Hankkeen valmistumisen jälkeen väyläomaisuutta hallitaan ylläpitomallien avulla. Tässä diplomityössä tutkimuksen kohteena ovat suunnittelun eri hankevaiheiden inframallit.

Inframallin sisältö koostuu useista erilaisista osakokonaisuuksista. Inframodel-tiedonsiirtoformaatin määrittelyjen mukaisia osakokonaisuuksia ovat otsikkotiedot, perusaineisto, väylien rakenteisiin liittyvä aineisto, aluemaisten rakenteiden aineisto ja vesihuollon rakenteiden aineisto. Aineistot koostuvat rakenteita ja pintoja kuvaavista pisteistä, viivaketjuista, kolmioverkoista ja niiden sijainti- ja ominaisuustiedoista. Vesihuollon rakenteiden aineisto sisältää ominaisuustietoineen myös kaivot ja putket sekä niistä muodostettujen verkostojen tiedot.

Eri hankevaiheiden inframallit saattavat käytännössä sisältää vaihtelevan määrän teknisiä puutteita, epätarkkuuksia ja virheitä. Jo aikaisten hankevaiheiden inframalleista on mahdollista luoda yksityiskohtaisia, mutta suuri detaljien määrä kasvattaa myös mahdollisia virhelähteitä. Mallintamisen teknisen laadun analysointiin on alalla jo luotu ohjelmatyökalu, jolla kyseisiä laatupoikkeamia voidaan todentaa. Hyväksyttävän laatutason määritelmät ja hyväksymiskriteerit tilaajan kannalta kuitenkin vielä puuttuvat.

## 1.2 Tavoitteet ja aiheen rajaus

Tässä diplomityössä tarkastellaan infran mallinnusta ja eri hankevaiheiden inframalleja vaatimustenmukaisuuden ja laadun näkökulmasta. Inframallin eri osakokonaisuuksien laadun merkitys on erilainen eri hankevaiheissa. Merkitys vaihtelee inframallin käyttötarkoituksen mukaan. Aikaisessa hankevaiheessa ei ole tehokkuuden kannalta järkevää viimeistellä inframalleja kaikilta osin. Teknisten yksityiskohtien kattavuuden ja virheetömyyden painoarvo kasvaa hankkeen toteutusvaiheen lähestyessä. Tämän diplomityön tavoitteena on määrittellä tilaajan näkökulmasta inframallien oleelliset osakokonaisuudet eri hankevaiheissa. Toisena tavoitteena on määrittää teknisen laadun hyväksymiskriteerit kunkin hankevaiheen oleellisille osakokonaisuuksille. Näiden tavoitteiden täyttämiseksi tämä työ pyrkii vastaamaan seuraavaan kysymykseen:

Mikä on hyväksyttävä tekninen laatutaso eri hankevaiheiden inframalleissa?

Inframallien osakokonaisuuksien merkittävyydet eri hankevaiheissa pyritään määrittämään haastattelemalla alan asiantuntijoita. Samassa yhteydessä selvitetään inframallien tekniseen laatuun vaikuttavia tekijöitä ja inframallien nykyistä laatutasoa. Laatutasoa tutkitaan myös olemassa olevan viiteaineiston avulla. Kirjallisuuden, haastattelutulosten ja viiteaineiston analyysin avulla pyritään määrittämään hyväksymiskriteerit eri hankevaiheiden inframalleille.

Tutkimus koskee väylärakenteiden inframalleja lukuun ottamatta vesiväylähankkeita. Hankevaiheina tässä tutkimuksessa käsitellään yleissuunnitelmavaihetta, väyläsuunnitelmavaihetta ja rakennussuunnitelmavaihetta. Tutkittavia inframallin osakokonaisuuksia ovat väylän vaaka- ja pystygeometriat, taiteviivat, kolmioidut pintamallit ja vesihuollon verkostojen rakenteet. Inframallien perus- ja otsikkotietojen laatua ei tutkita tässä työssä, sillä niiden osalta tilaajan vaatimuksena on jo tässä vaiheessa virheetön laatu.

Laatutaso merkitsee tässä työssä teknistä laatua, joka käsittää inframallin sisällön vastaavuuden InfraBIM-nimikkeistön, IM-formaatin ja Yleisten inframallivaatimusten sisältöön. Suunnitelmaratkaisujen sisällöllistä laatua ei tämän työn yhteydessä tutkita.

## 1.3 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto

Työn teoriaosuudessa esitellään kirjallisuustutkimuksen avulla väylärakentamisen eri hankevaiheet ominaispiirteineen ja inframallinnuksen kytkeytyminen kyseisiin hankevaiheisiin. Inframallinnukseen liittyvät vaatimukset ja määritelmät käydään olennaisin osin läpi BuildingSMART Finlandin julkaisemien vaatimusdokumenttien ja Liikenneviraston aiheeseen liittyvien ohjeiden kautta. Laadun käsite ja sen soveltaminen inframallinnukseen on teoriaosuuden keskeinen osa. Siinä laatuun liittyvät perusteorioiden käydään läpi kirjallisuudesta ja niiden ohella esitellään laadun tutkimisen menetelmiä ja

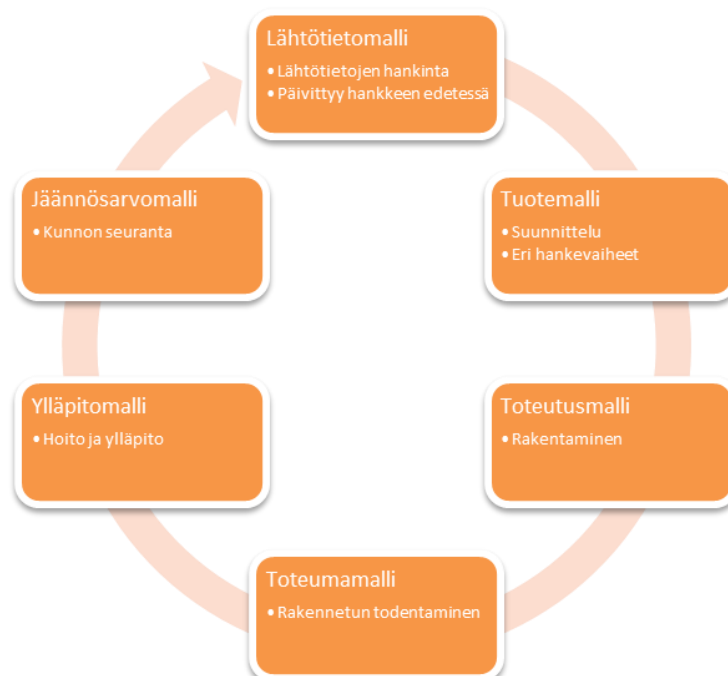
työkaluja. Laadun käsite inframallinnuksen yhteydessä määritetään tutkimalla laatuun liittyviä osioita inframallinnuksen vaatimuksista ja ohjeista ja soveltamalla laadun käsitettä niihin.

Empiirisen osan pääasiallisena tutkimusmenetelmänä käytetään haastattelututkimusta, joka toteutetaan asiantuntijahaastatteluina. Asiantuntijoita haastatellaan neljän eri väylärakentamisen suunnittelu- ja toteutusprosessissa mukana olevan toimijatahon näkökulmasta. Näitä ovat suunnittelija (tiesuunnittelu ja rakennussuunnittelu), urakoitsija ja tilaaja. Tiesuunnittelun, rakennussuunnittelun ja urakoitsijan haastateltavat pohtivat vastauksissaan edeltävästä hankevaiheesta lähtöaineistona saatavassa inframallissa olevien virheiden ja puutteiden merkitystä inframallin jatkokäytössä. Tilaaja pohtii inframallin eri osakokonaisuuksissa olevien virheiden ja puutteiden merkitystä sen jatkokäytössä eri hankevaiheissa. Kaikkia toimijatahoja edustaa tutkimuksessa kolme eri haastateltavaa eli haastateltavia on yhteensä 12. Heidät on valittu tutkimukseen konsulttitoimistoista, urakoitsijoilta ja alueellisista ELY-keskuksista (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus) ja ovat hyvin perillä mallintamalla tehdyn suunnittelun erityispiirteistä. Haastattelut ovat puolistrukturoituja.

Haastattelujen lisäksi empiirisessä osassa tutkitaan kvantitatiivisesti viiteaineiston avulla inframalleissa esiintyvien virheiden määriä ja tyyppejä. Viiteaineisto on olemassa olevia Liikenneviraston ja ELY-keskusten hankkimia inframalleja, jotka on testattu Liikennevirastolla vuonna 2015 pilottikäytössä olevan BimOne Checker-pilvipalvelun avulla. Palvelu on tuottanut kaikista inframallitiedostoista raportin, jossa on laadun testaustulokset osakokonaisuuksittain. Raporttien ohella tuotoksena kaikista tiedostoista on myös 2D-karttaesitys. Aineisto käsittää 584 inframallitiedostoa 12:sta eri projektista.

## 2. VÄYLÄN MALLIPOHJAINEN SUUNNITTELU

Väylähankkeen suunnittelu ja toteutus on monivaiheinen prosessi, jossa on mukana useita eri sidosryhmiä. Digitalisaation myötä väylien suunnitteluun liittyvät menetelmät ovat muutosvaiheessa. Alalla siirrytään kohti sähköistä tiedonhallintaa ja luodaan uusia sähköisiä prosesseja pyrkien samalla eroon vanhoista tehottomista prosesseista. Tavoitteena on tehokkuuden ja tuottavuuden kasvattaminen sekä tiedon säilyttäminen ja hyödynnettävyys koko hankkeen elinkaaren ajan (InfraBIM 2014). Tietomallintaminen on eräs keino lisätä alan tuottavuutta, mutta sen käyttöön ottaminen tarjoaa myös muita merkittäviä hyötyjä. Tietomallintaminen on paljon muutakin kuin suunnitelman esittämistä 3D-muodossa, joka on sen usein käsitetty sisältö. Mallintaminen sisältää usein 3D-muodossa esittämistä, mutta pelkkä 3D-esitys ei ole tietomallintamista. Mallintaminen on tiedon hallintaa, siirtämistä ja säilyttämistä eri järjestelmiin yhteensopivassa muodossa koko hankkeen elinkaaren ajan. Elinkaaren eri vaiheissa väylähankkeen tietomallia käytetään erilaisiin tarkoituksiin. Suunnitteluvaiheen tuotemallia kutsutaan suunnitelmamalliksi. Kuvassa 1 on esitetty tietomallin elinkaaren eri vaiheet. Infra-alan tuotemallista on sekaannusten välttämiseksi alalla sovittu käytettävän yleistä termiä inframalli (Liikennevirasto 2013c).



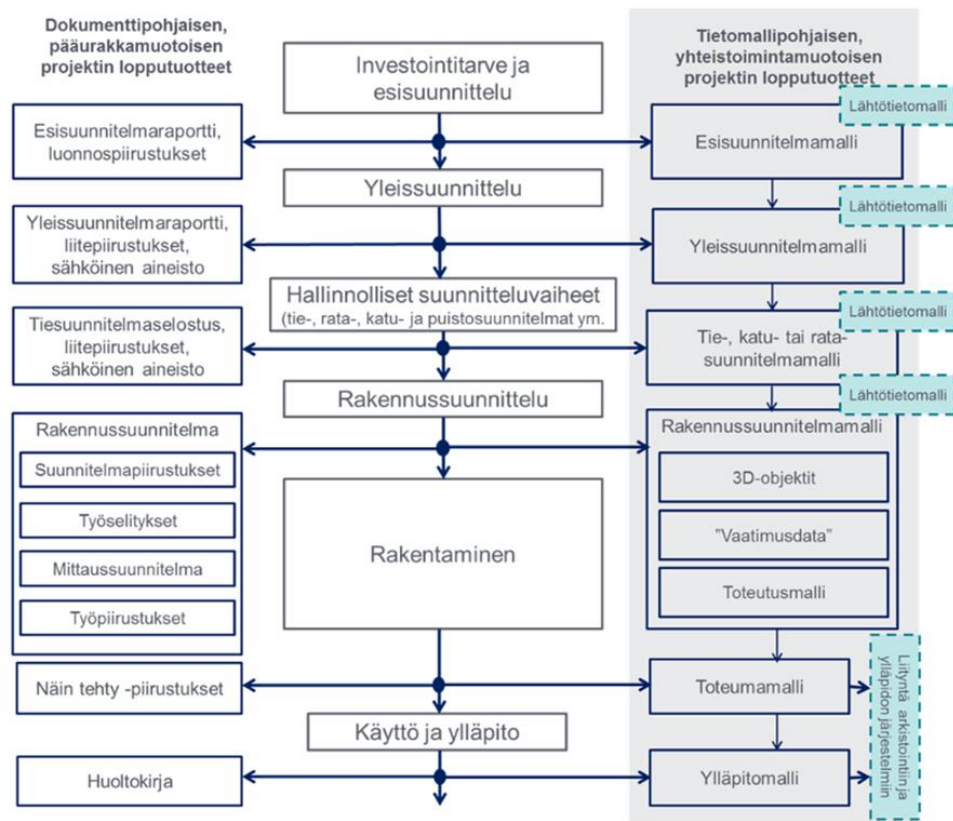
Kuva 1. Tietomallin elinkaari (Perustuu lähteeseen InfraBIM 2014)

## 2.1 Väylärakentamisen suunnitteluprosessi

Väylärakentaminen kattaa tämän tutkimuksen yhteydessä tie- ja katurakentamisen sekä ratarakentamisen. Maantiet, jotka liikenteellisen merkityksensä mukaan jaetaan valtateihin, kantateihin, seututeihin ja yhdysteihin, ovat valtion ylläpitämiä. Niiden suunnittelun teettää yleensä ELY-keskus tai suurissa hankkeissa joskus myös Liikennevirasto. Myös kunta tai yksityinen yritys voi ELY-keskuksen kanssa asiasta sovittuaan teettää maantielle yleis- tai tiesuunnitelman omalla kustannuksellaan (Liikennevirasto 2011b). Katujen suunnittelusta ja suunnitelmien hyväksymisestä vastaavat kunnat. Yksityisteistä vastaavat tieosakkaat, mutta niiden parantamishankkeiden rahoituksessa voi olla avustamassa myös valtio ja kunnat (Hämäläinen 2010). Rautatiehankkeiden suunnitelmien teettäjänä toimii Liikennevirasto. Maanteiden ja rautateiden suunnitelmat hyväksyy Liikennevirasto tai joissain tapauksissa Liikenne- ja viestintäministeriö. Suunnittelun tuottajana toimivat niihin erikoistuneet konsulttitoimistot.

Väylien suunnittelua ja rakentamista ohjaa lukuisa määrä säädöksiä, joista tärkeimpänä maankäyttö- ja rakennuslaki MRL (1999). Siinä määritellään eritasoisten kaavojen vastuut ja kaavoituksen etenemisprosessi. Maantielaki ja -asetus määrittelevät maanteiden suunnittelukriteerit ja rautatielaki ja -asetus vastaavasti rautateiden suunnittelukriteerit. Uutta väylää suunniteltaessa suunnittelun tulee perustua maankäyttö- ja rakennuslain mukaiseen kaavaan. (Liikennevirasto 2015a). Kaikkien Liikenneviraston väylähankkeiden ja ELY-keskusten keskitettyä suunnittelurahoitusta saavien hankkeiden suunnittelua ohjaavana asiakirjana toimii Liikenneviraston suunnitteluperusteet. Siinä määritetään hankkeen tavoitteellinen laatutaso sekä tekniset ja toiminnalliset tavoitteet. (Liikennevirasto 2011a) Katusuunnittelun lähtökohdista merkittävä osa on määritetty jo kaavoitusvaiheessa (Hämäläinen et. al 2006).

Väylähankkeet etenevät hankkeen loppua kohti tarkentuvien hankevaiheiden kautta. Suunnittelu alkaa esiselvitysvaiheesta. Sitä seuraavat yleensä yleissuunnittelu, tiesuunnittelu ja rakennussuunnittelu. Tiensuunnittelun suunnitteluvaiheita voi tarpeen mukaan kuitenkin yhdistää, jos hanke on pienehkö ja vaikutuksiltaan vähäinen. Siinä voi olla kahdesta neljään eri vaihetta (Hämäläinen et al. 2006). Väylähankkeen eteneminen ja tietomallinnuksen kytkeytyminen eri hankevaiheisiin on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2. Väylähankkeen eteneminen ja siihen liittyvät tietomallit (InfraBIM 2015, osa 1)

### *Esisuunnittelu*

Esiselvitysvaihe saattaa sisältää laajuudeltaan monen eri tason selvityksiä. Toimenpiteet voivat väylärakentamisen ohella olla muunlaisiakin, esimerkiksi joukkoliikennettä tai liikenneturvallisuutta koskevia toimenpiteitä. Tuotoksina liikennejärjestelmätasoisesta esisuunnittelusta tulee erityisesti väylien palvelutasoa koskevia tavoitteita. Nämä tarkentuvat siirryttäessä kohti hankekohtaista esisuunnittelua, joka koskee tietyllä verkon osalla tapahtuvaa yhden väylämuodon kehittämistä. Suunnittelu on kuitenkin tässä vaiheessa vielä hyvin yleisluontoista (Liikennevirasto 2011a). Erilaisista esiselvitystyypeistä tärkeimpiä ovat Hämäläisen et al. (2006) mukaan tarveselvitykset, yhteysväliselvitykset ja teemakohtaiset selvitykset.

### *Yleissuunnittelu*

Kaikista uusista hankkeista tulee lähtökohtaisesti laatia yleissuunnitelma. Poikkeuksena ovat hankkeet, joiden vaikutukset ovat vähäiset. Vastaavia ovat myös hankkeet, joissa maantien sijainti ja tien arvioidut vaikutukset on ratkaistu riittävässä määrin asemakaavassa tai oikeusvaikutteisessa yleiskaavassa (Maantielaki 18§). Hankkeen tyyppi, alustavasti arvioidut vaikutukset, jatkosuunnittelun tarpeet ja muut vastaavat tekijät määrittelevät yleissuunnittelun laajuuden ja tarkkuustason (Hämäläinen et al 2006).

Yleissuunnitelmassa esitettävistä asioista tärkeimpiä ovat selvitykset väylän tarpeellisuudesta ja tutkituista ratkaisuvaihtoehdoista. Yleissuunnitelmassa muodostetaan eri ratkaisuvaihtoehtoja ja niitä vertaillaan keskenään. Mukana vertailussa ovat aina vaihtoehdot tien säilyttämisestä ennallaan eli ns. nollavaihtoehto ja tien vähäinen parantaminen ongelman lieventämiseksi (Liikennevirasto 2010b). Edellä mainittujen asioiden ohella tärkeitä ovat myös tekniset ja liikenteelliset perusratkaisut, tien likimääräinen sijainti ja suunnitelman arvioidut vaikutukset. Selvitettäviin asioihin kuuluvat myös hankkeen kustannusarvio ja kustannusten mahdollinen jakautuminen eri osapuolille. Yleissuunnitelman hyväksymisvaiheessa hankkeen laajuus ja periaateratkaisut hyväksytään pohjaksi mahdolliselle jatkosuunnittelulle. Pienissä ja rajatuissa kohteissa yleissuunnittelun lopputulos voi olla toimenpidesuunnitelma. (Hämäläinen et al. 2006)

Yleissuunnitelman tulee tukeutua maakuntakaavaan ja yleiskaavaan eikä sitä saa hyväksyä niiden vastaisesti. Hyväksytyjä perusratkaisuja ei enää muuteta tiesuunnitelmavaiheessa. Kunnan ja alueellisen ympäristökeskuksen (2010 alkaen ELY-keskus) puoltaessa yleissuunnitelma voidaan kuitenkin hyväksyä vastoin asemakaavaa. Asemakaavan muutokset voidaan tällöin tehdä tiesuunnitelman kanssa samanaikaisesti. Maantie on myös joissain vähäisissä tapauksissa mahdollista suunnitella erillisenä kaavasta. Tällöin se on yleensä maakuntakaavassa huomioimaton maaseudulle sijoittuva vähäinen tiehankke. (Hämäläinen et al. 2006) Yleissuunnitelma voi mahdollisesti rajoittaa muuta rakentamista, ja se saattaa myös velvoittaa tienpitäjää alueiden lunastamiseen (Liikennevirasto 2010a).

Yleissuunnitelmassa on liikenneteknisten ratkaisujen valinnan ja mitoituksen kannalta tärkeintä varmistaa suunniteltujen ratkaisujen toimivuus, ja selvittää kyseisten ratkaisujen vaatima tilantarve likimääräisesti. Suunnittelun tarkkuus sovitetaan hankkeelle ja sen sijainnille sopivaksi. Taajamassa suunnittelu on aina tarkempaa kuin maaseudulla. Yleissuunnitteluvaiheessa myös lähtötiedot ovat usein likimääräisiä, ja ne tarkentuvat myöhemmissä suunnitteluvaiheissa. Suunnittelutarkkuuden ja sen esittämistarkkuuden tulee olla järkevässä suhteessa keskenään ja on huomioitava, että yleissuunnitelmavaiheessa tulee välttää näennäistä piirustustarkkuutta. (Hämäläinen et al. 2006)

Yleissuunnitelmavaiheessa on erityisen tärkeää järjestää kaikille asianosaisille mahdollisuus osallistua valmisteluun ja arvioida suunnitelman vaikutuksia. Heidän on myös voitava ilmaista mielipiteensä joko suullisesti tai kirjallisesti. Yleissuunnitelman olennaisimpia osia ovat Hämäläisen et al. (2006) mukaan piirustukset ja havainnollistavat liitekuvat. Kuvien on oltava mahdollisimman havainnollisia ja niistä tulee selvittää esitettävät ratkaisut sekä niiden sijoittuminen ympäristöön. Piirustuksista esitetään yleensä vähintään yleiskartta, suunnitelmakartat, tärkeimpien teiden pituusleikkaukset, poikki-leikkaukset ja kartta tiehankkeen sopeutumisesta lähiympäristöönsä.

Raideliikenteen yleissuunnitelman ominaispiirteenä on teknisten, toiminnallisten ja ympäristöllisten ratkaisujen ohella työnaikaisen junaliikenteen huomioon ottaminen. Rai-

deliikenteen yleissuunnitelmassa määritetään alustava toteutustapa ja kustannusarvio ja sen perusteella laaditaan toteutuspäätöksen jälkeen ratasuunnitelma. (Yli-Villamo 2006)

### *Väyläsuunnittelu eli tie- katu- tai ratasuunnittelu*

Tiesuunnitelman laatiminen ja suunnitelman hyväksyminen ovat maantielaisissa määritetyjä pakollisia vaiheita ennen maantien rakentamista. Poikkeuksena on vaikutuksiltaan vähäinen maantien parantaminen, johon ei tarvitse ottaa lisäalueita tai lisäalueen ottamiselle on kiinteistön omistajan tai haltijan kirjallinen suostumus (Maantielaki 21§). Tiesuunnitelma täytyy laatia ja hyväksyä myös silloin, kun tie tai katu muutetaan maantiekiksi tai maantie lakkautetaan muulloin kuin maantien rakentamisen yhteydessä (Maantielaki 25§). Tiesuunnitelma voidaan laatia myös olemassa olevaan maantiehen liittyvien yksityisteiden ja niiden liittymien järjestelemiseksi. Käytännössä hyvin pienistäkin hankkeista joudutaan laatimaan tiesuunnitelma, jos vaikutusten arvioidaan yltyvän laajemmalle alueelle. Jos kyseessä on vähäinen hanke eikä tiesuunnitelmaa laadita, laadittavaa suunnitelmaa kutsutaan parantamissuunnitelmaksi. Tällöin voidaan hankkia maanomistajien suostumukset lisäalueisiin. Kun tiesuunnitelma on hyväksytty, se oikeuttaa lunastamaan suunnitelmassa osoitetut alueet ja rakentamaan suunnitellun maantien tai parantamaan sitä. Hyväksytyt suunnitelman tiedoksi antamisen jälkeen ei tietä varten varatulle alueelle eikä suoja- ja näkemäalueille saa rakentaa. Maantien sijainti, korkeusasema ja poikkileikkaus on esitettävä tiesuunnitelmassa niin, että tiealueen merkitseminen maastoon on mahdollista. Suunnittelukartoilta tulee käydä myös ilmi tien suoja- ja näkemäalueet ja varaukset tien mahdolliselle leventämiselle. Yleensä myös tiealueen rajat esitetään kartoilla. Muita esitettäviä asioita ovat yleissuunnitelmasta tarkennettu kustannusarvio ja tilanrajat maanomistustietoineen ja tiloille johtavine kulkuyhteyksineen. (Hämäläinen et al. 2006)

Oikeusvaikutteinen kaava on edellytys tiesuunnitelman hyväksymiselle ja tien rakentamiselle. Tien rakenteiden täytyy asemakaava-alueilla mahtua liikennealueelle. Asemakaava-alueen ulkopuolella tiesuunnitelmassa varataan tiealuetta riittävästi, jotta tie saadaan sovitettua tiealueelle massatasapaino optimoiden, korkeusasemia mahdollisesti vähäisesti muuttaen. Maantielaki ei aseta tarkkoja vaatimuksia esimerkiksi rakenteiden ulkonäölle. Tiesuunnitelmavaiheessa kuitenkin joudutaan usein tekemään tarkkojakin määrittelyjä suunnitelman käsittelyn yhteydessä esitettyjen vaatimusten mukaisesti. Näistä sitoumuksista ei voida poiketa rakentamisvaiheessa. (Hämäläinen et al. 2006)

Tiesuunnitelman laatimisesta ja siihen kuuluvien maastotutkimusten aloittamisesta tulee tiedottaa kaikkia asianosaisia tahoja. Luonnosvaiheen suunnitelmaa esitellään yleisötilaisuuksissa. Maantien tiesuunnitelman tarkka sisältö ja esitystapa on määritetty Liikenneviraston ohjeessa *Tiesuunnitelmavaiheen asiakirjat – Sisältö ja esitystapa*. Kuulemismenettelyn sekä lausuntojen ja muistutusten käsittelyprosessien jälkeen tie- ja ratasuunnitelmat hyväksyy Liikennevirasto tai poikkeustapauksissa Liikenne- ja viestintä-

ministeriö. Tiesuunnitelmien osalta hyväksymisesityksen Liikennevirastolle tekee alueellinen ELY-keskus. (Liikennevirasto 2011b)

Katusuunnittelun perusteet on määritetty maankäyttö- ja rakennuslaissa ja -asetuksessa. Sen mukaan katu rakennetaan kunnan hyväksymän suunnitelman mukaisesti. Katu tulee suunnitella ja rakentaa niin, että se sopeutuu asemakaavan mukaiseen ympäristöön ja täyttää toimivuuden, turvallisuuden ja viihtyisyyden vaatimukset. Suunnitteluvaiheessa osallisille tiedottaminen ja heidän mahdollisuutensa osallistua prosessiin on myös määriteltävä laissa. Katusuunnitelmassa tulee selvittää kadun osien käyttötarkoitukset, kadun sopeuttaminen ympäristöön ja vaikutukset ympäristöön. Myös kadun liikennejärjestelmäperiaatteet, vesien johtaminen, kadun korkeusasema, päällystemateriaali sekä tarvittaessa istutukset, pysyväisluonteiset rakennelmat ja laitteet esitetään katusuunnitelmasa. Kohteita joista katusuunnitelma tehdään, ovat katujen, raittien, torien ja katuaukioiden uudisrakennuskohteet tai näiden merkittävät perusparannuskohteet. Myös merkittävistä kadun rakenteita muuttavista liikennejärjestelykohteista tehdään katusuunnitelma. Alkuperäisen laatutason palauttavista, vikojen korjaamiseen tähtäävistä tai muista vähäisistä muutoksista ei tarvita katusuunnitelmaa vaan voidaan tehdä suoraan rakennussuunnitelma. (Hämäläinen et al. 2006)

Katusuunnittelun erityispiirteitä ovat katualueille sijoittuvat teknisen huollon verkostot, kuten vesi-, viemäri-, kaukolämpö- ja sähköverkostot. Samoin suunnittelun ja toteuttamisen kannalta haastavia ovat erilaiset maanpäälliset ja maanalaiset rakennelmat. Katusuunnitelma koostuu asemapiirustuksista ja tapauskohtaisista yksityiskohtaisista rakennussuunnitelmista. Niistä ilmenevät katualueen rajat, maastotiedot, rakenteet, päällystemateriaalit, istutettavat osat, luiskat, yli- ja alikulkusillat sekä vesien johdatus. Edellä lueteltujen asioiden lisäksi myös yleissuunnitelmatason ympäristö- ja miljöösuunnitelmien merkitys katusuunnitelmien osana on kasvanut. Valmiin katusuunnitelman hyväksyy lopulta kunnan- tai kaupunginvaltuusto tai lautakunta, jolle hyväksymisvastuu on delegoitu. (Hämäläinen et al. 2006; Junttila & Koivistoinen 2002)

Ratasuunnittelussa tehdään päivitys radan yleissuunnitteluvaiheessa hankittuihin esitietoihin. Suunnitellut ratkaisut tarkistetaan mahdollisesti muuttuneiden lähtötietojen ja ohjeiden mukaiseksi. Tavoitteena on löytää suunnitteluratkaisut, joilla päästään ympäristö huomioon ottaen mahdollisimman edulliseen lopputulokseen. Yleissuunnitelmassa esitetty laatutaso, aikataulu ja kustannusarvio päivitetään samalla vastaamaan hankkeen resursseja. Tarvittavien maa-alueiden hankinta tehdään ratasuunnitelmien pohjalta. (Yli-Villamo 2006)

### *Rakennussuunnittelu*

Rakennussuunnittelu on hankkeen toteuttamiseen liittyvä suunnitteluvaihe. Sitä ei tehdä ennen kuin hankkeen toteuttamisaika ja rahoitus ovat selvillä (Liikennevirasto 2011b). Rakennussuunnitelman sisältö ja esitystapa riippuvat tapauskohtaisesti rakennushank-

keen laajuudesta, monimuotoisuudesta ja ympäristötekijöistä. Tien rakennussuunnittelu perustuu lainvoimaiseen tiesuunnitelmaan eikä siinä esitettyjä ratkaisuja voi olennaisesti muuttaa rakennussuunnitelmaan. Tiehankkeen ollessa vaikutuksiltaan vähäinen voidaan hankkeesta kuitenkin laatia suoraan rakennussuunnitelma eli ns. parantamissuunnitelma. Tie- ja rakennussuunnitelma voidaan tällaisissa tapauksissa myös yhdistää. Tapauksissa, joissa rakennussuunnitelmaa tehtäessä joudutaan tiesuunnitelmasta oleellisesti poikkeamaan, laaditaan tiesuunnitelman muutossuunnitelma. Se käsitellään maantielain mukaisesti. (Liikennevirasto 2013a, Liikennevirasto 2013b)

Rakennussuunnitelman vaadittava sisältö ei riipu hanketyypistä eikä hankintamuodosta. Se on niin yksityiskohtainen, että suunnitelman perusteella pystytään laskemaan määrät ja rakentaminen pystytään toteuttamaan suunnittelijan tarkoittamalla tavalla. Kolmannen osapuolen on lisäksi pystyttävä tarkistamaan suunnitelma. Rakennussuunnitelman on oltava yksiselitteinen. Se tulee laatia noudattaen infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia ja muita vaadittuja ohjeita. Rakennussuunnitelma ei ole maantielaisissa säädelty, kuten yleis- ja tiesuunnitelma ovat. (Liikennevirasto 2013a, Liikennevirasto 2013b)

Tien sijainti ja suuntaus rakennussuunnitteluvaiheessa perustuvat tiesuunnitelmaan. Niitä voi kuitenkin tarvittaessa muuttaa vähäisesti tiealueen sisällä. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat geometriset vaatimukset, geotekninen suunnittelu, kuivatuksen suunnittelu, siltasuunnittelu, ympäristösuunnittelu ja massatalous. Edellä mainitut asiat suunnitellaan kokonaisuutena tukeutuen suunnittelualakohtaisiin ohjeisiin. On kuitenkin huomattava, että muutokset tiesuunnitelmaan nähden eivät saa aiheuttaa haitallisia vaikutuksia yhdellekään asiaan liittyvälle sidosryhmälle. Mahdollisille muutoksille tulee saada tilaajan hyväksyntä. Poikkileikkausmitat on määritetty tiesuunnitelmavaiheessa. Rakennussuunnitelmavaiheessa ne tarkistetaan, ja niitä täydennetään tarvittaessa laitteiden ja varusteiden sijainnilla. Tiesuunnitelmassa on aiemmassa vaiheessa määritetty myös liittymien ja muiden tiejärjestelyjen sijainti. Rakennussuunnitelmavaiheessa keskitytään detaljien suunnitteluun myös niiden osalta. Tärkeä vaihe rakennussuunnitelmavaihetta on lisäksi tienpitäjän omistamien varusteiden ja laitteiden yksityiskohtainen suunnittelu ja yhteensovittaminen. Muiden omistamien laitteiden siirto ja suojaukset täytyy suunnitella niiden omistajien kanssa yhteistyössä (Liikennevirasto 2013b).

Kadun suunnittelussa rakennussuunnitelma saadaan täydentämällä katusuunnitelmaa lisäämällä tietoja rakenteellisista yksityiskohdista sekä laatimalla lisäpiirustuksia tarvittavista kohdista. Pääosin tässä vaiheessa tehtävä suunnittelu on valmisteltu jo katusuunnitteluvaiheessa. (Junttila & Koivistoinen 2002)

## 2.2 Tietomallinnus infra-alalla

Infran suunnittelua ohjaavat maakohtaiset lait, säädökset, suunnitteluohjeet ja käytännöt. Lisäksi eri kohteiden, kuten siltojen, rautateiden tai maanteiden suunnittelu on erikoistunutta. Tästä syystä suunnittelussa käytetyt suunnitteluohjelmistot on yleensä tehty moduulipohjaisiksi (Herva 2009). Infrarakentamisen suunnittelussa on käytössä useita eri suunnitteluympäristöjä ja käytetyillä ohjelmistoilla on yleisesti hyvin vähän yhteisiä rajapintoja näiden välillä (Laasonen et al. 2015). Väyläsuunnittelua tehdään edellä mainituilla ohjelmistoilla koko ajan lisääntyvässä määrin mallintamalla. Alalla on jo aiemmin hyödynnetty suunnitteluohjelmistoja, joilla eri suunnittelualojen suunnittelijat voivat hyödyntää yhteisiä lähtötietoja, kuten maastomallit ja kartta-aineistot (Junnonen 2009). Yhteinen tiedonsiirtoformaatti ja mallinnusohjeet ovat kuitenkin puuttuneet eikä tiedon hallintaa ole koordinoitu. Eri hankevaiheissa suunnittelun tuotoksilta eli inframalleilta vaaditaan erilaista tarkkuustasoa riippuen kyseisen hankevaiheen vaatimuksista.

### 2.2.1 Historia ja kehitys

Tietotekniikkaa hyödynnettiin rakentamisessa ensimmäiseksi rakennesuunnittelussa ja lujuuslaskennassa. Infran suunnittelussa tietokoneet tulivat helpottamaan aikaisemmin käsityönä tehtyjä laskentoja. Niitä olivat geometrioiden, siirtomassojen, maanmittauksen ja kunnallistekniikan laskennat, joihin tietokoneet toivat ajansäästöä. Tietokoneiden käytössä tapahtui suuri edistysaskel 1990-luvulla, kun mikrotietokoneet yleistyivät. 2000-luvulla haasteita on tuonut hankkeiden monimuotoisuus, monimutkaisuus ja informaation määrän kasvaminen. Samalla ohjelmistot ovat kehittyneet yksittäisistä laskentatoimiin tarkoitetuista ohjelmista integroiduiksi modulaarisiksi suunnitteluohjelmistoiksi. (Junnonen 2009)

Rakentamisen tietomallinnuksen (BIM) ensimmäiset konseptit kuvaili Halttulan (2015) mukaan C. Eastman vuonna 1975. Silloin puhuttiin termistä ”Building description system”. 1980-luvun puolella USA:ssa käytetty termi oli ”Building product model” ja Euroopassa ”Product information model”, kunnes 1980-luvun puolivälin jälkeen termit yhdistyivät termiksi ”Building information model”, jonka ensimmäiseksi toi julki R. Aish vuonna 1986.

Tietomallinnus on edennyt talonrakennusalalla pidemmälle kuin infra-alalla. Talonrakennuksessa käytettävää yhteistä tiedonsiirtoformaattia (Industry foundation classes, IFC) on kehitetty vuodesta 1994. Silloin 12 yhtiötä Yhdysvalloissa päätti alkaa tutkia mahdollisuutta avoimen tiedonsiirtostandardin luomiseen rakennusalalle (Kiviniemi & Laakso 2012). Perusteet kehitykselle oli tosin luotu jo aiemmin erilaisissa tutkimushankkeissa, ja esimerkiksi 3D-kappaleiden geometriaa on tutkittu jo 1960-luvulta lähtien (Eastman et al. 2011). Infra-alalla tietomallintaminen on erilaista kuin talonrakentamisessa ja mallinnettavat rakenteet koostuvat erilaisista elementeistä. Tiedonsiirto-

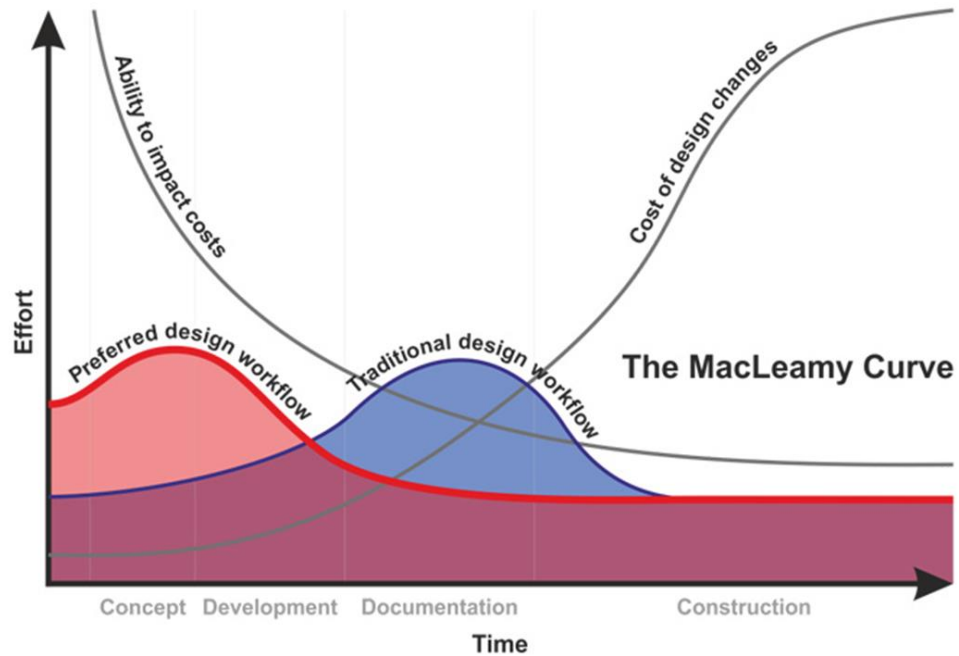
standardeihin ei infra-alalla ole vielä saavutettu yhteistä suuntaa, vaan formaatteja kehitetään osin rinnakkain eri maissa. Kansainväliseen LandXML-standardiin pohjautuen on Suomessa kehitetty kansallinen Inframodel-laajennus. Se ei kuitenkaan sisällä siltoja eikä muita vastaavia rakenteita, vaan niihin tarvitaan IFC-standardia. Kaukoidässä kehitetään IFC-pohjaista standardia myös tierakentamiseen. IFC Road pystyy sisällyttämään väylärakenteen ohella myös sillat ja tunnelit samaan tietomalliin (Kim & Lee 2011).

Suomessa käytössä olevan Inframodel-standardin kehitys käynnistyi vuonna 2001 Tekesin Infra-teknologiaohjelmaan liittyvän Inframodel-hankkeen myötä. Inframodel perustuu kansainväliseen LandXML-standardiin, johon on lisätietokenttinä lisätty tarvittaviin paikkoihin rakennelaajennuksia. (Junnonen 2009) Inframodelin kehitys vauhdittui vuonna 2009 käynnistyneen tilaajavetoisen InfraTM-hankkeen myötä. Siinä valmisteltiin kehitystyö, joka jatkui RYM Oy:n PRE-ohjelman yritysveitoisessa InfraFINBIM-työpaketissa 2010–2014. (Liikennevirasto 2013c) Ohjelman visiona oli, että suuret infran haltijat tilaavat vuodesta 2014 lähtien vain tietomallipohjaista palvelua, jota hyödynnetään kaikissa projektin vaiheissa (InfraBIM 2014a). Liikennevirasto onkin vaatinut kaikissa 1.5.2014 jälkeen käynnistyneissä hankkeissa Inframodel-formaatin käyttöä. Työpakettiin liittyen alalle määritettiin edellä mainittu Inframodel, yhteinen InfraBIM-nimikkeistö ja YIV eli yleiset inframallivaatimukset. Ohjelman jälkeinen inframallinnukseen liittyvä kehitystyö tapahtuu BuildingSMART Finlandin infratoimialaryhmässä. Se tekee myös kansainvälistä yhteistyötä samaan organisaatioon kuuluvien pohjoismaisen BuildingSMART Nordicin ja BuildingSMART Internationalin kanssa.

## 2.2.2 Mallinnuksesta saatavat hyödyt

Inframallinnuksen kautta saavutetaan hyötyjä useissa väylähankkeen elinkaaren vaiheissa. Tiedonkulku hankkeen eri osapuolten välillä paranee. Moninkertaisen työn tekeminen tiedon keräämisessä ja tallentamisessa vältetään. Tämä saavutetaan, kun tieto on tallennettu keskitetysti ja sitä päivitetään hallitusti ja jatkuvasti. Maastosta ja muista lähteistä kerätty lähtötieto ohjataan virtaviivaisesti yhteisen tietokannan kautta suunnitteluun, rakentamiseen ja lopulta ylläpitoon. Suunnitelmaratkaisujen vaihtaminen on sitä edullisempaa, mitä aikaisemmassa vaiheessa se tehdään. Päätöksen teon aikaistaminen myös suurentaa mahdollisuutta vaikuttaa rakentamisen kustannuksiin. Edellä mainittuja riippuvuuksia kuvaa Patrick MacLeamyn vuonna 2004 julkaisema niin sanottu MacLeamyn käyrä, joka on esitetty Woddyn (2013) soveltamana kuvassa 3. Uudenlaisen BIM-ympäristössä tapahtuvan työnkulun ja aikaisemman vaikuttamisen käyttöön ottaminen vaatii kaikkien projektiosapuolten mukaan ottamista entistä aikaisemmassa vaiheessa. Tällöin puhutaan Halttulan (2015) mukaan uudesta ns. IPD (Integrated project delivery) -toimintamallista. Toisaalta suunnittelupanostusten siirtäminen hankkeen elinkaaren alkuun lisää Springerin (2013) mukaan taloudellisia riskejä, sillä epävarmuus hankkeen toteutumisesta vähenee hankkeen edetessä. Hankkeen alussa epävarmuus on

suurimmillaan, joten lisäpanostukset siinä vaiheessa ovat alttiimpia riskille kuin myöhemmissä vaiheissa.

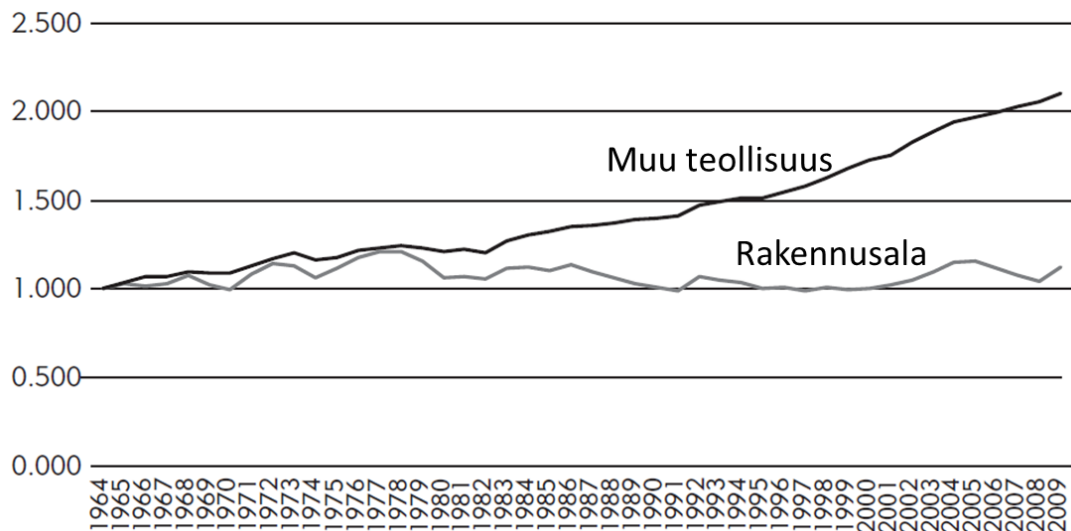


Kuva 3. Vaikutusmahdollisuus kustannuksiin hankkeen eri vaiheissa (Woddy 2013)

Mallintaminen nykyaikaisella suunnitteluohjelmistolla verrattuna 2D-suunnitteluun helpottaa suunnitteluprosessia niin, että suunnittelija voi esimerkiksi tehdä helposti muutoksia väylän suuntauksen parametreihin. Muutosten yhteydessä muutettuun parametriin liittyvät elementit päivittyvät automaattisesti ja vaikutukset on nähtävissä välittömästi. Suunnitteluun liittyvä kokonaisaika ei Hervas (2009) mukaan välttämättä pienene, mutta suunnittelussa on helpompi tehdä vaihtoehtoverailuja. Niiden myötä suunnittelun laadun voidaan olettaa parantuvan. Suunnittelumallia voi samalla myös hyödyntää suunnitteluratkaisun kehittämiseen eri näkökulmista. Älykkästä tietomallista saadaan myös tarvittavat 2D-kuvat helposti tulostettua eri tarkoituksia varten.

Mallintamisen avulla saadaan merkittäviä hyötyjä myös työmaalla väylän rakennusvaiheessa. Tietomalli voidaan siirtää paikannusta hyödyntävään työmaakoneeseen, jossa ohjaaja näkee omalta näytöltään työstettävät pinnat korkeuksineen suoraan 3D-kuvana. Järjestelmään on mahdollista myös liittää suoraan työkoneella tehtävä tarkistusmittaus, joka helpottaa toteutumamallin luomista ja toteumatiedon tallentamista. McGraw Hill Constructionin (2014) tutkimuksen mukaan urakoitsijoiden näkökulmasta suurimmat mallintamisen kautta saadut hyödyt ovat olleet suunnitelmissa olevien virheiden ja puutteiden väheneminen ja parantunut yhteistyö suunnittelu- ja tilaajatahojen kanssa. Vaihtoehtojen vertailu, muutosten tekeminen ja tarvittavien dokumenttien laatiminen nopeu-

tuvat. Työmaalla tuottavuuden kasvu saadaan erityisesti mittausten helpottumisesta, alentuneista koneiden käytön kustannuksista ja käyttöasteen paranemisesta. Koko projektien kestot lyhenevät ja samalla aikataulujen tekeminen helpottuu. Suunnitelmien laadun ohella myös rakentamisen laatu paranee. Rakennusalaalla globaalisti työn tuottavuus on polkenut paikallaan jo vuosikymmenet. Muilla teollisuusaloilla tuottavuus on samaan aikaan kehittynyt selvästi. Kuva 4 havainnollistaa tuottavuuden kehityksen eroja rakennusalan ja muiden teollisuuden alojen välillä.

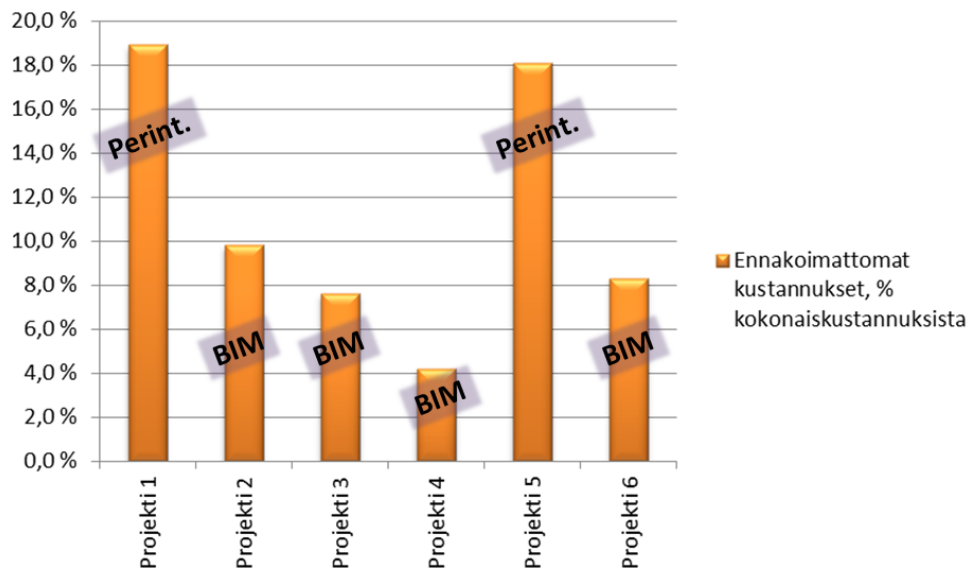


Kuva 4. Rakennusalan tuottavuuden kehitys (Perustuu lähteeseen Eastman et al. 2011)

Yritys ei pysty mittaamaan mallinnuksesta saatavia hyötyjä ellei se ole luonut tarkoitukseen sopivaa mittaristoa ja mittausten menetelmiä. Ilman mittaristoa mainittavat hyödyt jäävät saavuttamatta, investoinnit voivat kohdistua väärin ja tehokkuus kärsii. Sopivien mittarien avulla yritys voi myös vertailla saavutuksiaan toisiin organisaatioihin. Samalla luodaan pohjaa mahdollisille myöhemmän vaiheen tilaajan sertifikaateille, joiden avulla voidaan saavuttaa markkinaosuuksia. Mittarien luomisessa voidaan harkiten hyödyntää muiden teollisuusalojen mittaristoja, mutta samaan aikaan on varmistettava, että mitataan oikeita asioita. Rakentamisen prosessit poikkeavat usein muiden teollisuusalojen vastaavista. (Succar 2010)

Mallinnuksen kautta saatavia infrahankkeiden taloudellisia säästöjä on tutkittu esimerkiksi Norjassa. Eräässä tutkimuksessa tutkittiin kuutta suurta väylähanketta, joista neljä oli Norjan kansallisten mallinnusohjeiden mukaisesti tehty ja kaksi perinteisillä menetelmillä. Kustannuksia tutkittiin muutostöiden, virheiden ja puutteiden kautta. Urakkasummat esimerkeissä vaihtelivat 43,7 miljoonan ja 1,8 miljardin Norjan kruunun välillä. Tutkimuksessa todettiin, että perinteisin menetelmin toteutetussa hankkeessa koitui huomattavasti enemmän ylimääräisiä kustannuksia kuin mallintamalla toteutetuissa hankkeissa. Nämä johtuivat erilaisista virheistä, muutoksista ja muista ennakoimatto-

mista tapahtumista. Tulokset voidaan nähdä tiivistetysti kuvassa 5. Mallinnuksen kautta saavutettiin siis merkittäviä säästöjä. (Berg 2014)



Kuva 5. Mallinnuksen kautta saavutettuja hyötyjä Norjan väylähankkeissa

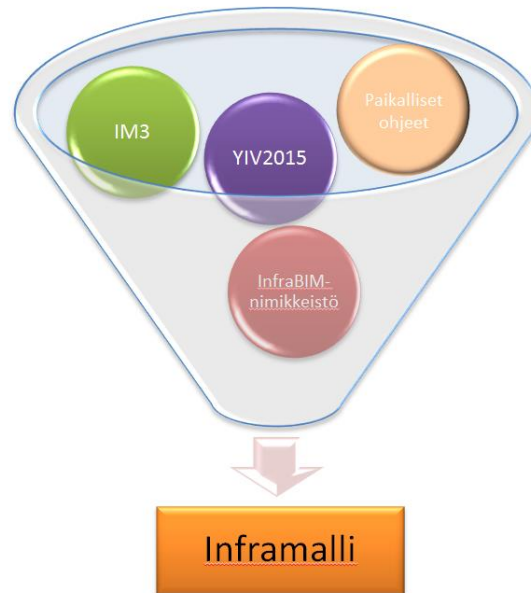
BIM:n käyttöönottoon sijoitetun pääoman tuotto prosenttia (*ROI-%*) on tutkittu talonrakennushankkeiden yhteydessä. Ongelmana mittauksessa ja vertailussa on se, että ei ole olemassa yhtenäistä kansainvälistä mittaustapaa ja siihen liittyviä metriikoita. McGraw Hill Constructionin (2014) kartoituksen mukaan kuitenkin kansainvälisesti noin 75 % rakennusyrittäjistä on saanut tuottoa BIM:iin sijoitetulle pääomalle raportoitujen tuotto prosenttien vaihdella 10 % - 25 % välillä.

### 2.2.3 Inframallintamisen määrittelyt

Lakien ja asetusten ohella infrarakentamista yleisesti ohjaa Suomessa alan toimijoiden yhdessä toteuttamat infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset eli InfraRYL. Se on Rakennustietosäätiön jatkuvasti ylläpitämä ohjeisto, joka sisältää infrarakentamisen lopputuotteiden toimivuus- ja tekniset vaatimukset. Siihen voidaan viitata urakkasopimuksessa niin, ettei jokaista vaatimusta tarvitse erikseen kuvata. Laatuvaatimusten ohella alalle on luotu myös infra-alan yhteinen nimikkeistö Infra2006, johon laatuvaatimukset tukeutuvat. Valtakunnallisten määräysten lisäksi infran omistajatahoilla on omia paikallisia ohjeita ja määräyksiä, joita suunnittelussa ja rakentamisessa tulee noudattaa.

Mallintamalla tehtävään infrasuunnitteluun on alalla luotu myös suunnittelun tukijalkana toimiva ohjekokonaisuus ja määrittelyt. Niihin kuuluvat YIV-ohjekokonaisuus, Inframodel -tiedonsiirtoformaatti ja Infra 2006-nimikkeistöön perustuva yhteinen Infra-BIM-nimikkeistö. Tämän yhtenäisen kokonaisuuden lisäksi Liikennevirasto on luonut

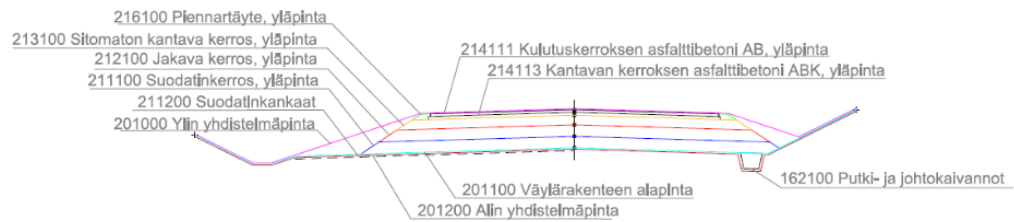
mallintamiseen liittyen kolme noudatettavaa ohjetta, jotka ovat Siltojen tietomalliohje 6/2014, Tien mallipohjaisen suunnittelun hankinta 20k/2014 (koekäytössä) ja Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje 21/2014. Näiden ohella valmistellaan luonnosvaiheessa olevaa ohjetta radan suunnittelun mallipohjaiseen hankintaan (Liikennevirasto 2014). Myös kaupungeilla on omia paikallisia ohjeitaan. Yhteensopivan inframallin vaatimukset on esitetty kuvassa 6.



*Kuva 6. Inframallin vaatimukset ja määrittelyt*

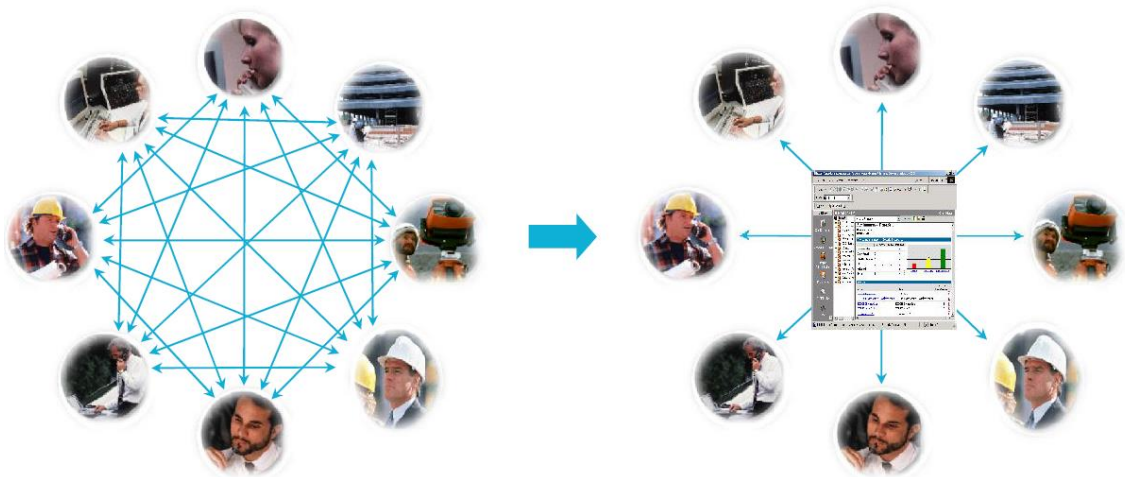
Inframallin käytettävyyden ja yhteensopivuuden kannalta on tärkeää, että siinä käytetään sovitun nimikkeistön kaikkia rakenteille ja osille. InfraBIM-nimikkeistöä on kehitetty InfraFINBIM-hankkeen ohella. Se perustuu Infra2006 rakennusosanimikkeistöön laajentaen sitä joiltain osin. InfraBIM-numerointi- ja nimikkeistö käytännön tulee palvella inframallia sen koko elinkaaren ajan lähtötietomallista aina ylläpitovaiheeseen saakka. Tällä hetkellä nimikkeistöstä on käytössä versio 1.5 ja kehitteillä on seuraava versio 1.6. Nimikkeistö kattaa tie- katu- rata- ja vesiliikenteen väylät sekä kuivatusrakenteiden ja vesihuollon rakennepinnat. Pääpaino tässä versiossa on vielä väylärakenteiden kuvaamisessa, mutta myös vesihuollon järjestelmien attribuutit on otettu mukaan. Seuraavissa nimikeversioissa on tarkoitus luoda yhtenäiset nimeämis- ja numerointikäytännöt ainakin työnaikaisten rakenteiden mallintamiseksi ja rakenteiden rajapintoihin. (InfraBIM 2014b).

Väylärakenne kuvataan suunnitelmamallissa nimetyistä taiteviivoista muodostettuina rakennepintoina. Sekä rakennepinnoilla että taiteviivoilla tulee olla numerokoodi ja nimi, jotka ovat InfraBIM-nimikkeistön mukaiset. Kuvan 7 esimerkissä on esitetty yksiajorataisen tien rakennepintoja numeroituina ja nimettyinä.



Kuva 7. Yksiajorataisen tien rakennepintoja (InfraBIM 2014b)

Yhteensopivuuden kannalta on nimikkeistön lisäksi välttämätöntä, että alalla on yhteinen tiedonsiirtoformaatti, jotta tietomalleja voidaan siirtää eri tahojen ja järjestelmien välillä. Alalla on käytössä useiden eri ohjelmistotoimittajien suunnitteluohjelmistoja. Niiden lisäksi urakoitsijoilla on eri sovelluksia, joita tarvitaan mittaus- ja koneohjaus-toiminnoissa. Ohjelmistojen pitää pystyä tuottamaan IM-formaatissa olevaa aineistoa, jota pystytään lukemaan myös toisten valmistajien ohjelmilla. Kansainväliset ohjelmistotoimittajat ovat mukana tiedonsiirtoformaattien kehitystyössä ja muokkaavat ohjelmistojaan yhteensopiviksi sovitun standardin kanssa. On kuitenkin huomattava, että tiedonhallinnallisesti tavoite ei ole toimintaympäristö, jossa tietoa siirretään eri tahojen välillä hajautetusti järjestelmästä toiseen. Tavoite on keskitetty tieto, johon eri tahoilla on pääsy. Yhteensopivassa muodossa oleva tieto noudetaan ja sitä käsitellään suoraan tietokannassa. Tätä eroa havainnollistaa kuva 8.



Kuva 8. Tavoitteena on parempi tiedonhallinta (Halttula 2015)

Inframodel on kansainvälisestä LandXML-formaatista laajennettu kansallinen muunnos. LandXML:ään verrattuna Inframodeliin on lisätty mm. nimikkeisiin liittyvää tietoa ja vesihuoltoverkostojen kaivoihin liittyviä ominaisuustietoja. Inframodel välittää varsinaisen tiedon lisäksi myös metatietoa eli tietoa tiedosta. Inframodel-tiedosto on XML-

muotoinen (*Extensible markup language*). Se pystytään avaamaan myös tekstieditorilla tai internet-selaimella. Inframodel-formaatin käyttöönotto-ohjeet ja tarkat määrittelyt on julkaistu verkossa. Esimerkki Inframodel-muodossa olevista sadevesikaivon määrittelyistä on esitetty kuvassa 9 ja Inframodel3-formaatin tietokokonaisuudet taulukossa 1.

```
<Struct name="Sadevesikaivo_15" desc="Sadevesikaivo"
  elevRim="17.347000000" elevSump="15.515000000"
  state="proposed">
  <Center>10629.293347689 71564.114450250</Center>
  <CircStruct diameter="0.800000000" desc="Sadevesikaivo"
    material="Betonii"
    thickness="NaN"/>
  <Invert desc="Sadevesiviemäri" elev="15.515132311"
    flowDir="out" refPipe="Sadevesiviemäri_130"/>
  <Invert desc="Sadevesiviemäri" elev="15.515132311"
    flowDir="out" refPipe="Sadevesiviemäri_129"/>
  <Feature code="IM_struct" source="inframodel">
    <Property label="structLabel" value="15"/>
    <Property label="heightDeposit" value="0.500000000"/>
    <Property label="volumeDeposit" value=""/>
    <Property label="rimMaterial" value="valurauta"/>
  </Feature>
  <Feature code="IM_coding" source="inframodel">
    <Property label="infraCoding" value="312300"/>
    <Property label="infraCodingDesc" value="Hulevesiviemärien tarkastuskaivo ja putki"/>
    <Property label="proprietaryInfraCoding" value="50000000"/>
    <Property label="proprietaryInfraCodingDesc"
      value="Sadevesikaivo"/>
  </Feature>
</Struct>
```

Kuva 9. Esimerkki Inframodel-formaatista

Taulukko 1. Inframodel3-formaatin tietokokonaisuudet (Perustuu lähteeseen InfraBIM 2013)

Kokonaisuus	Sisältö
Suunnitelman yleistiedot	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Projekti</li> <li>✓ Suunnitelma</li> <li>✓ Ohjelmisto</li> <li>✓ Yksiköt</li> <li>✓ Koordinaattijärjestelmät</li> </ul>
Perusaineisto	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Maastomallin ja maaperämallin pinnat</li> </ul>
Liikenneväylät	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Geometrialinjat</li> <li>✓ Rakenne taiteviivoina pinnoittain ryhmiteltyinä sekä kolmiopintoina</li> <li>✓ Mitoitusparametritietoa informaationa</li> </ul>
Vesihuoltoverkostot	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Kaivot (laitteet)</li> <li>✓ Putket</li> <li>✓ Ominaisuudet</li> <li>✓ Rummut</li> </ul>
Aluesuunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pintamaiset rakenteet</li> <li>✓ Maisemoinnit, läjitykset</li> </ul>
Pohjanvahvistus	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pintamaiset rakenteet</li> <li>✓ Vastapenger, ylipenger, massanvaihto</li> </ul>
Rata	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Kilometripaalutus</li> <li>✓ Kallistus</li> <li>✓ Vaihteet</li> </ul>
Varusteet	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Kaiteet, aidat, jalustat (valaisinylväät, liikennemerkit)</li> </ul>
InfraBIM-nimikkeistö	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pinnat, viivat, muut kohteet</li> </ul>
<b>Inframodel3 ei sisällä:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Paalut, paalulaatat, pilaristabilointi</li> <li>✓ Varusteiden ominaisuustiedot (pl. vesihuolto ja kuivatus)</li> <li>✓ Liikennemerkit, viitat, suunnistustaulut, tiemerkinnät</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tarkkuus, toleranssitiedot</li> <li>✓ Määrälasketatiedot</li> <li>✓ Materiaalitiedot ja maalajikerrosten ominaisuustiedot</li> <li>✓ Versiointi ja revisiointi tiedoston sisällä</li> </ul>

Uusi Inframodel 3.1-versio sisältää laajennuksia mm. varusteisiin, maakaapelointiin, verkostoihin, stabilointeihin ja pintarakenteisiin liittyen (Salmi & Salminen 2015). Lisäksi on huomattava, että esimerkiksi siltarakenteiden tiedonsiirrossa käytetään IFC-formaattia ja pohjatutkimusten tiedonsiirrossa Suomen geoteknillisen yhdistyksen Infra-pohjatutkimusformaattia (InfraBIM 2013).

YIV eli yleiset inframallivaatimukset julkaistiin, jotta kaikille infrahankkeissa mukana oleville tahoille saadaan yhteinen näkemys siitä, mitä ja miten hankkeiden eri vaiheissa tulisi mallintaa. Vaatimuksia on tarkoitus käyttää mallintamisen ohjeina ja infrahankintojen yleisinä teknisinä viiteasiakirjoina. Ne sisältävät 12 osaa, joista ensimmäiset seitsemän julkaistiin toukokuussa 2015. Osat 8-12 ovat lausuntokierroksella ja julkaistaan myöhemmin. Luonnokset niihin ovat kuitenkin julkisesti jo saatavissa verkosta. Taulukossa 2 on esitetty vaatimusten sisältö. Dokumentteja ovat kirjoittaneet ja niitä ovat kommentoineet pääasiassa InfraBIM-työpaketissa mukana olleet tahot. (InfraBIM 2015) Inframallivaatimusten kehitystyössä on mukana myös joukko suuria kaupunkia, kuten Tampere, Oulu, Helsinki ja Espoo. Ne soveltavat yleisiä inframallivaatimuksia omiin mallintamisen pilottihankkeisiinsa, mutta luovat niiden ohen myös omia paikallisiin olosuhteisiin soveltuvia prosesseja ja ohjeita (Salmi & Salminen 2015).

*Taulukko 2. Yleisten inframallivaatimusten sisältö (Perustuu lähteeseen Infrabim 2015)*

YIV2015 ohjeluetelo:	
1.	Tietomallipohjainen hanke
2.	Yleiset mallinnusvaatimukset
3.	Lähtötiedot
4.	Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa
5.	Rakennemallit
	5.1 Maa- pohja- ja kalliorakenteet, päällyys- ja pintarakenteet
	5.2 Maarakennustöiden toteutusmallin (koneohjausmallin laadintaohje)
	5.3 Maarakennustöiden toteumamallin laadintaohje
6.	Rakennemallit
	6.1 Järjestelmät
7.	Rakennemallit
	7.1 Rakennustekniset rakennusosat
8.	Inframallin laadunvarmistus
9.	Määrälaskenta, kustannusarviot
10.	Havainnollistaminen
11.	Infran hallinta
12.	Inframallin hyödyntäminen eri suunnitteluvaiheissa ja infran rakentamisessa

Vaatimusten ensimmäisessä osassa käydään läpi infrahankkeiden suunnitteluprosesseja hankkeiden eri vaiheissa, rooleja ja tehtäviä sekä tietomallipohjaisen suunnittelun erityispiirteitä ja tavoitteita. Tässä osassa luodaan kokonaiskuva mallintamalla tehtävästä suunnittelusta eikä mennä yksityiskohtaisiin vaatimuksiin. Myös toisessa osiossa annetaan mallinnukselle yleisen tason vaatimuksia koskien esimerkiksi käytettäviä ohjelmistoja, formaatteja, mittayksiköitä, koordinaatioita ja standardeja. Tärkeinä kohtina tässä osiossa ovat vaatimukset mallintamisen toteuttamisen suunnittelusta,

tietomalliselostuksen määrittely ja vaatimukset nimeämisille. Nämä kohdat mahdollistavat koko prosessin etenemisen hallitusti ja varmistavat tiedon hyödyntämisen mahdollisuuden myöhemmissä vaiheissa. Kolmannessa osiossa käydään läpi vaatimukset infrahankkeen lähtötietomallille. Lähtötietomalli tulee koota mahdollisimman varhaisessa vaiheessa ennen suunnitteluprosessin alkua. Lähtötietoja saadaan useista eri lähteistä ja ne voivat olla monessa eri formaatissa. Tallennusta varten vaatimuksissa määritellään tarkka kansiorakenne. Kansiodien ja tiedostojen nimeämisille on tarkat määrittelyt. Aineiston homogeenoinnista ja muutosten dokumentoinnista annetaan myös ohjeet. Lopuksi määritellään aineiston laadunvarmistukseen liittyvät toimenpidevaatimukset. Kolmannen osion liitteenä ovat myös mallipohjat lähtöaineistoluettelolle ja tietomalliselostukselle. (InfraBIM 2015)

Vaatimusten osassa neljä käydään läpi mallinnuksen vaatimukset ja tarkkuustaso infrahankkeen eri suunnitteluvaiheissa ennen rakennussuunnitelmavaihetta. Rakenteet käydään läpi kohta kohdalta määrittäen kussakin hankevaiheessa vaadittava tarkkuustaso. Suunnitelma sisältää useita eri osamalleja, joista väylämalli on keskeinen. Muut tekniikkalajimallit nivoutuvat väylämallin ympärille, joten väylämallin tulee olla teknisesti oikein tehty. Kuva 10 havainnollistaa väylämallin ja muiden osamallien välistä suhdetta. Kuvassa väylämallien kehällä olevien osamallien keskinäinen tärkeys voi tilannekohtaisesti vaihdella, vaikka ympyrät ovat keskenään samankokoisia. Inframalli koostuu eri suunnittelualojen osamalleista, jotka voivat koostua useista eri tiedostoista. Väylämallin tarkkuustasoa eri hankevaiheissa käsitellään enemmän kappaleessa 2.2.4.



Kuva 10. Väylämalli ja muut osamallit (Perustuu lähteeseen InfraBIM 2015)

Osissa viidestä seitsemään annetaan yksityiskohtaiset vaatimukset rakennemallien laatimiselle rakennussuunnitelmavaihetta, toteutusmallia ja toteumamallia varten. Osiot sisältävät väylien lisäksi myös järjestelmät ja rakennustekniset rakennusosat. Vaatimusten osiot kahdeksasta yhteentoista ovat julkaisematta. Ne koskevat inframallien laadunvarmistusta, määrälaskentaa ja kustannusarvioita, havainnollistamista, infran hallintaa ja kunnossapitoa ja inframallin hyödyntämistä eri suunnitteluvaiheissa ja rakentamisessa.

Inframallin sisältämiä rakennusosia voidaan esittää usealla eri tavalla. Käytettävä esitystapa riippuu rakennusosan tyypistä ja kulloisenkin suunnitteluvaiheen osalle aiheuttamista vaatimuksista. Eri esitysmuotoja voivat olla (InfraBIM 2015):

- Piste (koordinaatit)
- 2-ulotteinen tai 3-ulotteinen taiteviiva
- Geometria (linjaus ja tasaus)
- 2- tai 3-ulotteinen aluerajaus
- 3-ulotteinen pinta
- 3-ulotteinen kappale (tarvittaessa usean pinnan yhdistelmä)
- Verkostomalli (vesihuollon putkien ja kaivojen verkosto)

Väylän geometriasta on huomattava, että kaikki väylän suuntauksen parametrit eivät tallennu Inframodel-muodossa olevaan tiedostoon. Suuntaus on väylän pituussuuntaista suunnittelua. Geometrian suunnittelussa on mukana useita eri huomioon otettavia parametrejä, kuten pituuskaltevuudet ja näkemät. Inframodel tallentaa ns. geometriana vain viivoja ja niiden sijaintiin, suuntiin ja kaarevuuksiin liittyviä parametrejä. Vaaka- ja pystygeometria muodostavat väylälle mittalinjan.

Väylärakenteen pinnat muodostuvat pisteistä ja viivaketjuista. Väylärakenteen kaikki viivaketjut nimetään ja luokitellaan ensin. Sen jälkeen määritellään pinta kerrallaan, mihin kyseinen viivaketju sisältyy. Viivaketjuista ja pisteistä voidaan muodostaa myös niitä yhdistäviä kolmiopintoja. Kolmioinnin perusmallit voidaan Junnosen (2009) mukaan jakaa kahteen tyyppiin eli varsinaisiin kolmiomalleihin ja rasterimalleihin, jotka perustuvat edellä mainittuihin. Kolmiomalli eli vektorimalli on pintamalli, joka muodostuu epäsäännöllisistä kolmionmuotoisista tasopinnoista. Se voidaan esittää vektorimuodossa. Malli koostuu yksinkertaisimmillaan kolmesta nurkkapistestä ja niitä yhdistävistä sivuista. Mallissa voi olla myös taiteviivoja. Ne muodostavat aina kolmion sivun ja rajoittavat ja ohjaavat näin kolmiointia, sillä niiden poikki ei voi muodostaa uutta sivua. Mallilla voi vapaasti kuvata pinnan muotoja. Korkeusaseman yksikäsitteisyyden osalta on vaatimus, ettei täsmälleen samassa kohdassa voi olla kahta pistettä tai taiteviivaa, joiden korkeudet ovat erilaiset. Toinen perusmalli on rasterimalli, joka on kolmiomallin erikoistapaus. Siinä pisteet sijoittuvat tasavälisen ruudukon mukaisesti ja jokainen ruutu jakautuu kahteen kolmioon. Tämä malli soveltuu kuvaamaan laajoja tasaisia aineistoja. Jos tällaista aineistoa tarkennetaan halutuilla alueilla yksityiskohtaisemmaksi, kutsutaan mallia hybridimalliksi. (Junnonen 2009)

Yleisimpiä menetelmiä kolmiointiin ovat Junnoson (2009) mukaan Delaunayn ja Steinerin kolmiointimenetelmät. Delaunayn menetelmässä algoritmi vaatii kolmioiden olevan sellaisia, ettei kärkipisteiden kautta piirrettyjen ympyröiden sisäpuolella ole muita saman mallin kolmioiden kärkipisteitä. Menetelmä minimoi pitkien ja kapeiden kolmioiden määrän. Näin muodostettuna kolmiointi saattaa ulottua alkuperäisen pisteaineiston ulkopuolelle, jolloin tarvitaan lisättyjä taiteviivoja rajoittamaan kolmiointia. Kolmioitavan aineiston sisältäessä rajoittavina tekijöinä pisteiden ohella taiteviivoja Delauneyn kolmiointikriteeri ei Hervan (2009) mukaan yleensä täysin täyty. Yleensä Delaunayn menetelmä on kuitenkin riittävä, mutta joskus tarvitaan tarkempaa menetelmää esimerkiksi yksityiskohtien esittämiseen. Tällöin voidaan käyttää Steinerin menetelmää. Siinä aineistoon lisätään laskennallisesti uusia pisteitä, joilla saadaan ohjattua kolmiointia. (Junnonen 2009)

## 2.2.4 Mallinnus eri hankevaiheissa

Eri hankevaiheiden tuotoksena syntyvien suunnitelmamallien käyttötarkoitukset ovat erilaiset. Myös lähtötietomallin tarkkuustaso paranee hankkeen edetessä vaiheesta toiseen. Nämä asiat huomioiden on perusteltua, etteivät mallinnuksen tarkkuustason vaatimukset ole samanlaiset eri hankevaiheissa. Vasta rakentamiseen tähtäävässä suunnitteluvaiheessa on järkevää suunnitella kaikki yksityiskohdat. Toisaalta, kuten kappaleessa 2.2.2 todettiin, hankkeen aikaisessa suunnitteluvaiheessa on suurin mahdollisuus vaikuttaa tuleviin kustannuksiin. On huomattava, ettei IM-formaatin määrittelyyn ole tällä hetkellä sisällytetty suunnitelman hankevaihetta eli inframallitiedosto ei sisällä tietoa siitä, minkä hankevaiheen suunnitelma se on.

Esisuunnitteluvaiheessa mallinnuksella ei ole yleisten inframallivaatimusten mukaan nykyään suurta roolia. Suunnittelun tarkkuustaso on likimääräinen ja väylien linjausvaihtoehtoja voi olla useita. Hankkeet ovat hyvin heterogeenisiä, joten mallinnukselle on hankala määritellä yleispäteviä ohjeita. Mallinnuksen taso sovitaan hankekohtaisesti. Esisuunnitteluvaiheessa tehtävien ympäristöön liittyvien selvitysten tulokset tulee sisällyttää lähtötietomalliin, jotta ne ovat hyödynnettävissä myöhemmissä suunnitteluvaiheissa. (InfraBIM 2015)

Yleissuunnitteluvaiheessa väylällä voi olla useita linjausvaihtoehtoja. Inframalli on vielä yksinkertaistettu. Yleissuunnitelmaa mallintaessa valmiiseen suunnitelmaan sisältyvät vertailtavat väylävaihtoehdot tulee mallintaa. Aineistojen tulee sisältää vaihtoehtojen kustannusten kannalta merkittävät asiat. Tilarajaus esitetään valitusta suunnitteluratkaisusta. Väyläympäristö esitetään inframallissa pääasiassa 2D-alueajauksina, ellei siitä päätetä tehdä laadukasta esittelymallia. Väylämallin tulee sisältää väylien vaaka- ja pystygeometriat sekä pinnoista ylin ja alin yhdistelmäpinta, päällyste, radan kiskot ja meluvallien ja merkittävien maastonmuotojen pinnat. Myös ajoradan reunalinjat ja tarvittavilta osin reunakivilinjat mallinnetaan. Rakennekerrosten pintoja, siirtymärakenteita ja putkikaivantoja ei tarvitse tässä hankevaiheessa mallintaa. Vesihuollosta esitetään

yleensä vain kuivatuksen periaatteet, mikä käytännössä tarkoittaa kaksiulotteista esittämistä. Muiden rakenteiden osalta sovitaan yleensä hankekohtaisesti mitä mallinnetaan. Kustannustekijät ovat usein ohjaavassa asemassa. Myös mahdolliset ristiriidat muiden rakenteiden kanssa voivat asettaa vaatimuksia mallinnuksen tarkkuudelle. Yleissuunnitelmamallissa kaikkien taiteviivojen ei tarvitse olla jatkuvia. (InfraBIM 2015)

Väyläsuunnitteluvaiheessa suunnittelu on toteutukseen tähtäävää ja ratkaisut ovat yksityiskohtaisia ja tarkkoja. Väylän geometria joudutaan sovittamaan ympäristöön tarkasti, sillä väyläsuunnitteluvaiheessa tehdään massatalouteen ja ympäristöön liittyviä tarkasteluja. Tilantarpeet tulee saada määritettyä yksityiskohtaisesti, joten mallinnuksen tulee olla kolmiulotteista. Asemakaava-alueella tapahtuvassa katusuunnittelussa tulee huomioida myös maanalainen olemassa oleva infra. Maastomallin tulee olla väyläsuunnitteluvaiheessa tarkka ja yksiselitteinen. Maaperämallin tarkkuus on tapauskohtainen. Lähtötietomallin tarkkuutta parannetaan lisätutkimuksin. Kuivatuksen osalta esitetään periaatteet. Laskuojien mallinnuksen tarkkuus tulee riittää kuivatuksen toimivuuden varmistamiseen. Malliaineiston tulee sisältää rummut, putket ja kaivot, jotta määrälaskenta voidaan suorittaa inframallin pohjalta. Korkeusasemien ei tarvitse vielä olla lopulliset. Eri rakenteiden mallinnuksen vaadittavat tarkkuustasot on esitetty YIV:n osassa 4. (InfraBIM 2015)

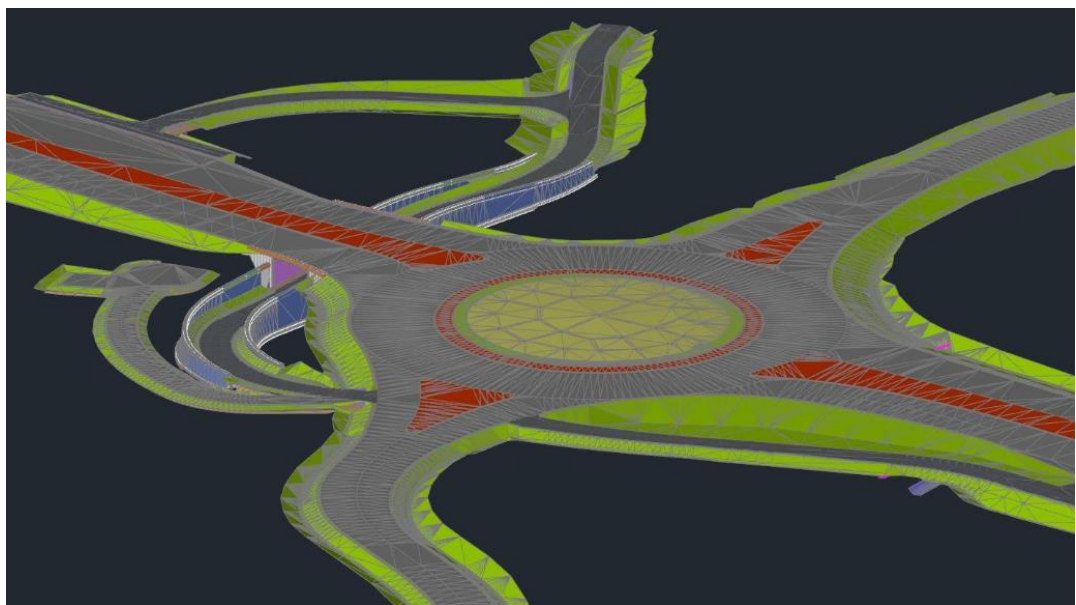
Väylämallin viivoihin ja pintoihin tulee väyläsuunnitteluvaiheessa lisävaatimuksia yleissuunnitelmavaiheen mallinnukseen nähden. Ylimmän yhdistelmäpinnan tulee sisältää taiteviivat kaikissa kohdissa, joissa pinnan kaltevuudessa tapahtuu muutoksia. Merkittävimpien teiden ja katujen sekä kaikkien ratojen osalta mallinnetaan myös rakennekerrosten pinnat. Myös pintamaan poistopinta tulee mallintaa. Näkemäleikkaukset ja -raivaukset voidaan esittää 2- tai 3-ulotteisina aluerajauksina. Pintamallina ilmaistaan lisäksi ratasuunnitelmassa radan aukean tilan ulottuma tai radan suojaulottuma. Taiteviivoina (joko 2- tai 3-ulotteisina) esitetään tiekaiteet, radan kiskot ja radan vaihteet, joiden sijainti ja tyyppi on ilmevä. Väyläsuunnittelun tarkkuuden tulee olla niin hyvä, että suunnitelmassa esitetyistä ratkaisuista voidaan olla varmoja. Poikkileikkauksen osalta ei kuitenkaan tarvitse mallintaa kaikkia variaatioita ja muutoksia, elleivät ne vaikuta merkittävästi tilanvaraukseen, kuivatuksen, pohjanvahvistusratkaisuihin tai kustannuksiin. Väyläsuunnitteluvaiheessa ei tarvitse mallintaa siirtymärakenteita. On kuitenkin huomattava, että rakennetussa ympäristössä tarkastelut tulee mahdollisesti olla hyvinkin tarkkoja. Viivojen ja pintojen jatkuvuudesta on vaatimuksissa määritetty niin, että liityntä- ja risteyskohdissa sallitaan alle yhden metrin epäjatkuvuuskohdat ylittä yhdistelmäpintaa lukuun ottamatta. Tekniikka-alojen välisten rajapintojen vielä ei tarvitse olla rakentamistarkkuudessa. (InfraBIM 2015)

Rakennussuunnitteluvaiheessa malli tehdään yksityiskohtia myöten niin tarkasti, että kohde voidaan toteuttaa mallin avulla. Koneohjauksen lisäksi mallilla on muitakin käyttötarkoituksia. Se tukee myös havainnollistamista, yhteensovittamista, määrälaskentaa, hankintoja, aikataulutusta, mittauksia ja laadunvarmistusta. Tässä vaiheessa kaikki

rakennusosat mallinnetaan, ellei hankekohtaisesti ole sovittu poikkeuksista. InfraRYL – *Infrarakentamisen yleisten laatuvaatimusten osa 2* määrittelee valmiin rakenteen sallitut poikkeamat. YIV:n osassa 5.1 määritellään tarkat mallinnusvaatimukset rakennetyypeittäin. Vaatimuksissa todetaan myös, ettei IM-formaatti tue vielä kaikkien ominaisuustietojen tiedonsiirtoa. Vaatimus onkin, että ominaisuustiedot lisätään niiltä osin kuin voimassa oleva InfraBIM-nimikkeistö ja IM-versio tukevat niitä. Loput ominaisuustiedot käsitellään tapauskohtaisesti. (InfraBIM 2015)

Myös rakennussuunnitelmavaiheen toteutus- ja toteutumamallien vaatimukset on määritetty YIV:ssa. Toteutusmallin vaatimuksissa määritellään työkonetoimintatavien rakennusosien mallinnusvaatimuksia. Aineisto voi olla käyttötarkoituksesta riippuen joko 3D-taiteviiva-aineistoa, kolmioverkkoaineistoa tai molempia. Jokainen väylärakenteen yksittäinen rakennepinta on oma erillinen toteutusmallinsa. Yhdessä nämä mallit muodostavat koko rakennettavan kohteen toteutusmallin. (InfraBIM 2015)

Alusrakenteen vaihtumiskohtaan tehtävät siirtymäkiilat tulee mallintaa, jos niiden tarkka sijainti on tiedossa suunnitteluvaiheessa. Muissa tapauksissa niiden mallinnus voidaan tehdä työmaalla. Jokaisesta pinnasta mallinnetaan vain ne viivat, joiden kohdalla on rakenteen pinnassa taite tai viiva on muuten merkityksellinen. Mittalinja ja raiteen keskilinjaa taiteviiva mallinnetaan aina. Kaikkien viivojen ja pintojen tulee olla toteutusmallissa mahdollisimman jatkuvia. Tämä koskee myös liittymäalueita, rampeja ja rakennetyypin vaihtumiskohtia. Väylien liittymiskohdissa sallitaan taiteviivoissa enimmillään yhden metrin levyinen rako. Tässäkin tapauksessa kolmioituessa muodostuvan pinnan tulee muodostua yhtenäiseksi. Kiertoliittymän ja siihen liittyvien väylien jatkuva toteutusmalli osana yhdistelmämallia on havainnollistettu kuvassa 11. (InfraBIM 2015)



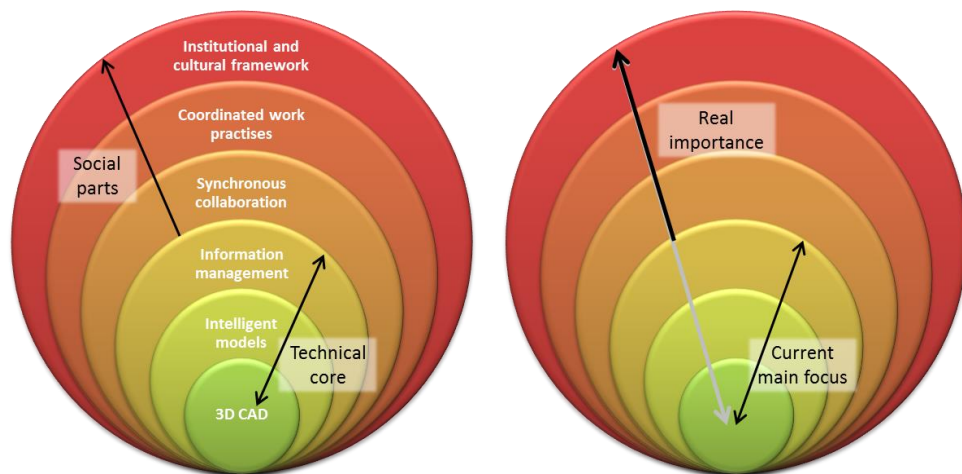
Kuva 11. Esimerkki jatkuvasta toteutusmallista (InfraBIM 2015)

Toteutusmallissa vaaka- ja pystygeometrioille on määritetty tarkkuusvaatimus laskennalliseen geometrialinjaan nähden. Tarkkuusvaatimus on kolme millimetriä, jolloin se on vielä riittävä, mutta samalla data ei muodostu myöskään liian raskaaksi koneohjausjärjestelmille. Taiteviivojen minimipituudeksi määritellään poikkeuskohteita lukuun ottamatta 0,5 metriä. Enimmäispituudet riippuvat kyseisen kohdan kaarresäteistä, pyöristyssäteistä ja klotoidin parametrilla. Pisimmillään taiteviivan pituudeksi on sallittu 10 metriä. (InfraBIM 2015)

Infrahankkeisiin liittyvien järjestelmien mallinnuksen vaatimukset on esitetty YIV:n osassa 6. Aiemmissa hankevaiheissa niitä voidaan käyttää tapauskohtaisesti soveltaen, mutta rakennussuunnitelmavaiheessa mallinnus tulee tehdä vaatimusten mukaisesti. Järjestelmien sijaintitietoja mallinnetaan yleisesti taiteviiva- ja pistetietoina (x, y, z). Jatkossa ominaisuustietojen hyödyntäminen lisääntyy IM-formaatin kehittyessä. Vesi- ja huollon järjestelmiä on mahdollisuus mallintaa jo nykyisin monipuolisesti IM3-formaatissa. (InfraBIM 2015)

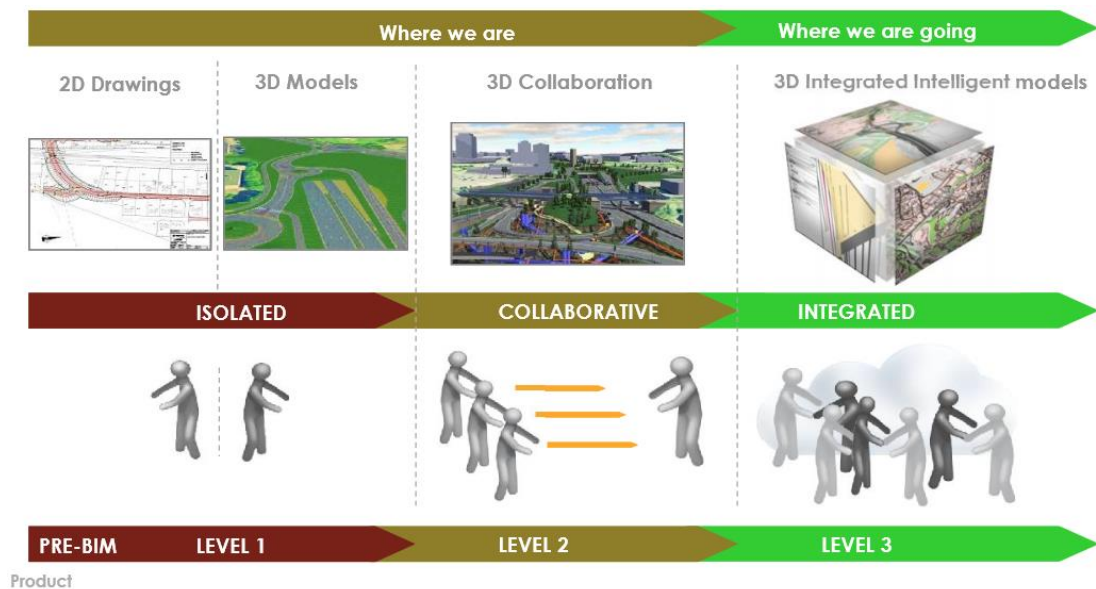
## 2.2.5 Tulevaisuus

Tällä hetkellä tietomallintamisen fokus on vielä teknisissä asioissa, mutta tulevaisuudessa uudet toimintatavat sisältävät kehittyneemmän kommunikoinnin sekä ihmisten ja eri yhteisöjen välisen kanssakäymisen. Tällöin vaaditaan myös uudenlaisia sopimusmalleja, jossa riskejä ja voittoja jaetaan eri tavalla kuin nykyisin (Kiviniemi 2015). WSP (2013) ja Kiviniemi (2015) ovat kuvanneet BIM:n laajenevana sosioteknisenä järjestelmänä, jota kuvaillaan kuvassa 12. Siinä sisältäpäin laajenevat renkaat mahdollistavat ja aiheuttavat muutoksen ympäröivässä laajemmassa renkaassa. Muutoksen tärkeys kasvaa samalla renkaiden laajetessa. Tällä hetkellä on keskitytty vielä pelkästään teknisiin asioihin, mutta tulevaisuudessa painotus on vielä tärkeämissä sosiaalisissa ja kulttuurisissa asioissa.



Kuva 12. BIM sosioteknisenä järjestelmänä (Perustuu lähteisiin Kiviniemi 2015; WSP 2013)

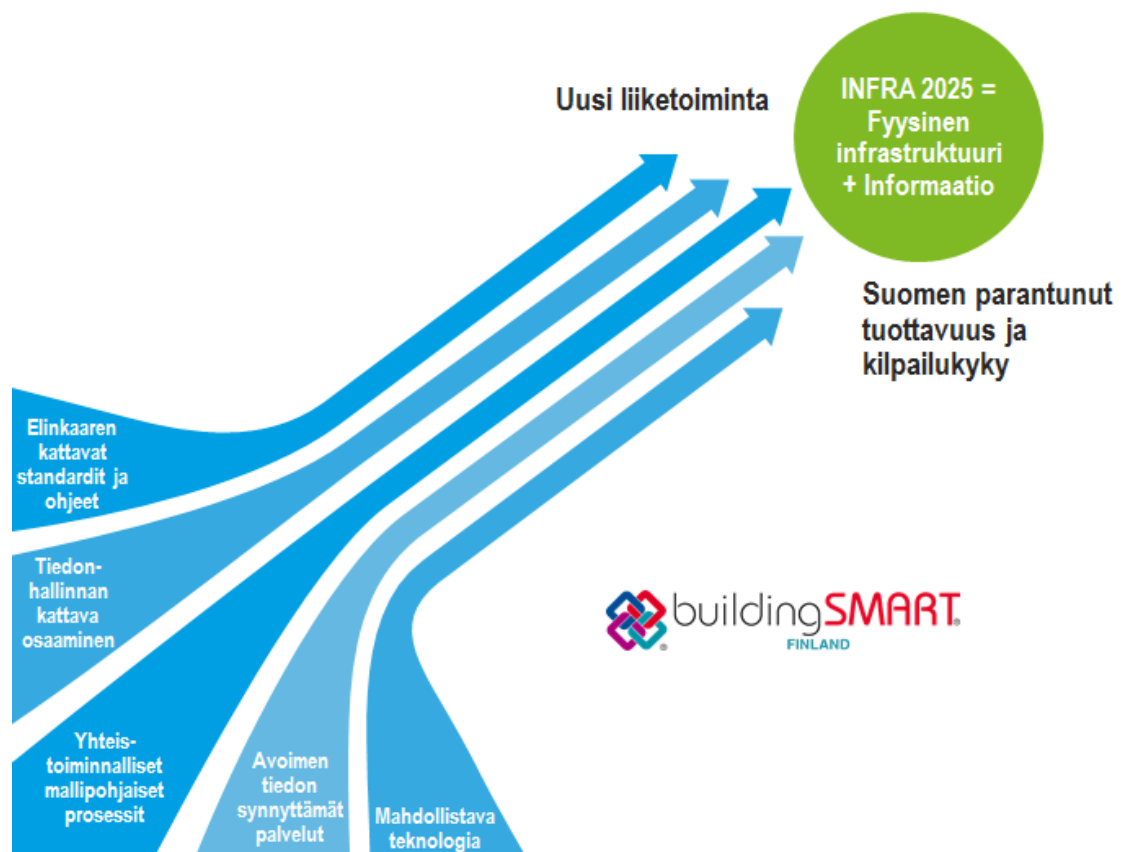
Prosessien muutosvaiheita on kuvannut myös Halttula (2015), jonka mukaan tällä hetkellä edetään kolmivaiheisessa muutosprosessissa vaiheissa yksi ja kaksi. Lähtötilanne kuvauksessa on 2D-piirustuksiin perustuva eriytetty työtapa ja kolmantena tulevaisuuden kehitysaskeleena älykkäät 3D-mallit ja integroidut yhteisöt. Kehitysprosessi on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Siirtyminen dokumenttipohjaisesta prosessista älykkäiden tietomallien toimintaympäristöön (Halttula 2015)

Kuten aiemmin todettiin, BIM ei ole ajatuksena uusi, mutta rakennusteollisuudessa muutokset tapahtuvat hitaasti ja muutosvastarinta on alalla yleistä (Kiviniemi 2015). Halttulan (2015) mukaan suurin este BIM:n suuremmalle hyödyntämiselle projekteissa on kuitenkin tarkoituksenmukaisten käytännön suositusten ja ohjeiden puute. Teoriata-son määritelmät ja vaatimukset ovat jo olemassa, mutta käytännön ratkaisut eivät ole riittävällä tasolla. Menestyksekkäs BIM:n hyödyntäminen vaatii sekä teknologian, ihmisten että toimintaprosessien olemista samalla tasolla. Halttulan (2015) mukaan Bernstein ja Pittman (2004) ovat tutkimuksessaan todenneet, että tuottavuuden kasvu ja kustannussäästöt eivät pelkästään ole riittävän suuria ajureita muutokselle. Niiden lisäksi vanhojen liiketoimintamallien muuttamiseen tarvitaan ulkoinen ajuri, kuten tilaajan vaatimukset tai muutoksia riskeihin tai palkkiojärjestelmiin. Tällainen ajuri voi olla esimerkiksi Iso-Britannian kansallinen vaatimus mallinnuksen käytöstä, jonka kautta se on asettanut vuoteen 2025 tähtääviä mittavia tavoitteita mm. päästöille, projektien nopeudelle ja kustannussäästöille (UK Government 2013). Suomessa Liikennevirasto on ti- lannut 2014 lähtien pääosin mallipohjaista palvelua.

BuildingSMART Finland on luonut vision alan kehitykselle Suomessa seuraavaksi kymmeneksi vuodeksi. Sen mukaan vuonna 2025 infra-alan projekteissa tulisi kattavasti olla käytössä avoimet ohjelmistoista riippumattomat inframallit. Infran suunnittelu- ja tuotantoprosessit tulisi olla digitalisoitu. Tämän myötä mahdollistuisi tuottavuuden ja kilpailukyvyyn kasvu infra-alan ohella koko Suomen taloudelle. Tavoitteena on olla aktiivinen myös kansainvälisesti ja osallistua alan standardien luomiseen. Inframodel on herättänyt kiinnostusta myös maailmalla, mutta kehitystä tapahtuu muidenkin tiedonsiirtoformaattien osalla. Seuraavien vuosien aikana selviää, mikä formaatti yleistyy maailmanlaajuisesti. Visio osatekijöineen on esitetty kuvassa 14 (RYM Oy 2015).



Kuva 14. INFRA 2025 visio ja sen osatekijät (Perustuu lähteeseen RYM Oy 2015)

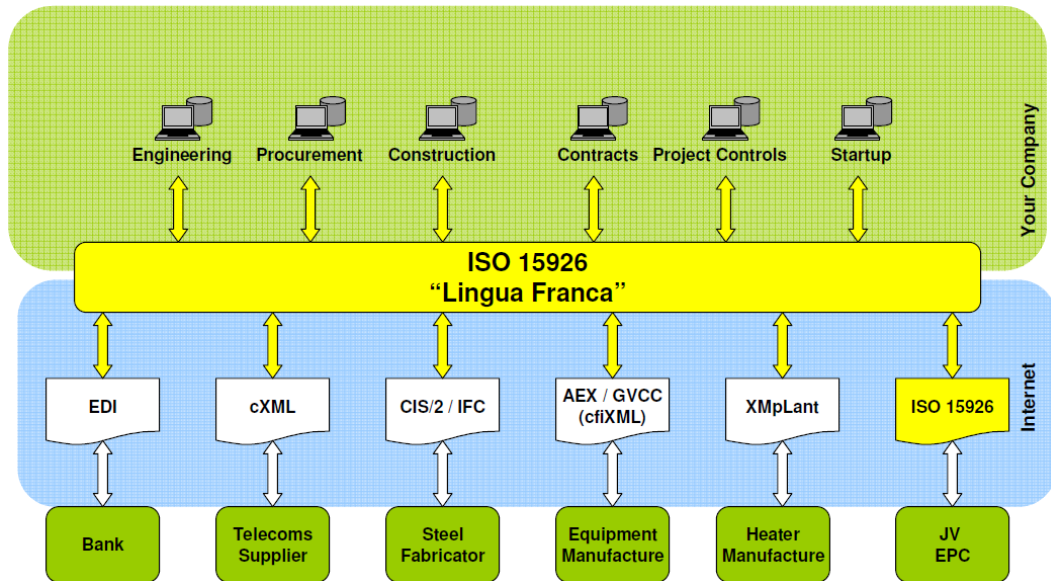
Uudet innovaatiot kuten 3D-tulostus, keinotodellisuus ja robotiikka voivat digitalisaation ohella tuoda rakentamisen alalle uusia ennennäkemättömiä sovellutuksia. Myös alan koulutuksessa nämä tulisi ottaa huomioon jo nyt, sillä yleensä koulutus keskittyy perinteisiin prosesseihin ja menetelmiin. Kiviniemi (2015) esittääkin kysymyksen, koulutammeko tällä hetkellä ihmisiä menneisyyttä vai tulevaisuutta varten.

## 2.3 Tietomallinnus muilla aloilla

Tarvetta yhtenäiselle tiedonsiirtoformaatile ja sujuvammalle tiedonsiirrolle teollisuudessa on tuonut esiin esimerkiksi Gallaher et al.:n (2004) Yhdysvalloissa tekemä tutkimus. Sen mukaan eri osapuolten tietojärjestelmien puutteellisesta yhteensopivuudesta rakennusalailla on aiheutunut vuosittain ainakin 15,8 miljardin dollarin ylimääräiset kustannukset. Tutkimus koski pelkästään Yhdysvaltojen suuria julkisia ja teollisuuden rakennushankkeita, joten kaikki hankkeet huomioon ottaen luku on todennäköisesti vielä suurempi. Myös muut teollisuusalat ovat sittemmin heränneet kehittämään prosessejaan. (Gallaher et al. 2004)

Eri aloilla on kehitetty omia standardeja tuotetietojen siirtämiseksi. Aluksi tuote- ja tietomallinnusta kehitettiin vahvoissa organisaatioissa sisäisesti. Niissä oli käytössä kehittyneitä suunnitteluohjelmistoja. Sittemmin tuotetietoja alettiin siirtää myös eri sovellusten välillä, kuitenkin yksittäisen ohjelmistotoimittajan ekosysteemin sisällä. Eri aloilla alkoi kuitenkin esiintyä kasvavaa tarvetta tiedonsiirtoon myös avoimien rajapintojen kautta. Sitä myöten alettiin kehittää avoimia tiedonsiirtomäärittelyjä. Avoimella tiedonsiirrolla on Hyvärinen et al. (2006) mukaan lukuisia määritelmiä. Pohjimmiltaan tarkoitetaan sitä, että järjestelmä perustuu modulaarisuuteen ja rajapinnat ovat avoimeen standardiin perustuvia. Näiden tulee olla julkisesti saatavilla ja perustua kyseisen teollisuusalan yhteiseen konsensukseen. Standardit tulee olla ylläpidettyjä tunnustetun riippumattoman organisaation toimesta. Yleisesti teollisuudessa tuotetietojen siirtämiseen käytetty standardi ISO 10303 on kehitetty, jotta teollinen tuotetieto voidaan siirtää tietokone- ja ohjelmistoriippumattomasti. Se tunnetaan nimellä STEP (*Standard for the exchange of product model data*) ja sitä käytetään esim. autoteollisuudessa, laivanrakennuksessa ja elektroniikka-alalla. Muita tiedonsiirtostandardeja ovat esim. prosessi-, öljy- ja kaasuteollisuuden ISO 15926 ja teräsrakenteiden tuotetietojen siirtämiseen liittyvä CIS/2-standardi. (Hyvärinen et al. 2006)

Prosessiteollisuuteen (ml. öljy- ja kaasuteollisuus) on kehitetty avoin tiedonsiirtostandardi ISO 15926 kattamaan koko tuotantolaitoksen elinkaaren. Esim. Norjan öljyteollisuus on alkanut käyttämään standardia tiedonhallinnassaan. Standardi on hyvin laaja ja vielä osin kehitysvaiheessa. Kuvaus erään esimerkkilaitoksen toimintaympäristöstä ja sen eri tekijöitä yhteen nivovasta ISO 15926-standardista on esitetty kuvassa 15. Tiedonsiirrossa käytetään XML-kieltä, kuten monissa muissakin tiedonsiirtoformaateissa. Standardissa varaudutaan myös ns. semanttisen webin OWL-kielen (*Web Ontology Language*) käyttöön. Se tarjoaa tulevaisuudessa tehokkaat työkalut konekieliseen metatietojen hallintaan. Osana standardia mittava määrä parametritietoja on koottu globaaliin RDL (*Reference data library*) on-line-tietopankkiin, josta niitä voidaan konekielisesti hyödyntää eri yhteyksissä. Standardin mukaiset tietomallit ovat 4D-malleja eli niissä on mukana myös aikatekijä. Se mahdollistaa datan esittämisen jälkikäteen halutun voimassaolohetken mukaisesti. Standardin kehitystä koordinoi kansainvälinen PCA-organisaatio (*POSC Caesar Association*). (PCA; Hyvärinen et al. 2006; Paap 2010)



Kuva 15. ISO 15926 yhteisenä kielenä prosessiteollisuuden laitoksen elinkaareissa (Paap 2010)

ISO 15926 standardia käytettiin maailmanlaajuisesti yli 80 suuressa laitosprojektissa vuosina 1996–2010. Käyttö oli joko sovelluksesta suoraan toiseen sovellukseen tapahtuvaa tiedonsiirtoa tai datan varastointia ja rajapintojen implementointia. Tiedonsiirto käsitti kuvan 16 mukaisesti mm. prosessiteollisuudessa tärkeiden P&ID-kaavioiden (*Piping and Instrumentation Diagram*) siirtoa, niiden muuttamista 3D-esityksiksi ja 3D-esitysten siirtämistä sellaisenaan järjestelmästä toiseen. (Glendinning 2010)



Kuva 16. ISO 15926-standardin mukaisesti siirrettyjä kokonaisuuksia (Glendinning 2010)

Alun perin ISO 15926 on kehitetty prosessiteollisuuteen, mutta siitä on vuosien kehityksen myötä tullut entistä geneerisempi eikä se ole enää teollisuuskohtainen. Semanttisten web-teknologioiden liittäminen siihen on Kiritsis:n (2013) mukaan aiheuttanut jonkin verran erimielisyyksiä kehittämissyhteisön parissa, mutta hän näkee niissä mahdollisen ratkaisun yhtenäisen tiedonsiirron nykyisiin ongelmiin. Kiritsis (2013) on laajassa kirjallisuuskatsauksessaan esitellyt näitä teknologioita ja niiden käyttömahdollisuuksia insinöörialoilla. Tällä hetkellä niitä käytetään vielä pienen mittakaavan tutkimushankkeissa. (Kiritsis 2013; Teiggeler 2014)

## 2.4 Laatu tietomallinnuksessa

### 2.4.1 Laadun määritelmiä

Laadulla on monenlaisia määritelmiä kontekstista riippuen. Lähes jokaisella yksittäisellä ihmiselläkin on oma käsitteensä laadusta. Sana laatu (*engl. quality*) tulee Dalen et al. (2007) mukaan alkuperäisesti latinan kielen sanasta *qualis* ja merkitsee vapaasti käännettynä ”niin kuin asia todella on”. Kansainvälisen määritelmän mukaan laatu merkitsee olennaisten ominaisuuksien vaatimustenmukaisuutta. Nykyisessä teollisuuden toimintaympäristössä ei kuitenkaan ole yhtä ainoaa oikeaa määritelmää laadulle, vaan kontekstista riippumatta sitä yleensä käytetään erottamaan yhtä organisaatiota, tapahtumaa, tuotetta, prosessia, tulosta tai toimintaa toisesta vastaavasta. Termiä käytettäessä täytyy halutun vaikutuksen saamiseksi varmistua siitä, ettei kommunikoinnissa tapahdu väärintymmärryksiä. Tällöin termiä käyttävän henkilön tulee olla varma sen tarkoituksesta kyseisessä asiayhteydessä. Myös viestin vastaanottajalla tulee olla sama käsitys laadusta. Laajemmin tämä tarkoittaa sitä, että termiä käytävällä samoihin päämääriin tähtävällä organisaatiolla tai yhteisöllä tulee olla yhteisesti sovittu määritelmä laadulle. Luokisat erilaiset määritelmät laadulle voidaan yleensä tiivistää kahteen eri perustyyppiin. Laatu on näin ollen joko etukäteen määritettyjen vaatimusten täyttämistä tai asiakkaan tarpeiden tyydyttämistä. (Dale et al. 2007) Etukäteen määritettyjen vaatimusten täyttäminen edellyttää vaatimusten yksiselitteisyyttä. Asiakkaan tarpeiden tyydyttämisen yhteydessä tulee muistaa se, että hyvän laadun tason määrittää asiakas. (Berard 2012)

Laatua on tutkittu paljon viime vuosikymmeninä varsinkin Japanissa ja Yhdysvalloissa. Tunnettujen japanilaisten asiantuntijoiden kuten Imai, Ishikawa, Shingo ja Taguchi ohella varsinkin länsimaissa tunnetuimpia laatuasiantuntijoita ovat olleet Yhdysvaltojen Deming, Juran, Feigenbaum ja Crosby. Heidän ajatuksiaan laadusta esitellään tiivistysti kuvassa 17 (Dale et al. 2007; Heizer & Render 2006).

#### Philip B. Crosby (1926 – 2001)

- Korkea laatu vähentää aina kustannuksia ja kasvattaa voittoja.
- Huonon laadun kustannuksia aliarvioidaan. Laadun mittari on laadukustannukset.
- Ainoa kunnan laatutavoite on nolla virhettä (*zero defects*). ”Ei ole olemassa mitään syytä sallia virheitä tai vikoja missään tuotteessa tai palvelussa”.

#### W. Edwards Deming (1900 – 1993)

- Laatua parantamalla parannetaan tuottavuutta ja sen myötä myös kilpailukykyä.
- Avainasemassa laadun tilastolliset muuttujat. Jokainen työntekijä tulisi kouluttaa tilastollisten työkalujen käyttöön.
- Työntekijä ei voi jatkuvasti tuottaa laatua, joka ylittää tason, jota tuotantoprosessi keskimäärin pystyy tuottamaan.
- Johdon sitoutuminen laadukulttuurin istuttamiseen tärkeä.
- Kehitti jatkuvan parantamisen PDCA-menetelmän (*plan, do, check, act*).

#### Armand Feigenbaum (1922 – 2014)

- Laatu on jokaisen työntekijän asia.
- ”Tulipalojen sammutus” tulee korvata selkeällä, ymmärrettävällä, asiakaskeskeisellä laadun johtamismenetelmällä.
- Esitti ensimmäisenä termin ”Total quality control” ja sen määrittelyn.
- Kymmenen laatuun liittyvän kohdan menestysohjelma. Esim. ”Laatu on sitä mitä asiakas sanoo sen olevan”.

#### Joseph M. Juran (1904 – 2008)

- Laadukustannuksia tulee vähentää.
- Laatu jakautuu eri osatekijöihin (mm. *quality of design*).
- Kehitti laadutrilogian: Laadun suunnittelu – Laadun kontrollointi – Laadun parantaminen.
- Laadun ohjelmien kehittäjinä ja ohjaajina ammattilaiset, mutta vastuu kaikilla työntekijöillä. Johdon tuki tärkeä.

### Kuva 17. Laatugurujen laatumääritelmiä.

Suunnittelutiedon laatua voi tarkastella useista eri näkökulmista. Rakennusalan suunnittelutiedon laatu koostuu Berardin (2012) tutkimuksen mukaan kahdeksasta eri tekijästä, jotka on esitetty kuvassa 18.

#### Relevanssi ja asiaankuuluvuus

- Tiedon oikea laajuus, vaiheistus ja oikea-aikaisuus

#### Yhtenäisyys ja johdonmukaisuus

- Tiedon yhdenmukaisuus suhteessa geometrisiin, toiminnallisiin ja normatiivisiin vaatimuksiin

#### Oikeellisuus

- Puuttuvan, virheellisen tai vanhentuneen tiedon määrä

#### Tarkkuus

- Tiedon geometrinen tarkoituksenmukaisuus ja yksiselitteisyys

#### Saavutettavuus

- Tarvittavan tiedon turvalliseen käyttöön saamiseen tarvittava vaivannäkö

#### Jakelu

- Tiedon hallintaan, jakeluun ja reitittämiseen tarvittavan työmäärä

#### Hyödyntämisen joustavuus

- Tiedon hyödyntämiseen tai päivittämiseen sen käyttökohteissa tarvittava työmäärä

#### Tiedon määrä

- Dokumenttien ja tiedostojen lukumäärä tulee olla kohteen laajuuteen nähden tarkoituksenmukainen

### Kuva 18. Rakennusalan suunnittelutiedon laadun tekijät

## 2.4.2 Laadun kustannukset

Yrityksille aiheutuu huonosta laadusta kustannuksia. Heizer & Render (2006) ovat jakaneet kustannukset neljään eri kategoriaan:

- Virheiden estämiseen liittyvät kustannukset, jotka liittyvät virheiden tapahtumisen potentiaalın pienentämiseen. Tällaisia kustannuksia ovat mm. koulutus ja laadunparannusohjelmat.
- Arviointiin liittyvät kustannukset, joita ovat tuotteiden ja palvelujen laadun tarkastamiseen liittyvät kustannukset.
- Sisäiset virhekustannukset, joita aiheutuu tuotteiden ja palvelujen tuotannosta ennen kuin niitä ehditään toimittaa asiakkaalle.
- Ulkoiset virhekustannukset, joita ovat kaikki aiheutuvat kustannukset silloin, kun tuote tai palvelu ehditään toimittaa asiakkaalle.

Kolme ensimmäistä edellä mainituista pystytään määrittelemään kohtuullisen hyvin, mutta neljättä on hyvin vaikea arvioida ja muuttaa rahamääräiseksi. Hyvän laadun tekemisestä aiheutuvien kustannusten on arvioitu olevan vain murto-osa siitä saatuihin hyötyihin verrattuna. Laadukustannusten laskemiseen ja jaotteluun on kehitetty useita erilaisia tapoja, mutta 2000-luvulla on yleisesti hyväksytyt periaatteet, joiden mukaan laadukustannuksiin sisällytetään paljon aikaisempaa enemmän asioita. Ne liittyvät esimerkiksi suunnitteluun, myyntiin, varastointiin tai alihankintaan. Ennen kustannuksiin sisällytettiin yleisesti vain virhe- ja tarkastuskustannukset sekä laatuosaston ylläpitämisen kustannukset. Nykyisin laatuun liittyvät kustannukset vaihtelevat yleisesti 5-25 % välillä liikevaihdosta tai toimintakustannuksista julkisella sektorilla. Suuruus riippuu teollisuuden alasta ja yrityksen laadunhallintamenetelmistä. 95 % laadukustannuksista on joko tarkastus- tai virhekustannuksia. Virheiden vähentäminen eliminoimalla virhelähteitä voi vähentää myös tarkastuskustannuksia huomattavasti. Laadukustannuksia voidaan vähentää jopa kolmasosaan ottamalla käyttöön kustannustehokas laadunhallintajärjestelmä (Dale et al. 2007; Heizer & Render 2006).

## 2.4.3 Laadun ohjaamisen menetelmiä

Laadusta voidaan puhua kvalitatiivisessa mielessä liittäen sanan yhteyteen adjektiivi kuten hyvä, huono tai erinomainen. Tällöin ei yleensä ole kyse teknisestä soveltamiskohteesta vaan esimerkiksi markkinoinnista. Näissä yhteyksissä termiä usein myös väärinkäytetään. Toinen tapa määritellä laatua on kvantitatiivinen, jolloin sitä voidaan mitata sovittua asteikkoa vastaan. Perinteinen yhä joissain yhteyksissä käytetty standardoitu kvantitatiivinen menetelmä on AQL (*Acceptable quality level, ISO 2859-1*). Se on laatu-taso, joka määritelmänsä mukaan näytteenoton kautta täyttää tyydyttävän prosessin tason. Yleensä AQL-menetelmällä mitataan virheellisten yksiköiden määrää sataa yksikköä kohti. Standardissa on taulukot, josta halutulla tarkastustasolla (normaali,

tiukennettu, harvennettu) saadaan havainnoitavan eräkoon perusteella otoskoko ja hyväksymisraja. Menetelmän käyttäminen on usein asiakkaan vaatimus. Asiakas tekee tuotteille vastaanottotarkistuksen, jossa koko virheellinen tuote-erä voidaan hyväksymisrajan ylittyessä hylätä ja palauttaa toimittajalle. Menetelmää käytetään Dalen et al. (2007) mukaan usein pohjautuen vääränlaiseen ajatusmalliin, jossa kaikkien virheiden eliminoinnin yrittäminen koituu liian kalliiksi. Menetelmä voi antaa tuotantoorganisaatiolle vaikutelman, että virheet tuotannossa ovat sallittuja. Tuotanto on tällöin periaatteessa ohjattu tekemään tietty määrä virheitä. (Dale et al. 2007)

Total quality management (TQM) on toimintatapa, jossa koko organisaatio ja sen kaikki toimintaprosessit tähtäävät tehokkaaseen ja laadukkaaseen toimintatapaan. Tavoitteena on luoda hyvin rahalle vastinetta tuottavia tuotteita tai palveluita. Pyrkimyksenä on myös saavuttaa tai jopa ylittää asiakkaiden odotukset. TQM on sekä ajattelutapa että kokoelma ohjaavia toimintaperiaatteita. Se on jatkuvasti kehittyvä ohjelma ja syntynyt vuosien saatossa eri laatuasiantuntijoiden ajatusmalleja yhdistellen. Sen yhteydessä käytetään useita eri työkaluja toimintatapojen parantamiseen. Deming käytti TQM-ohjelmassaan 14 eri työkalua. Heizer & Render (2006) ovat tiivistäneet toimintatavan seitsemään tärkeimpään. TQM:n ydinajatuksia ovat asiakkaiden tarpeet ja odotukset. On tärkeää huomata, että asiakkaita ovat sekä sisäiset että ulkoiset asiakkaat. Toinen tärkeä ajatus on se, että pyritään etsimään ongelmien perustavat syyt eikä pelkästään korjaamaan tapahtuneita virheitä. (Dale et al. 2007; Heizer & Render 2006; Sullivan 2011)

Six sigma kehitettiin 1980-luvun puolivälissä Yhdysvalloissa Motorolan toimesta. Menetelmän käytöstä on julkaistu standardi ISO 13053-1. Six sigma on strategia ja kehitysohjelma ajan säästämiseksi, laadun parantamiseksi ja kustannusten alentamiseksi. Sen käyttöönotto vaatii johdolta sitoutumista ja aikaa. Kehitysohjelma noudattaa tiettyä vaiheistettua protokollaa, jota kutsutaan nimellä DMAIC (*Define – Measure – Analyze – Improve – Control*). Six sigman tilastollisia työkaluja käytetään myös TQM:n yhteydessä. Niillä pyritään systemaattisesti mittaamaan prosessin laatua ja paikantamaan virheitä. Työkalut ovat helposti sovellettavia kaavioita ja diagrammeja, jotka havainnollistavat poikkeamia. Esimerkkejä käytetyistä työkaluista ovat syy-seuraus-diagrammi (*ns. kalanruotokaavio*), pareto-diagrammi, prosessikaavio ja histogrammi. Six sigman vaatimukset täyttääkseen prosessin sallitaan tuottavan enimmillään 3,4 virhettä yhtä miljoonaa virhemahdollisuutta kohden. (Heizer & Render 2006)

Lean kehitettiin Japanissa Toyotan toimesta, kun pyrittiin kilpailemaan Fordin jättiresursseja ja massatuotantoa vastaan (Sullivan 2011). Lean pyrkii vähentämään kustannuksia sitä kautta, että prosesseista poistetaan kaikki lisäarvoa tuottamaton. Prosessit analysoidaan ja niitä kehitetään asiakkaan saaman lisäarvon näkökulmasta. Turhia, lisäarvoa tuottamattomia asioita kutsutaan japaninkielisellä termillä Muda ja niitä on identifioitu seitsemän eri tyyppiä. Muda:n poistamisen lisäksi Lean-menetelmässä pyritään mm. syventämään suhteita materiaalin tai palvelujen toimittajiin ja lisäämään heidän vastuutaan. Tämän lisäksi edistetään työn haastavuuden lisäämistä ja työntekijöiden

vastuuta sekä vähennetään töiden eri vaativuusluokkien lukumäärää. Oikeita tuotteita tai palveluja tuotetaan imuohjatusti mahdollisimman vähillä aktiviteeteilla silloin kun asiakas niitä tarvitsee, oikeaan aikaan ja oikealla hinnalla. (Dale et al. 2007; Heizer & Render 2006; Sullivan 2011)

Edellä kuvailtuja menetelmiä on sovellettu eri teollisuusaloilla jo pitkään. Parhaiten ne soveltuvat sarjamootoiseen tuotantoon, jossa tuotteet ovat standardoituja, valmistus on toistuvaa ja toistomäärät suuria. Tällöin prosesseja voidaan optimoida tilastollisin menetelmin. Sullivanin (2011) mukaan minkä tahansa tässä kuvaillun menetelmän onnistunut implementointi on tuonut yritykselle selviä hyötyjä. Sen sijaan menetelmien keskinäinen vertailu ei tuo esille selviä eroja niiden välille hyödyllisyyden kannalta. Rakennus- alalla ei laadunohjausmenetelmiä ole hyödynnetty niin kuin muilla aloilla, vaikka alalla on kova kilpailu. Tähän on syynä mm. tuotannon ominaisuudet. Tuotanto on projekti- luontoista ja tuotteet ainutlaatuisia. Laadunohjausmenetelmien työkaluista ei myöskään toistaiseksi ole onnistuttu soveltamaan rakennus- alalle hyvin sopivia versioita. (Sullivan 2011) Tuottavuuden parantamiseen pyritään kuitenkin aktiivisesti, ja menetelmien soveltamista kuitenkin tutkitaan myös rakennus- alalla infraprojektit mukaan lukien (Wodalski et al. 2011).

Rakennus- alalle on viime aikoina kehitetty erilaisia integroituja projektimalleja, jotka hyödyntävät Lean- menetelmän oppeja turhan vähentämisestä. Tällaisia malleja ovat esimerkiksi IPD (*Integrated project delivery*) ja LPD (*Lean project delivery*). Niissä pyritään parantamaan osapuolten kommunikointia ja aikaistamaan suunnittelun osuutta projektin elinkaarella (vrt. kappale 2.2.2). Infrahankkeet ovat pääasiassa julkisesti rahoitettuja. Urakoiden kilpailutukset ovat tarkasti säädeltyjä ja yleensä pääosin kustannus- perusteisia (Wodalski et al. 2011). Integroitujen projektimallien käyttäminen tuo muutoksia myös urakkamuotoihin. Perinteisten KU (*kokonaisurakka*), PJU (*Projektinjoh- tourakka*) ja ST (*Suunnittele- toteuta*) -muotojen ohella käytetään jatkossa esimerkiksi integroituja projektitiimejä, joista Suomessa on esimerkkinä Tampereen rantatunnelin hanke. Lean- menetelmään perustuvien ohjelmien käyttämisessä voidaan saada infra- alalla suuria säästöjä. Englannin julkisesta tieverkosta vastaava Highways agency on käyttänyt Lean- menetelmää 230 projektissa vuodesta 2009 lähtien ja saavuttanut siinä ajassa yli 90 miljoonan punnan säästöt (Vison Alliance Partners Oy 2013).

#### **2.4.4 Laadun käsite inframallien yhteydessä**

Liikenneviraston (2011c) mukaan laatu on vastaavuutta vaatimuksiin ja odotusarvon täyttymistä. Laadun on oltava mitattavissa muutenkin kuin kustannusten ja ajankäytön osalta. Laatu on tuotteen osalta myös toiminnan laatua. Suunnittelun laatu on tavoittei- den saavuttamista liikenteen ja tieympäristön kannalta, teknisten suunnitteluratkaisujen laatua, hallinnollista laatua, tilaajayhteistyön laatua, riskien tunnistamista, laadunvar- mistuksen toteutumista ja suunnitelman toteutettavuutta. Suunnittelun hankinnan on- gelmakohta tarjousvaiheessa on laatuerojen havainnointi. Projektisuunnitelmien ja

henkilö- ja referenssiluettelon perusteella laatueroja ei pysty arvioimaan kuin yritysten ja niiden henkilöstöjen aiemman projektikokemuksen perusteella. Tällöin laatupisteytys ei tee eroja toimittajien välille, minkä seurauksena laadun painoarvo laskee ja päädytään pelkkään hintakilpailuun. (Liikennevirasto 2011c).

Suunnitelmia toimitetaan jatkossa digitaalisesti yhteisesti sovitussa tiedonsiirtoformaattissa. Aineisto on oltava hyödynnettävissä omaisuuden hallinnassa ja se tulee kyetä lukemaan koneellisesti ongelmitta. Tämä aiheuttaa vaatimuksia myös suunnitelmien tekniselle laadulle.

Inframallien vaadittu sisältö eri hankevaiheissa on määritetty YIV-ohjeissa. Niissä on inframallien laadunvarmistusta koskien oma kokonaisuutensa eli *Osa 8 Inframallin laadunvarmistus*. Siinä määritetään laadunvarmistuksen vastuut seuraavasti (Infra-BIM 2015):

- Tilaaaja on velvollinen huolehtimaan, että inframallit ovat tarkoitukseensa sopivia ja vaatimusten mukaisia. Tilaaaja voi tehdä tarkastuksen itse tai tilata varmistuksen kolmannelta taholta. Puutteet ja virheet esitetään tuottajalle, joka korjaa ne täysimittaisesti tai kirjaa perustelut poikkeamille. Korjaustoimenpiteitä ohjaavat sopimusasiakirjat, hankekohtaiset vaatimukset ja alan yleiset ohjeistukset.
- Tuottaja on vastuussa inframallin laadusta ja tietosisällöstä. Inframallit tulee toimittaa standardin mukaisessa muodossa vaatimusten mukaisesti sovitussa aikataulussa. Tuottaja varmistaa, että nimikkeistöt, koodit ja formaatit vastaavat standardia. Ohjeena on myös laadun kehittämiseksi raportoida mahdolliset poikkeamat.

Edellä mainitussa ohjeessa ei ole tarkennettu termin ”huolehtia” tarkkaa sisältöä eikä tilaajan vastuuta sen osalta. Ohjeessa on määritetty aineistolle tehtäväksi useita tarkastuksia suunnittelijan taholta sekä suunnitteluohjelmistolla että mahdollisuuksien mukaan myös jollain toisella ohjelmistolla (*ns. ristiintarkistus*). Liikenneviraston koekäytössä olevassa *Tiehankkeiden mallipohjaisen suunnittelun hankinta*-ohjeessa on mainittu, että inframallit tulee tarkistaa. Tarkastukseen voidaan käyttää sekä visuaalisia että teknisiä menetelmiä ja sen voi tehdä myös ulkopuolinen tekijä. Laadunvarmistus kuuluu inframallin laatijalle ja siihen kuuluu dokumentointi ja aineiston ns. itselle luovutus. Yhteensopivuustarkastelu eri osamallien välillä ohjeistetaan tekemään yhdistelmämallin laatimisen avulla. Siinä yhteydessä myös varmistetaan aineiston formaatin vaatimuksenmukaisuus. (Liikennevirasto 2014b) Liikennevirastolla on vuoden 2015 ajan pilottikäytössä kolmannen osapuolen BimOne Checker-tarkastusohjelma inframallien teknisen laadun tarkastusta varten.

Inframallin tekninen laatu on vastaavuutta vaatimukseen. Teknisellä laadulla ei tässä yhteydessä tarkoiteta suunnitelman liikenteellisiä tai muita suunnittelun ja rakenteiden toimivuuteen ja niihin liittyviin vaatimukseen liittyviä ratkaisuja. Tekninen laatu on pääosiltaan mitattavissa automaattisesti tietotekniikan avulla. Laatu koostuu mallivaatimusten mukaisesti kolmesta osasta:

1. Inframallissa käytetyn nimikkeistön vastaavuus vaatimukseen, joka on tällä hetkellä Infrabim-nimikkeistön versio 1.5.
2. Inframallin formaatin vastaavuus Inframodel-tiedonsiirtoformaatin määrittäykseen. Tällä hetkellä on käytössä IM3.
3. Inframallin vastaavuus yleisiin inframallivaatimuksiin. Tällä hetkellä voimassa ovat YIV2015-vaatimukset.

Nimikkeistön osalta vaatimus on yksiselitteinen. Väylien rakennepinnat ja taiteviivat tulee olla nimetty ja numeroitu vaaditulla tavalla. Vaatimukset on dokumentoitu selkeästi, mutta nimikkeistön kattavuus on vielä rajallinen. Jatkossa nimikkeistö tulee laajenemaan myös muihin mallinnettaviin osa-alueisiin kuin väylärakenteiden geometriatietoihin. Inframallin formaatin vaatimuksenmukaisuudessa merkittävä laadullinen vaikuttaja on käytettävän suunnitteluohjelmiston kyky tuottaa formaatin mukaista aineistoa. Suunnittelija vastaa laadusta, joten hänen on ennen aineiston luovutusta varmistuttava riittävin tarkistuksin siitä, että aineisto on formaatin puolesta luovutuskelpoista. Formaattissa on määritetty mallikohtaisten yleistietojen lisäksi vaadittavat parametrit ja metatiedot geometrioille, viivaketjuille ja pinnoille.

Kolmioimalla tehtyjen pintojen osalta hyvän laadun määrittäminen ei ole täysin yksiselitteistä. Se riippuu aina kolmioverkon käyttötarkoituksesta ja pinnalle ensisijaisesti annetuista vaatimuksista. Hervan (2009) mukaan kolmioidun pinnan laadun määrittää se, kuinka hyvin se kuvastaa todellista pintaa. Vaikka kolmiointi täyttäisi kolmiointimenetelmän määritelmät teknisesti, se voi silti olla laadultaan riittämätön. Se voi sisältää liian kapeita ja pitkiä kolmioita tai kolmioiden kokojakauma voi olla liian suuri. Jokaista pintaa kohti on Seppälän (2001) mukaan periaatteessa ääretön määrä verkkoja, joita on mahdollista pitää sen paloittain lineaarisena vastineena. Yhtä pintaa on mahdollista kuvata siis hyvin monella samankaltaisella verkolla. Ongelma on määrittellä niistä paras ja ongelmallista on yleensäkin määrittellä kriteerit hyvälle kolmioverkolle. Käsittelyn kannalta hyvä on mahdollisimman yksinkertainen, mutta äärimmillen yksinkertaistettu pinta ei vastaa enää todellista pintaa. Myös kolmioiden muoto ja niiden tasamuotoisuus saattaa olla yksi kriteeri laadulle. Seppälän (2001) mukaan yksinkertaisin ja tärkein metriikka verkkojen laatua arvioitaessa on kuitenkin verkon monimutkaisuus eli särmien, kärkien ja kolmioiden lukumäärä. Hyvän verkon määritelmä on Seppälän (2001) mukaan täysin riippuvainen tilanteesta ja kulloinkin vaadituista kriteereistä. Tavoitteena on saavuttaa yksinkertaisuuden ja tarkkuuden välille sopiva tasapaino. YIV määrittää kolmioinnille raja-arvoja (sivujen pituudet), mutta se jättää kuitenkin suunnittelijalle tulkinnanvaraa toteutukseen. Kolmioinnin tulee toteuttaa visuaalinen havainnollisuus ja riittävä tarkkuus.

Yleiset inframallivaatimukset määrittävät inframallin sisällön ja sen tarkkuuden eri hankkeissa. Ne ohjaavat suunnittelua ja määrittävät mitä milloinkin tulee olla mallinnettuna. Inframallin viimeistely kaikkien taiteviivojen ja pintojen osalta virheettömiksi ja jatkuviksi vaatii suunnittelijalta paljon aikaa. Eritoten kiertoliittymät ja katuliittymät tiiviisti rakennetussa ympäristössä ovat monimutkaisia. Myös rakenteiden vaihtuma-

kohdat ja siirtymäkiilat ovat ongelmallisia. Kaikissa hankevaiheissa ei ole tarkoituksenmukaista tehdä kaikista mallin elementeistä toteutukseen kelpaavia. Tällöin on kyseessä ylilaaatu. Siitä aiheutuvia kustannuksia ei yleensä voida periä asiakkaalta. Ylilaa-dun välttäminen on tuottavuuden kannalta oleellista. (Tanskanen 2015) Laatu on toisaalta kuitenkin asiakkaan tarpeiden tyydyttämistä ja vaatimuksenmukaisuutta. Vaatimukset on näin ollen sovittava tilaajan tarpeisiin sopiviksi optimoiden samalla tuottavuustekijät. Vaatimukset on oltava selkeästi määritetty.

### 2.4.5 Teknisen laadun tarkastaminen

Ohjelmistojen ja järjestelmien algoritmien avulla tapahtuvaa laadullista testaamista tutkitaan nykyisin paljon. Toiminnan kehitys alkoi noin 25 vuotta sitten. Tutkimuksen ja tarkastuksen kohteet saattavat olla mittakaavaltaan laajoja. Testaamista tarvitaan, koska ohjelmistot, laitteistot ja järjestelmät sisältävät virheitä ja puutteita. Ohjelmoijan ajasta voi mennä jopa puolet ohjelmiston testaukseen, korjauksiin ja luotettavuuden parantamiseen. (Emerson 2008) Rakentamiseen liittyvien suunnitelmien laadun tarkastamisen automatisointikaan ei ole mikään uusi ajatus. Tutkijat ovat jo 1960-luvulla tutkineet keinoja suunnitelmien vertaamiseen suunnittelustandardeja vastaan tietokoneiden avulla. IFC-formaatin kehitys 1990-luvulla toi myös automaattisen tarkastuksen modernimmalle tasolle (Nawari 2012). Tarvetta automatisoinnille luovat koko ajan monimutkaisuudet rakenteet ja nimikkeiden lisääntyminen, useiden eri suunnitteluohjelmistojen käyttö ja pyrkimys kaikkia ohjelmistoja tukevaan yhteiseen tiedonsiirtoformaattiin.

Tietomallien puutteellisesta sisällöstä voidaan mainita esimerkkinä Iso-Britanniassa esiintyvät hankaluudet COBie-formaatin käytössä. Siellä vaaditaan yhteisen taulukkomuotoisen ns. COBie-formaatin käyttöä kaikissa valtion rakennusprojekteissa vuodesta 2016 alkaen. Kehitystyön yhteydessä tehdyissä aineistotesteissä on havaittu yleiseksi virheellisten rivien määräksi noin 8000 riviä 600 000–800 000 rivin tietomallia kohti. Tällöin virheprosentiksi muodostuu 1 % - 1.3 %. Taulukkomuotoinen tieto on luettavissa taulukkolaskentaohjelmalla. Eri ohjelmistot käyttävät eri metodeja COBie-formaatin tuottamiseen. Jotkin ohjelmistot tuottavat COBie-muotoista aineistoa suoraan ohjelmiston omasta ns. natiivimallista, kun taas toiset tuottavat sen ensin IFC-muotoon ja muuttavat sen sitten eteenpäin COBie-muotoon. Monimutkaisissa rakenteissa tämä saattaa olla ongelma. (Day 2014)

Talonrakennuksen IFC-formaatin yhteyteen on luotu useita tietomallien tarkastustyökaluja. Tarkastustyökalut voidaan Laasosen et al. (2015) mukaan jakaa kolmeen ryhmään. Ensimmäinen ryhmä perustuu visuaaliseen tarkastamiseen ja tarkastajan kokemuseräiseen tulkintaan. Toinen ryhmä sisältää perustarkastustoimintoja ja on luonteeltaan interaktiivinen. Kolmannessa ryhmässä on myös automaattisia tarkastustoimintoja. Toinen Laasosen et al. (2015) käyttämä jaottelukeino jakaa tarkastusohjelmat sen mukaan voiko niillä tarkastella pelkästään yhden ohjelmistotuotteen natiivimalleja, vai tukevatko ne myös yleisiä tiedonsiirtoformaatteja. Dayn (2014) mukaan yleisin tarkastustyökalu

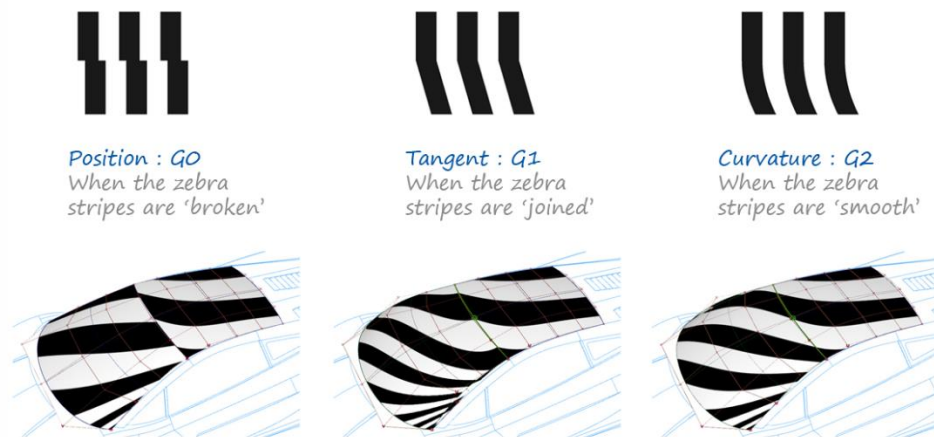
alalla tällä hetkellä on Solibri Model Checker. Se on laaja ohjelmisto, jossa on mukana törmäystarkastelujen lisäksi tietomallien laatumittarit ja -raportointi. Se myös tarkastaa tietomallit talonrakennusalan YTV2012-vaatimusten osalta (Solibri 2012). Toinen esimerkki tarkastustyökaluista on Autodesk Revit Model Checker. Se tarkistaa mallit osaluokittain fail/pass-tyyppisesti. Sen vahvuuksia ovat Sullivanin (2015) mukaan eri parametrien tarkastus: Onko niitä mallissa olemassa, onko niiden sisältö vaaditussa muodossa sekä niiden tarkistus määrättyä arvolistaa vastaan. Geometrioiden osalta se tarkistaa esimerkiksi sisältääkö tietomalli tiettyjä geometriaelementtejä ja onko olemassa duplikaatteja tai päällekkäisiä elementtejä. Puutteita on esim. elementtien välisten etäisyyksien mittaamisessa. Muita kaupallisia esimerkkejä talonrakennusalan automaattisia tarkastusominaisuuksia sisältävistä ohjelmista ovat esitelleet esimerkiksi Laasonen et al. (2015).

Prosessiteollisuuden tietomalleja tutkitaan myös sisällön laadun kannalta. Ohjelmistoissa on olemassa sisäisiä tarkastustyökaluja tietomallien sisällölle, esim. Solidworks Design Checker ja ensimmäinen ISO 15926-yhteensopiva P&ID-suunnitteluohjelma Bentley'n OpenPlant PowerPID (Bentley 2015). XMpLant on prosessiteollisuuden ohjelmistotyökalu, jolla voidaan yhdistää eri formaateissa olevia tietomalleja (esimerkiksi IFC tai natiivitiedostot) ISO 15926-yhteensopivaksi XML-formaattiin. Ohjelmistossa on myös oma laatutyökalunsa, joka tarkistaa tietomallin attribuuttien yhteensopivuuden (Noumenon 2015). Nieminen (2013) on tutkinut erään yrityksen laitossuunnitteluympäristössä suomalaisessa tehtaassa tapahtuvaa mallinnusprosessia. Kyseisessä yrityksessä luotiin suunnittelulle tietomallien tarkastusohjeet ja määritettiin samalla suuntaviivat suunnitelman etenemiseen liittyvissä merkkipaaluissa tapahtuville mallikatselmuksille, joita tehtiin sekä sisäisesti että asiakkaan kanssa yhdessä.

Sisällöltään laajoissa tiedonsiirron standardeissa esiintyy sisällön automaattiseen tarkistukseen liittyviä ongelmia. Määrittelyt ovat usein osin epätarkkoja ja epämääräisiä, joten tarkastustyökalun laatiminen niiden ympärille ei ole helppoa. Kaupalliset ohjelmistotoimittajat eivät aina halua panostaa tietomallien laadulliseen testaamiseen ja esimerkiksi ISO 15926-standardiin liittyen ohjelmistotoimittajien panostukset ovat olleet riittämättömiä. Pilottihankkeissa on todettu tämän olevan myös hidaste standardin laajemmalle implementoinnille teollisuudessa. (Denno & Palmer 2013; Elaasar & Labiche 2012)

Mallinnettujen pintojen laadukkuuden osalta teollisen muotoilun alalla on suuret vaatimukset. Esimerkiksi autojen muotoilussa pintojen visuaalinen laatu on tärkeä tekijä. Monimutkaisten pintojen kuvaamiseen tietokoneavusteisesti käytetään tiheän kolmioinnin ohella NURBS (*Non-Uniform B-Splines*) -menetelmiä. Esimerkiksi autojen muotoilussa käytetään yleisesti ns. Bézierin menetelmää, jossa pinnalla on ns. kontrollipisteitä. Itse pinta ei kulje näiden kontrollipisteiden kautta, vaan kaartuu niitä kohti. Etuina näillä menetelmillä on monimutkaisten kaartuvien pintojen kuvaamisen mahdollisuus suhteellisen vähällä laskentateholla. Tällaiset menetelmät soveltuvat kuitenkin huonosti

sovelluksiin, joissa todellinen pinta tiedetään tarkasti ja pinnan kuvaajan tulee olla mahdollisimman lähellä todellista sijaintia. Infrastruktuurin suunnitteluohjelmissa ei käytetä NURBS-menetelmiä. (Herva 2009) Pinnan visuaalisen tarkastelun avuksi on autojen suunnitteluohjelmistoissa käytettävänä aputyökaluja kuten Zebra Stripes, joka luo pintaan erityyppisiä taitekohtia ja kaarevuuksia korostavia raitoja. Esimerkkejä tällaisesta havainnollistamisesta esitetään kuvassa 19. Visuaalinen tarkastelu on tärkeässä osassa pintojen laadukkuuden tarkastamisessa.

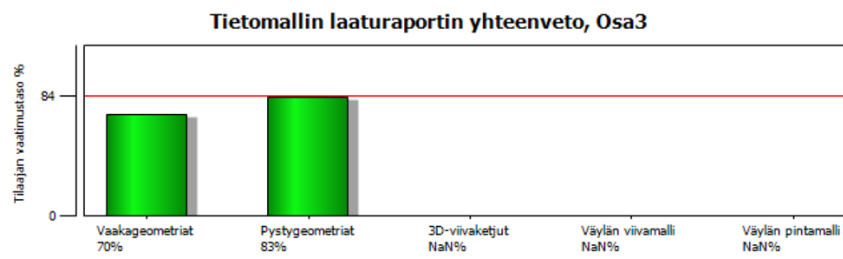
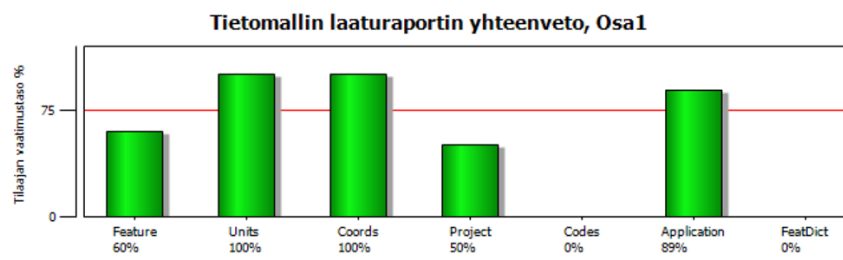


Kuva 19. Zebra Stripes-työkalun havainnollistamia pinnanmuotoja (Autodesk 2013)

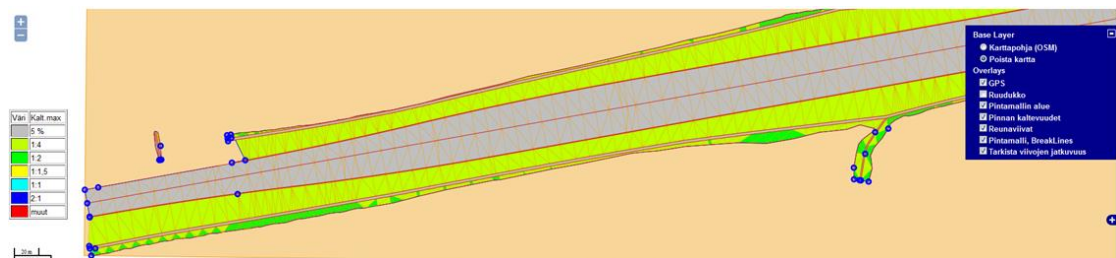
Infra-alan tietomallien laadullinen tarkastaminen siihen kehitetyn työkalun avulla on uusi asia. Suomessa on kehitetty BimOne Checker-työkalu laadun analysointiin. Työkalu tarkastaa tietomallien sisällön teknisestä näkökulmasta nimikkeistön, IM-formaatin ja YIV:n osalta. Ohjelmisto toimii pilvipalveluna, ja on käytettävissä internet-selaimen kautta missä vain käyttäjätunnusta vastaan. Palvelu tuottaa suunnitelmamallin jokaisesta tiedostosta pdf-muotoisen raportin, jossa laatu on analysoitu ja pisteytetty osa-alueittain virheellisten elementtien suhteena kyseisten elementtien kokonaismäärään kyseisessä tiedostossa. Kuvassa 20 on esitetty erään tiedoston pisteytystä BimOne Checker-palvelun laaturaportista. Työkalu tutkii inframallin formaatin oikeamuotoisuutta ja tarkistaa parametrejä sekä nimikkeitä. Se myös tutkii matemaattisesti geometriaelementtien pituuksia ja sijaintitietoja verraten niitä sallittuihin ja suositeltuihin arvoihin. Työkalu tuottaa mallitiedostosta myös internet-selaimen avautuvan karttatiedoston, jonka avulla suunnitelmaa voi havainnoida visuaalisesti 2D-esityksenä. Tämä auttaa varsinkin suunnitelman rajauksien, viivoituksen jatkuvuuden ja kolmioinnin arvioinnissa. Kuvassa 21 on esitetty ote työkalun tuottamasta karttaesityksestä erään inframallin arvioinnin yhteydessä. BimOne Checker ei tällä hetkellä tee poikkeusta eri hankevaiheiden suunnitelmien arvioinnissa, vaan kaikki tietomallit arvioidaan samalla menetelmällä. Visuaaliseen tarkastamiseen 3D-esityksenä tarvitaan muuta työkalua.

## Tietomallin sisältämät osakokonaisuudet (InfraModel-jaottelu):

InfraModel jaottelu:



Kuva 20. BimOne Checker-palvelun tuottaman laaturaportin pisteytys erään väylän mittalinjalle



Kuva 21. Ote BimOne Checker-palvelun tuottamasta karttaesityksestä. Kyseessä on erään väylän ylin yhdistelmäpinta

## 3. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO

### 3.1 Asiantuntijahaastattelut

Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituina asiantuntijahaastatteluina. Asiantuntijahaastattelu on haastattelututkimuksen erikoistapaus. Siinä haastateltavat ovat erityisesti valittuja. He ovat alallaan tunnustettuja asiantuntijoita, jotka edustavat jotain organisaatiota tai laitosta. Heillä on myös erityistä teknistä tietoa omasta alastaan ja he osaavat nopeasti hahmottaa asiantuntija-alueitaan. (Anttila 1998) Puolistrukturoidussa haastattelussa valtaosa kysymyksistä ja niihin tulevista vastausvaihtoehdoista on rakennettu tarkasti etukäteen. Niiden lisäksi puolistrukturoidussa haastattelussa on myös avoimia kysymyksiä ja avoimia vastausvaihtoehtoja kiinteisiin kysymyksiin. Tarkoituksena niillä on saada haastatteluun joustavuutta sekä haastattelijalle että vastaajalle. Näin haastatteluun myös saadaan mukaan mahdollisia asioita, joita ei etukäteen ole osattu ennakoida. (Kurkela 2015) Haastattelut tehtiin kasvokkain ja haastattelutilanteet olivat keskustelutyyppisiä. Tällä varmistettiin se, että haastateltavalla oli varmuus kysymysten tarkoituksesta ja hän pystyi tarvittaessa tarkentamaan vastauksiaan. Haastattelut olivat osin teemahaastattelun tapaisia, mutta eivät puhtaita teemahaastatteluja, jossa aiheita käsitellään vain tukilistan avulla.

Haastateltavat edustivat tutkimuksessa tilaajatahon lisäksi kolmea eri tahoa väylähankkeen suunnittelu- ja toteutusprosessista. Tahot olivat tiesuunnittelun tekijä, rakennussuunnittelun tekijä ja urakoitsija. Jokaista tahoa edusti kolme haastateltavaa eli haastateltuja oli kaikkiaan 12. Haastateltavat pyrkivät vastauksissaan pohtimaan oman tahonsa näkökulmasta lähtöaineistona saadun inframallin virheiden ja puutteiden merkitystä. Haastateltavat valittiin tutkimukseen ohjausryhmän ehdotusten perusteella konsulttitoimistoista, urakoitsijoilta ja ELY-keskuksista. Konsulttitoimistoista valitut haastateltavat tuntevat hyvin mallintamalla tehtävän suunnittelun erityispiirteet. Urakoitsijoiden haastateltavat ovat työmaan mittauksiin ja inframalleihin liittyvistä asioista hyvin perillä. Tilaajatahon edustajina toimi ELY-keskusten liikenne ja infrastruktuuri -vastuualueen hankevastaavia sekä yksityisen sektorin yrityksessä toimiva suunnitteluttamisen ja tietomallintamisen asiantuntija. Suunnittelutahojen osalta haastateltavia oli viidestä eri yrityksestä. Urakoitsijatahoa haastatteluissa edusti kahden eri yrityksen edustajia. Haastateltavien toimipisteet sijaitsivat Helsingissä, Kuopiossa, Mikkelissä, Oulussa, Turussa ja Vantaalla. Haastattelut toteutettiin kesäkuun 2015 aikana.

Kysymyssarjoja oli kaksi, joista ensimmäinen suunnattiin suunnittelijoille ja urakoitsijoille ja toinen tilaajatahon edustajille. Ensimmäisen kategorian haastateltava pyrki vastauksissaan eläytymään tilanteeseen, jossa hän on saanut edeltävästä hankevaiheesta käyttöönsä IM-formaatissa olevan inframallin. Vastauksissaan hän arvioi inframallissa olevien mahdollisten teknisten puutteiden ja virheiden vakavuutta sen jatkokäyttöä ajatellen. Tilaajataho vastasi omasta näkökulmastaan pohtien erilaisten virheiden merkittävyyttä eri hankevaiheissa. Tilaajatahon vastaukset käsiteltiin jaoteltuna sopivan hankevaiheen vastausten käsittelyn yhteyteen

Kysymyksissä oli neljä kiinteää vastausvaihtoehtoa ja jokaisessa kysymyksessä avoin lisäkohta tarkentavalle lisätiedolle. Vaihtoehtoista tuli valita parhaiten tilanteeseen so-piva. Vaihtoehdot noudattivat seuraavaa rakennetta ja järjestystä:

- Kyseisen tapaiset virheet eivät haittaa
- Kyseisen tapaiset yksittäiset virheet eivät haittaa aineiston jatkokäytössä
- Kyseisen tapaiset virheet aiheuttavat lisätyötä aineiston jatkokäytössä
- Kyseisen tapaiset virheet pysäyttävät prosessin

Vastausvaihtoehtoilla pyrittiin selvittämään kyseisen aihealueen virheiden vakavuus kysymyksessä olevan hankevaiheen inframallissa. Kysymyssarja noudatteli IM3-määrittelyä inframallin erilaisten osakokonaisuuksien osalta. Eri kategorioina tutkittiin vaaka- ja pystygeometrioita, taiteviivoja, kolmiopintoja ja vesihuollon rakenteita. Vaihtoehtokysymyksiä oli kaikkiaan 11. Vastajia pyydettiin myös mahdollisuuksien mukaan nimeämään vaihtoehtokysymysten aihealueista mielestään kolme tärkeintä ja vähiten tärkeintä. Lisäksi heiltä kysyttiin kahdeksan (tilaajataholta kuusi) avointa kysymystä, joilla kartoitettiin mahdollisia vaihtoehtokysymysten ulkopuolisia ongelmatyyppejä.

Vaaka- ja pystygeometrioihin liittyvät kysymykset koskivat viivojen sijaintia ja määri-tyksiä, kuten alku- ja loppusuuntia, pituuksia, kiertosuuntia ja säiteitä. Myös geome- trioissa mahdollisesti esiintyviä nollapituisia viivaelementtejä koskien oli oma kysy- myksensä. 3D-viivaketjuihin liittyi kaksi haastattelukysymystä. Ensimmäisessä kysyt- tiin viivaketjujen määriytyksistä, joita ovat ketjun pituus, alkupaalu, alku- ja loppupisteet sekä välipisteet. Toinen kysymys koski nollapituisia elementtejä ja ”viivasilppua” eli lyhyitä viivanpätkiä.

Pintamallien kolmiointiin liittyen kysymyslomakkeessa oli kolme kysymystä. Ensimmäinen niistä liittyi kolmiointin rajauksiin (mallinnettavan alueen reunat), kolmioidussa pinnassa oleviin reikiin ja pintojen pystysuoriin muutoksiin. Toisen kysymys koski kolmiointin esiintyviä ”tuplapisteitä” ja päällekkäisiä pisteitä. Tuplapisteet ovat pis- teitä, joilla on samat koordinaatit. Päällekkäisillä pisteillä on sama x- ja y-koordinaatti, mutta eri z-koordinaatti. Kolmas kysymys esitettiin liittyen kolmioiden sivujen pituuk- siin ja sitä kautta kolmioiden kokoon. Taiteviivojen ja pintojen jatkuvuus käsiteltiin lomakkeessa erillisenä kysymyksenä. Siinä tuotiin esille, että viivojen ja pintojen tulisi

olla kauttaaltaan jatkuvia mukaan lukien liittymäalueet, kiertoliittymät, rampit ja rakennetyypin vaihtumakohdat.

Vesihuollon verkostojen mallinnuksen hyödyntämisestä haastatteluissa kysyttiin kaksi kysymystä, joista ensimmäinen koski putkien ja rakenteiden ominaisuustietoja ja määrittelyjä. Toinen kysymys koski putkien ja rakenteiden sijainti- ja korkeustietoja.

Edellä mainittujen osioiden lisäksi avoimissa kysymyksissä kysyttiin mahdollisia muita esiin nostettavia inframallien puutteita tai virheitä. Tässä yhteydessä kysyttiin myös haastateltavien käytössä olevissa suunnitteluohjelmissa mahdollisesti esiintyvistä puutteista IM-formaatin hyödyntämisen kannalta. Lisäksi tiedusteltiin, mitkä virheet tai puutteet aiheuttavat tuntimääräisesti suurimpia lisätöitä. Haastateltavilta kysyttiin myös lopuksi olisiko hyödyllistä, jos inframallissa olisi mallinnettuna kyseisen hankevaiheen kannalta vielä tarpeetonta tietoa tai aineistoa, kuten rakennekerrosten pinnat.

Haastattelujen vastauksia ei analysoida tilastollisesti, koska kyseessä ovat asiantuntija-haastattelut ja otanta on rajattu jokaista kategoriaa kohti kolmeen haastateltavaan. Strukturoitujen kysymystyyppien käyttäminen kuitenkin mahdollistaa vastausten kvantifiointin, joka auttaa tulkitsemaan ovatko vastaajat yksimielisiä tietyn vastauskohdan merkittävydestä. Vastausten hajaantuessa eri vaihtoehtoihin avoin lisätietokohta tarkentaa vastausta ja antaa lisätietoa hajaantumisen syistä.

### **3.2 Viiteaineisto**

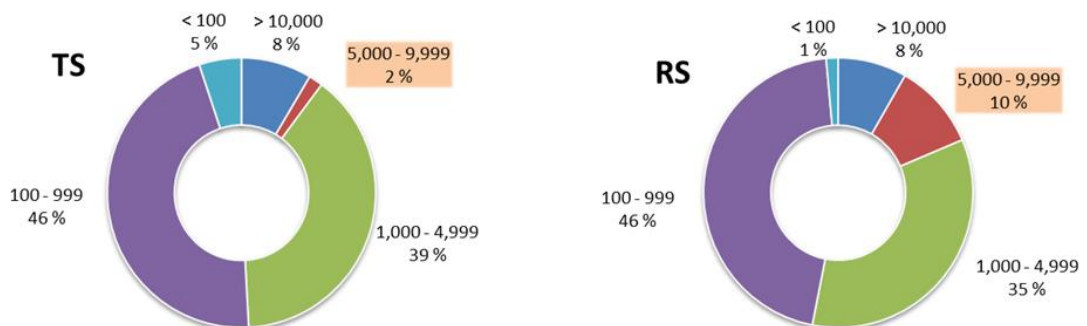
Viiteaineisto liittyy Liikenneviraston ja ELY-keskusten tilaamiin suunnitelmiin vuosilta 2014 ja 2015. Aineisto käsittää huhtikuuhun 2015 mennessä BimOne Checker-palveluun testattavaksi ladatut yleissuunnitelma-, tiesuunnitelma- ja rakennussuunnitelmavaiheiden inframallit. Aineisto sisältää 584 eri tiedostoa 12:een eri projektiin liittyen ja ne edustavat eri hankevaiheita taulukon 3 mukaisesti. Lisäksi kaikkiin tiedostoihin on saatavilla testiraportti ja siihen liittyvä karttatiedosto. Yleissuunnitelma-aineiston sisältäessä vain yhden tiedoston se on tässä työssä jätetty pois hankevaihekohtaisista analyyseistä. Aineistoa tutkittiin pdf-muotoisten testiraporttien perusteella tukeutuen osin myös 2D-karttaesityksiin. Tiedostoista tilastoitiin laadun mittaustulokset ja analysoitiin virhetyypit. Tarkoituksena oli selvittää inframallien laadun nykyinen tilanne. Testauksissa käytetty laatuasteikko on BimOne Checker-työkalua varten kehitetty. Siinä laatua kuvataan prosenttilukuna, joka muodostuu virheellisten tai puuttuvien määreiden osuudesta kyseisen määrän kokonaislukumäärään.

Taulukko 3. Testattu inframalliaineisto; tiedostojen lukumäärä hankevaiheittain

	Yleissuunnitelma	Tiesuunnitelma	Rakennussuunnitelma
Projekteja	1	3	8
Tiedostoja	1	60	523

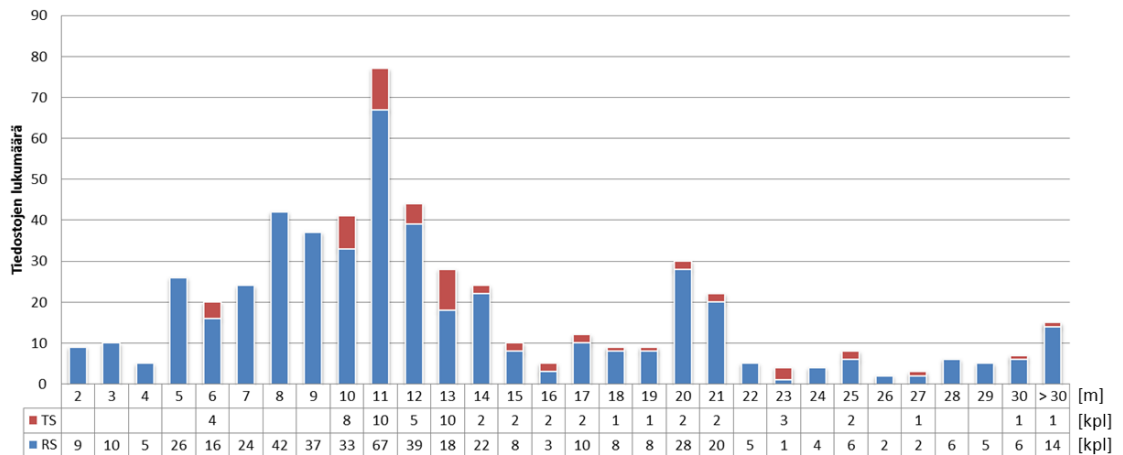
Viiteaineisto oli ominaisuuksiltaan hyvin heterogeenistä etenkin pintamalleja sisältäneiden 543 tiedoston osalta. Yksittäinen pintamalli muodostui viiteaineiston mukaan keskimäärin 3,006 kolmiosta ja 1,938 pisteestä. Mediaaniarvo kolmioiden määrälle oli 1,084 ja pisteiden määrälle 654. Suurimmat yksittäiset arvot olivat kolmioille 42,885 ja pisteille 43,565. Vähimmillään kolmiota oli eräässä pintamallissa 40 ja pisteitä 34. Pintamalleja, joissa oli alle sata kolmiota, oli kymmenen ja vastaavasti alle sadan pisteen pintamalleja oli 24. Kolmioiden ja pisteiden määrät siis vaihtelevat suuresti suunnitelmasta riippuen.

Hankevaihekohtaisia pintamallien kolmioiden määriä vertaillaessa voidaan todeta rakennussuunnitelmavaiheen pintamalleissa olevan tiesuunnitelmavaiheen pintamalleja suhteellisesti hieman enemmän kolmiota. Tämä ero on nähtävissä kun vertaillaan kategori-aa, jossa pintamallissa oli 5,000–9,999 kolmiota. Tiesuunnitelmavaiheen pintamalleista näitä oli 2 % ja rakennussuunnitelmavaiheen pintamalleista 10 %. Vastaavasti alle sadan kolmion pintamallien osuus on rakennussuunnitelmavaiheessa pienempi kuin tiesuunnitelmavaiheessa. Kolmioiden määrien osuudet eri hankevaiheiden tiedostoissa on esitetty kuvassa 22. Ominaisuuksiin liittyvissä kuvaajissa TS merkitsee tiesuunnitelmavaihetta ja RS rakennussuunnitelmavaihetta.



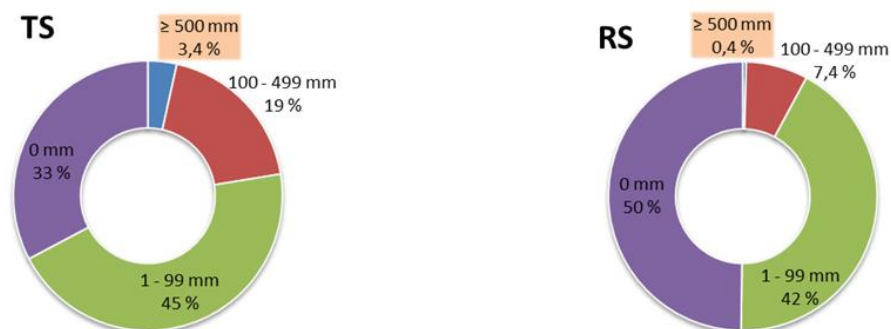
Kuva 22. Kolmioiden määrien osuudet eri hankevaiheiden pintamalleissa

Laaturaporteissa on eritelty myös pintamallin kolmioiden pisimmän ja lyhimmän sivun pituudet. Pisimpien sivujen keskiarvo viiteaineistossa oli 13,5 metriä ja mediaani 11,0 metriä. Ohjeellinen arvo pisimmälle sivulle on 10 metriä. Pisimmän sivun pituus eri hankevaiheiden tiedostoissa on esitetty kuvassa 23. Kokonaisuudessaan 61 % aineistosta sisältää vähintään yhden ohjeistukseen nähden liian pitkän kolmion sivun.



Kuva 23. Kolmioiden pisimmän yksittäisen sivun mitta eri hankevaiheiden tiedostoissa

Kolmiossa ei tulisi olla poikkeustilanteita lukuun ottamatta alle 500 millimetriä pitkiä sivuja. Tämä toteutui vain neljässä viiteaineiston pintamallissa. Pintamallien kolmioiden lyhimmät sivut hankevaiheittain on havainnollistettu kuvassa 24. Kuvaajista voidaan todeta, että 50 %:ssa rakennussuunnitelmavaiheen pintamalleista on vähintään yksi kolmio, jonka lyhin sivu on nollamittainen. Vastaavasti 42 %:ssa pintamalleista lyhimmän sivun pituus on pienempi kuin 100 mm. Tiesuunnitelmavaiheen pintamalleissa vastaavat luvut ovat 33 % ja 45 %.



Kuva 24. Kolmioiden lyhimmät yksittäiset sivut eri hankevaiheiden pintamalleissa

## 4. INFRAMALLIEN LAATU HANKEVAIHEITTAIN

Tässä kappaleessa esitellään haastattelujen tulokset ja määritetään niiden pohjalta inframallien tärkeimmät osakokonaisuudet hankevaiheittain. Kappaleen loppuosassa analysoidaan hyväksymiskriteerejä viiteaineiston laadun perusteella. Haastattelujen tulokset käydään hankevaiheittain jaoteltuna läpi kappaleissa 4.1–4.5. Viiteaineiston laatua ja inframallien hyväksymiskriteerejä käsitellään kappaleessa 4.6.

### 4.1 Virheet yleissuunnitelmavaiheessa

Yleissuunnitelmavaiheen inframallien teknisten virheiden ja puutteiden merkittävyyttä tutkittiin haastatteleamalla seuraavan hankevaiheen eli tiesuunnitelman tekijöitä. He pohjivat, miten virheet lähtöaineistona saatavassa yleissuunnitelmamallissa vaikuttavat tiesuunnitelmamallin tekoon.

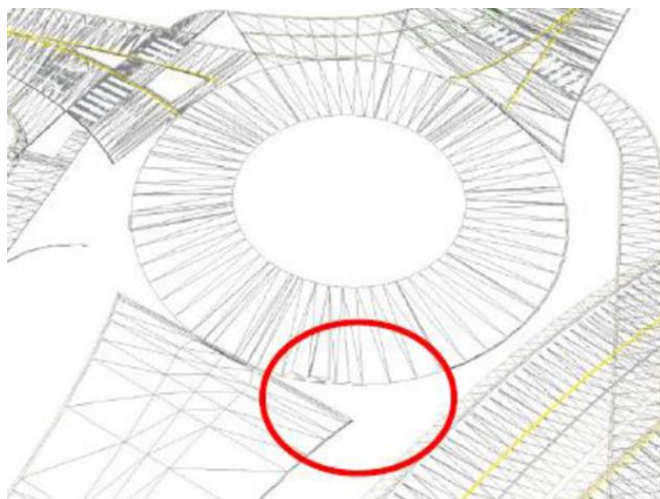
Vaaka- ja pystygeometriat ovat yleissuunnitelmamallien tärkeimmät elementit. Virheet niissä aiheuttavat lisätyötä inframallien jatkokäytössä. Vaaka- ja pystygeometriat ovat ainakin osittain hyödynnettävissä tiesuunnitelmavaiheessa, mutta hyödyntäminen aiheuttaa lisätyötä. Geometrialaskenta ei mene yleensä suoraan läpi suunnitteluohjelmissa. Pystygeometriassa esiintyy harvemmin ongelmia kuin vaakageometriassa, mutta toisaalta pystygeometria ei välttämättä mene laskennassa läpi, vaikka vaakageometria olisikin mennyt. Lisätyön määrää ei kuitenkaan katsottu suureksi, sillä tiesuunnitelmavaiheessa geometriaa tulee kuitenkin jonkin verran muokata aineiston ollessa hyvälaatuis-takin. Tilaajatahon mukaan geometrioiden osalta tulisi kuitenkin vaatia virheettömyyttä. Nollapituisista elementeistä ei vastaajilla ollut käytännön kokemusta. Tilaajataho luokittelee ne merkittäviksi virheiksi eikä niitä tulisi sallia.

3D-viivaketjujen määrityksissä esiintyvät virheet eivät ole prosessin pysäyttäviä vastausten hajaantuessa kuitenkin eri vastausvaihtoehtojen välille. Eräs haastateltava mainitsi vastauksissaan, ettei kyseisillä virheillä ole merkitystä. Vastausta tarkennettaessa kävi ilmi, että kyseisessä organisaatiossa käytetty suunnitteluohjelma ei kyennyt hyödyntämään kyseistä formaattia. Eräs vastaaja sanoi, että virheillä ei ole merkitystä, jos kuitenkin pysytään oikeassa korkeusasemassa. 3D-viivaketjuja tarvitaan tämän vastaajan mukaan yleissuunnitelmavaiheessa lähinnä visuaalista vertailua varten. Rakenteet tiesuunnitelmavaiheessa kuitenkin tehdään ja sovitetaan väylälle varatulle alueelle itse. Kolmannen vastaajan mukaan 3D-viivaketjuja hyödynnetään tiesuunnitelmavaiheessa ja puutteet ja virheet aiheuttavat aina lisätyötä. Suunnittelijoiden vastaukset keskittyivät nykytilanteeseen ja heijastivat erilaisia käytössä olevia työskentelytapoja.

Tilajatahon mukaan virheet viivaketjuissa aiheuttavat aina lisätyötä jatkokäytössä. Virheiden vakavuusaste riippuu hankevaiheesta. Mitä lähemmäs rakentamisvaihetta mennään, sitä suurempi merkitys virheillä on. Viivasilppu aiheuttaa inframallin jatkokäytössä paljon lisätyötä ja tiedoston siivoamista. Viivaketjuilla on olemassa myös keskinäinen tärkeysero. Esimerkiksi päällysteen reunan taiteviivan tulisi olla virheetön, kun taas sivuojan takareunan viivaketjulla on pienempi merkitys. Määrälaskentaan vaikuttavat taiteviivat ovat tärkeitä ja ne tulisi olla alusta asti hyvälaatuisia. Yleissuunnitelmavaiheessa viivaketjujen yksittäiset virheet eivät ole koko prosessia pysäyttäviä.

Kolmioinnin virheillä ei suunnittelijoiden mukaan ole tässä hankevaiheessa merkitystä. Tarkentavissa vastauksissa mainittiin esimerkiksi tässä hankevaiheessa riittävän, kunhan kolmiointi on tehty ”sinne päin” ja ainoa mahdollinen merkitys on kohteen visualisointi tilajatahon toimesta. Eräs vastaaja mainitsi, että lähtöaineiston kolmioverkkoa ei lueta sisään suunnitteluohjelmistoon tiesuunnitelmavaiheessa ollenkaan, jos taiteviiva-aineistokin on saatavilla. Mahdollisia havainnekuvia varten voidaan aina tehdä uusi pintakolmiointi. Kolmioiden kokoon liittyen vastaajat mainitsivat suunnittelutason olevan niin karkea, ettei virheillä ole tässä vaiheessa merkitystä. Joissain tapauksissa kuitenkin liian pienet kolmiot saattavat aiheuttaa ongelmia luettaessa pintaa sisään toiseen suunnitteluohjelmistoon. Kolmion sivun 10 metrin maksimipituus koettiin osin ongelmalliseksi ja keinotekoiseksi. Esimerkiksi määrättäessä kolmion kateetin pituudeksi (taiteviivaa pitkin) 10 metriä hypotenuusasta muodostuu automaattisesti liian pitkä. Kolmioinnista yleensä mainittiin vielä, että ohjelmistojen tuottamissa kolmioinneissa esiintyy paljon virheitä, ja pintoja täytyy muokata ohjelman suorittaman kolmioinnin jälkeen. Pinnassa olevan yksittäisen reiän ”paikkaaminen” saattaa vaatia huomattavan suuren työmäärän. Tilajatahon näkökulmasta pintamallin kolmioinnin virheet eivät yleissuunnitelmavaiheessa haittaa. Kolmiointi tehdään hankevaiheesta toiseen siirtyessä uusiksi taiteviivoista. Jossain vaiheessa tulevaisuudessa pintoja on mahdollista hyödyntää. Kolmioinnin laadulla on myös merkitystä määrälaskentojen onnistumisen kannalta.

Yleissuunnitelmavaiheessa olevat viivojen ja pintojen epäjatkuvuuskohdat eivät haittaa inframallin jatkokäytössä. Liittymäalueet ovat suunnittelijoiden mukaan työläitä viimeistellä. Jätettäessä liittymäalueiden suunnitelmiin epäjatkuvuuskohtia tulisi kuitenkin varmistua liittymän olevan jatkossa toteutettavissa. Tällöin varmistetaan se, että myöhemmässä vaiheessa viivoja yhdistettäessä kaltevuudet pysyvät sallituissa rajoissa. Kuvassa 25 on esitetty esimerkki kiertoliittymästä, jossa on epäjatkuvuuskohtia. Eräs haastateltava totesi, ettei taiteviivoja ja pintoja hyödynnetä kuitenkaan jatkossa, joten epäjatkuvuudet eivät haittaa. Myöskään tilajatahon vastauksissa viivojen ja pintojen jatkuvuuden virheillä ei tässä vaiheessa todettu olevan olennaista merkitystä muuhun kuin määrälaskennan onnistumiseen. Malliselostuksessa tulisi kuitenkin olla kerrottu, missä suunnitelman kohdissa epäjatkuvuuksia esiintyy.



*Kuva 25. Esimerkki epäjatkuvuuskohdasta kiertoliittymän yhteydessä (InfraBIM 2015)*

Urakoitsijoiden työmaalla käyttämät ohjelmistot eivät tue Inframodel-määritysten mukaista vesihuollon verkostomallia. Tästäkin syystä sen hyödyntäminen on jäänyt vielä vähälle. Yleissuunnitelmavaiheessa vesihuollosta esitetään vain kuivatuksen periaatteet. Mallinnusvaatimuksissa mainitaan 2D-esittämisen riittävän tällöin. Haastatteluvastauksissa todettiin, ettei virheillä ole tässä vaiheessa merkitystä. Tiesuunnitelmavaiheessa vesihuolto suunnitellaan sijainteja myöten uudelleen. Tulevaisuuden hyödyntämisen mahdollisuudet nousivat kuitenkin esiin ja sitä varten ominaisuustiedot tulisi olla kunnossa alusta asti.

Yleissuunnitelmavaiheessa tärkeimpiä elementtejä ovat vaaka- ja pystygeometriat, joiden tulisi olla alusta asti virheettömiä. Myös taiteviiva-aineiston tulisi olla hyvälaatuisia. Aineiston ei tule sisältää viivasilppua. Pintamallin merkittävyys myöhempien hankevaiheiden kannalta on tässä vaiheessa vähäinen. Kolmioinnin tiheyteen sekä viivojen ja pintojen jatkuvuuteen ei kannata kiinnittää tarpeettoman paljon huomiota. Mallinnusvaatimusten mukaan yleissuunnitelmavaiheessa ei vaadita viivojen jatkuvuutta. Kuten aiemmin kappaleessa 2.1 mainittiin, suunnittelutarkkuuden ja sen esittämistarkkuuden tulee yleissuunnitelmavaiheessa olla järkevässä suhteessa keskenään ja on pyrittävä välttämään näennäistä piirustustarkkuutta. Yleissuunnitteluvaiheessa myös lähtötiedot ovat usein likimääräisiä ja ne tarkentuvat myöhemmissä suunnitteluvaiheissa. Määrälaskentaan ja kustannuksiin vaikuttavat asiat tulee kuitenkin huomioida jo yleissuunnitteluvaiheessa. Niiden myötä viivojen ja pintojen jatkuvuuden tulee olla riittävän tasoisia. Ylimääräiset reiät pinnoissa eivät ole inframallin jatkokäytön kannalta haitallisia. Pintamallin yhteydessä tulee kuitenkin varmistua siitä, että se palvelee käyttötarkoitustaan ja mahdollistaa myös suunnitteluratkaisun visuaalisen tarkastelun. Vesihuollosta esitetään vaatimusten mukaan vain kuivatuksen periaatteet. IM-muotoinen mallintaminen materiaalimäärittelyineen ja sijainteineen ei ole yleissuunnitelmavaiheessa tarkoituksenmukaista.

## 4.2 Virheet tiesuunnitelmavaiheessa

Tiesuunnitelmavaiheen mallinnusvirheitä ja -puutteita pohdittiin näkökulmasta, jossa kyseistä suunnitelmamallia käytetään lähtöaineistona rakennussuunnitelmavaiheessa. Vaaka- ja pystygeometrioiden virheistä kaikki suunnittelutahon haastateltavat olivat sitä mieltä, että virheet aiheuttavat lisätyötä, mutta eivät pysäytä prosessia. Niitä hyödynnetään lähtöaineistosta, joten virheillä on merkitystä. Haastatteluissa kävi ilmi, että kahden vastaajan käyttämällä eri ohjelmistotoimittajien tuotteilla oli ongelmia geometrioiden kirjoittamisessa IM3-formaattiin. Toisessa tapauksessa ongelma koski suuntakulmia ja toisessa tapauksessa pystygeometriaan tuli selittämättömiä katkoja. Tilaajatahon edustajat painottivat vaatimusta virheettömyydestä geometrioiden osalta. Virheet geometrioissa saattavat aiheuttaa jopa aluerajojen loukkauksia, joka on lainrikkomus. Kuten taustasuudessa mainittiin, tiesuunnitelman hyväksymisen jälkeen suunnitelmassa osoitetut alueet voidaan lunastaa ja suunniteltu maantie voidaan rakentaa.

3D-viivaketjujen määritysten ja muiden niihin liittyvien virheiden osalta kaikki aiheuttavat suunnittelijalle lisätyötä. Ongelmat eivät tässä vaiheessa ole vielä niin vakavia kuin työmaalla, mutta haitta-aste nousee toteutusvaihetta kohti mentäessä. Määrälaskentaan vaikuttavien virheiden vaikutus korostuu.

Pintamalleja hyödynnetään siirryttäessä tiesuunnitelmavaiheesta rakennussuunnitelmavaiheeseen enemmän kuin yleissuunnitelmavaiheesta tiesuunnitelmavaiheeseen siirryttäessä. Eräs vastaaja totesikin vastauksessaan, että hyvälaatuisesta pintamalliaineistosta on selkeää hyötyä. Virheiden painoarvoa ei kuitenkaan korostettu, vaan haastatteluvastaukset kohdentuivat kahteen keskimmäiseen vaihtoehtoon. Tiesuunnitelmavaiheessa väylän kaltevuuksia ja korkeuksia ei ole vielä suunniteltu loppuun saakka, joten niihin tulee vielä muutoksia rakennussuunnitelmavaiheessa. Pintamallit tarkastetaan ja käsitellään uudelleen joka tapauksessa. Kolmioissa esiintyy yleisesti paljon virheitä. Suunnittelualueen ulkopuolelle ”karannut” kolmiointi koettiin myös erääksi ongelmatyypiksi. Kolmioiden sivujen pituuksien merkitys ei ole huomattava. Hieman nykyistä tiheimmän kolmioinnin tarve nousi kuitenkin haastatteluissa esiin. Joskus on esimerkiksi ilmennyt tarvetta tehdä taiteviivoihin välipisteitä tiheimpää kolmiointia varten, mikä on aiheuttanut ongelmia. Tilaajatahonkaan kannalta kolmioinnin virheet eivät ole tiesuunnitelmavaiheessa merkittäviä. Pintamallien osuus määrälaskentoihin tulee kuitenkin pitää mielessä.

Viivojen ja pintojen jatkuvuudessa olevat virheet eivät ole ongelmallisia tiesuunnitelmavaiheessakaan. Ne aiheuttavat jossain määrin lisätyötä, mutta eivät haittaa aineiston jatkokäytössä. Eräs tiesuunnitelmavaiheessa erittäin tärkeä esille nostettu asia oli kuitenkin aluerajausten riittävä tarkkuus. Toisena tärkeänä asiana esille nousi määrälaskenta. Viivojen ja pintojen epäjatkuvuuskohtat eivät saa vaikuttaa määrälaskentojen onnistumiseen. Liittymiä ei tässä vaiheessa kannata tehdä jatkuviksi. Eräs vastaaja mainitsi,

että kaikkia liittymiä ei hänen kokemustensa mukaan tehdä suunnittelijan toimesta viivaketjuiltaan jatkuviksi missään vaiheessa.

Vesihuollon putkiin ja rakenteisiin liittyvät virheet aiheuttavat lisätyötä aineiston jatkokäytössä. Vastaukset tähän kohtaan koettiin kuitenkin hypoteettisiksi, sillä kokemusta hyödyntämisestä ei vielä ole. Metatietona tulisi olla saatavilla putkiin ja rakenteisiin liittyvien lähtötietojen tarkkuus. Tiedon ei välttämättä tarvitse olla tarkkaa tässä vaiheessa, mutta tarkkuuden taso pitäisi olla tiedossa. Muuten lähtötietoa ei voi hyödyntää. Tiesuunnitelmavaiheessa kaltevuudet tulisi olla määritetty kohdalleen. Esimerkiksi salaojapinnoissa ne voivat olla hyvinkin pieniä ja tarkkuuden tulisi olla silloin suuri. Vesihuollon putkien ja niihin liittyvien rakenteiden mallinnuksen hyödynnettävyys seuraavassa hankevaiheessa olisi suurimmillaan etenkin ST-urakkamuotoa käytettäessä.

Vaaka- ja pystygeometriat ovat tässäkin hankevaiheessa tärkeimmät elementit kysymyskohtien tärkeyttä keskenään vertaillessa. Myös vesihuollon putkien ja rakenteiden suunnitelmien virheettömyys nousi esille. Pintamallien kolmioinnin virheettömyyteen liittyvät mielipiteet hajaantuivat. Eräs vastaaja listasi ne vähiten tärkeäksi. Saman vastaajan mukaan pintamallit tehdään joka tapauksessa aina uusiksi eikä lähtöaineistona saatua pintamallia hyödynnetä. Eräs toinen vastaaja nosti pintamallien virheettömyyden kuitenkin tärkeimpien asioiden joukkoon varsinkin määrälaskennan ja havainnollistamisen kannalta.

Väyläsuunnitelmavaiheessa inframallien teknisen laadukkuuden merkitys kasvaa kaikissa kategorioissa osin suurpiirteiseen yleissuunnitteluun nähden. Tässä vaiheessa suunnittelu on toteutukseen tähtäävää. Väyläsuunnitelman merkityksen kannalta on erityisesti kiinnitettävä huomiota aluerajauksiin vaikuttaviin elementteihin ja niiden sijaintiin. Väylärakenteista ylimmän yhdistelmäpinnan tulee tässä vaiheessa sisältää kaikki taiteviivat, joissa pinnan kaltevuudessa tapahtuu muutoksia. Kaikkia rakennepintoja ei kuitenkaan mallinneta kuin merkittävimmistä teistä ja kaduista sekä kaikista radoista. Siirtymärakenteita ei vielä tässä vaiheessa mallinneta. Rummut, putket ja kaivot tulee olla inframallissa mukana määrälaskentaa ajatellen. Laskuojat mallinnetaan niin, että kuivatuksen toimivuus varmistuu. Katusuunnittelun erityispiirteenä asemakaava-alueella tulee myös huomioida maanalainen infra. Viivojen jatkuvuudessa sallitaan alle yhden metrin epäjatkuvuuskohdat muualla kuin ylimmässä yhdistelmäpinnassa.

### **4.3 Virheet rakennussuunnitelmavaiheessa**

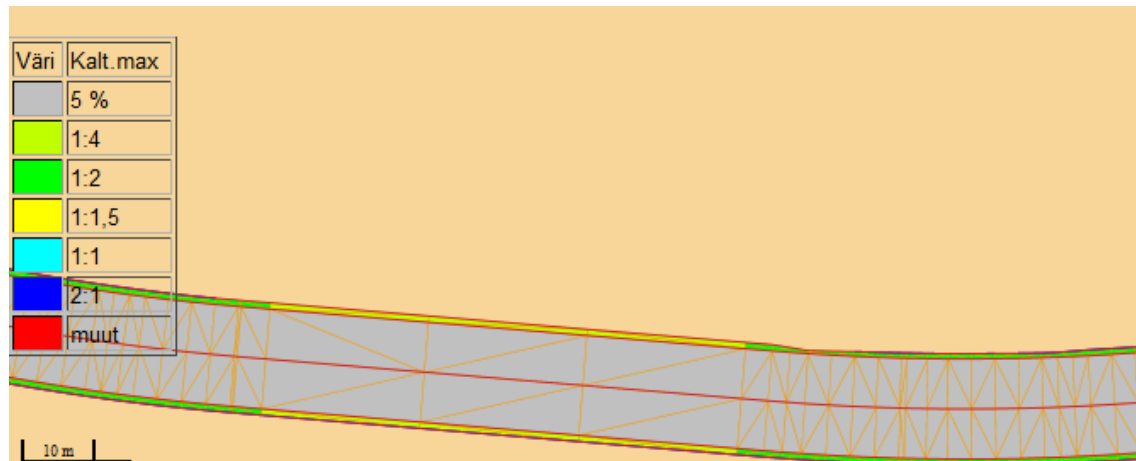
Virheiden haitallisuus kasvaa siirryttäessä kohti urakoitsijan näkökulmaa. Suunnittelijalta saatu inframalliaineisto tulisi olla toteutuskelpoista. Vaaka- ja pystygeometrioissa olevat virheet ovat tässä vaiheessa erittäin merkittäviä. Virheet saattavat pysäyttävää koko prosessin, jolloin aineisto palautuu suunnittelijalle. Vähintään ne aiheuttavat lisätyötä. Inframalliaineisto tarkastetaan urakoitsijan toimesta ennen sen Koneohjaukseen viemistä. Siinä vaiheessa muokkaaminen on vielä mahdollista. Koneohjauksessa havai-

tut virheet pysäyttävät prosessin. Virheet ovat vakavia etenkin terää ohjaavissa järjestelmissä, jossa koneen ohjaus seuraa taiteviivaa. Kaivavien koneiden yhteydessä virheiden vakavuus ei ole niin suuri. Virheitä geometrioihin voi suunnittelujärjestelmissä ilmaantua esimerkiksi desimaalilukujen pyöristysten yhteydessä. Nollapituiset elementit ja viivasilppu ovat geometrioissa yleisiä. Varsinkin vaakageometrioissa on esiintynyt paljon virheitä. Kyseessä ovat usein ohjelmistoista johtuvat ongelmat, joita voi aiheutua esimerkiksi tielinjan kopioinnista. Eräs vastaaja mainitsi työmaan ohjelmien antavan viivasilpusta virheilmoituksia, mutta ne eivät aiheuta sen enempää haittaa. Tilaajan näkökulma haastatteluissa oli, että virheitä geometrioissa ei tule sallia.

3D-viivaketjuissa olevat virheet aiheuttavat lisätyötä, mutta eivät kuitenkaan pysäytä prosessia. Erään haastateltavan arvion mukaan noin 90 % työmaalle tulevasta malliaineistosta aiheuttaa jonkinlaista lisätyötä ennen sen hyödyntämistä. Yleensä virheet on kuitenkin helppo havaita ja korjata. Inframalleissa oleva taiteviiva-aineisto ei aina vastaa alkuperäistä rakennussuunnitelmaa. Taiteviivojen pituudet tulisi olla sopivia, sillä liian lyhyet ja pitkät viivat hankaloittavat aineiston jatkokäyttöä. Myös viivasilppu aiheuttaa yleisesti ongelmia, vaikkakaan ei pysäytä prosessia. Erään vastaajan mukaan koneohjausjärjestelmät kyllä jaksavat nykyisin käsitellä aineistoa viivasilpusta huolimatta.

Pintamallien kolmioinneissa on hyvin yleisesti virheitä. Ne voivat pahimmillaan pysäyttää koko prosessin, mutta ainakin ne aiheuttavat lisätyötä. Aineistoa korjataan yleisesti urakoitsijan taholta itse, jotta siitä saadaan koneohjaukseen kelpaavaa. Erään haastateltavan mukaan kolmiointi menee aina uusiksi. Ongelmia aiheuttaa usein myös se, että kolmioitu aineisto ei vastaa taiteviiva-aineistoa eli aineistossa on ristiriitoja. Pinnoissa olevat pienet reiät eivät kuitenkaan välttämättä haittaa. Toisaalta ongelmia esiintyy myös niin, että kolmiointi menee pinnan todellisen reiän ylitse. Kolmioinnin rajauksissa esiintyvät sisäkulmien ”kainalo-oikaisut” saattavat aiheuttaa epäselvyyksiä. Myös kolmioinnissa olevia päällekkäisiä pisteitä esiintyy joissain tapauksissa. Ne ovat ongelmallisia, sillä kaivinkoneen ohjausjärjestelmään tulee tällöin ristiriita. Erään vastaajan mukaan koneohjausjärjestelmät kuitenkin osaavat käsitellä tuplapisteitä ja päällekkäisiä pisteitä. Pienten virheiden havaitseminen saattaa olla hankalaa. Tätä kautta ne ovat ongelmallisia ja joskus virheistä työläimpiä.

Liian pieni kolmiointi saattaa olla ongelmallinen. Liian tiheä aineisto saattaa jopa kaataa koneohjausjärjestelmän ja pysäyttää prosessin. Käytännön minimiksi sivun mitalle eräs vastaaja mainitsi 0,5 metriä. Liian pitkiä sivuja ei kuitenkaan koeta ongelmaksi ja todellisissa tilanteissa jopa 20 metriä saattaa olla sopiva sivun pituus. Kuvassa 26 on esimerkki eräästä rakennussuunnitelmavaiheen inframallista, jossa on kolmioverkkoa yli 20 metrin pistevälillä. Ote on jakavasta kerroksesta. Sopiva sivun pituus normaalitilanteissa on 4-5 metriä. Virheet kolmioinnissa ovat erään vastaajan mukaan aiheuttaneet esimerkiksi tien reunan sijoittumisen useita senttejä väärään korkoon.



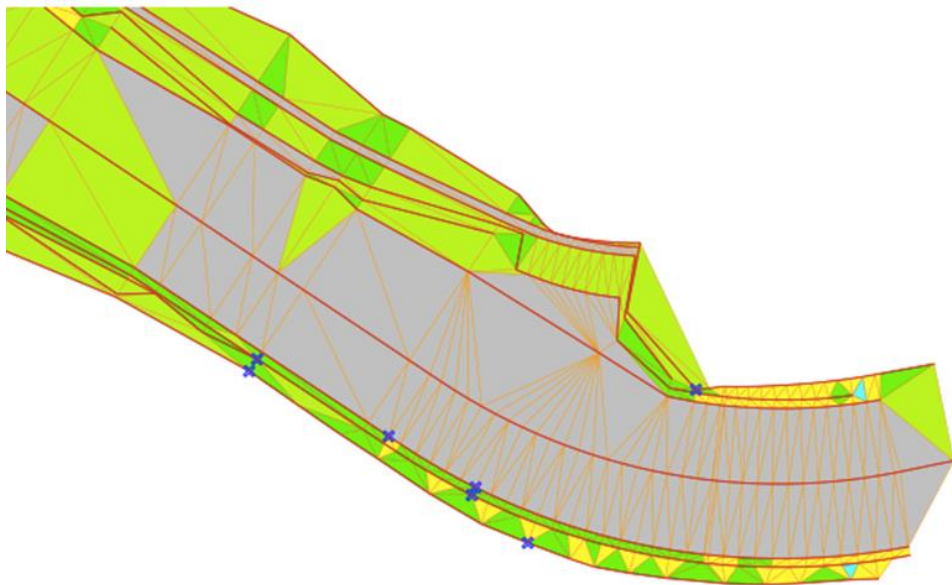
Kuva 26. Rakennussuunnitelmavaiheen aineistoa, jossa kolmiointi on osittain harvaa

Viivojen ja pintojen jatkuvuuteen liittyen on alalla olemassa erilaisia näkemyksiä. Virheet ja puutteet jatkuvuudessa saattavat pysäyttää prosessin. Ne voivat myös olla vähemmän vakavia ja aiheuttaa lisätyötä, tai yksittäisten virheiden muodossa olla haittaamatta aineiston jatkokäytössä. Viimeksi mainittuja voivat olla esimerkiksi pintojen aukot. Eräs näkemys on, että suunnittelijan ei ole järkevää mallintaa kaikkea loppuun asti viimeistellysti. Myös siirtymäkiilojen mallintaminen on tästä näkökulmasta suunnitteluvaiheessa turhaa. Puutteelliset kohdat täytyy tällöin kuitenkin korjata jatkuviksi urakoitsijan toimesta ennen rakentamisvaihetta. Vastakkainen näkemys onkin se, että kaikki paikat liittyvät mukaan lukien pitää joka tapauksessa mallintaa loppuun asti ennen rakentamista. Jos liittymäkohtiin on jätetty suunnittelijan toimesta aukkoja, saatetaan törmätä vastuukysymyksiin rakentamisen aikana tapahtuvien virheiden jälkeen. Joissain paikoissa voidaan sallia taiteviivojen epäjatkuvuuskohtia, kuten taiteviivan nimikekoodin muutoskohdissa. Väylän reuna-alueilla voi esiintyä tällaisia tilanteita. Rakennetyyppien vaihtumakohdat eivät kuitenkaan työmaan näkökulmasta ole ongelmallisia viivojen jatkuvuuden aukkojen kannalta, sillä koneen kuljettaja osaa tehdä asianmukaiset siirtymäkiilat itsekin tapauskohtaisesti. Virhetyyppinä ohjelmistojen kirjoittamat ylimääräiset viivanpätkät ja toisensa leikkaavat viivat ovat osoittautuneet ongelmallisiksi eivätkä automaattiset korjaukset tällaisille virheille ole aina mahdollisia.

Tilajatahon näkökulmasta liittymien mallintaminen tulisi viimeistellä rakennussuunnitelmavaiheessa suunnittelijan toimesta. Erään vastaajan mukaan suunnittelun taholta toivotaan projekteissa toistuvasti helpotuksia mallintamiseen esimerkiksi liittymien osalta. Ongelmia niiden kohdalla aiheuttavat suunnitteluohjelmistojen puutteet. Eräs vastaaja painotti, että rakennetyypin vaihtumakohdat tulisi olla myös viimeisteltynä suunnitteluvaiheessa, sillä niillä on määrälaskennan kannalta suuri merkitys. Liittymissä eivät kuitenkaan pienet epäjatkuvuuskohdat haittaa, ellei niillä ole määrälaskentaan suurta vaikutusta. Tarkoitukselliset epäjatkuvuuskohdat tulisivat olla mainittuna malliselostuksissa.

Vesihuoltoon liittyvien putkien ja rakenteiden mallintamisesta IM-määrityksen mukaisesti ei urakoitsijoillakaan ole vielä paljon kokemusta, sillä ohjelmistot eivät tue vielä niiden käyttöä. Rakenteiden ominaisuustietojen ja määrittelyjen virheillä ja puutteilla ei kuitenkaan jatkossakaan ole suurta merkitystä. Mallinnuksen käyttöönotto on ajatuksena kannatettava, mutta arjen todellisuus työmaalla on vielä tällä hetkellä kaukana sen hyödyntämisestä. Pisteiden ja viivojen käsittelyn käsitteleminen katsotaan helpommaksi. ST-hankkeissa mallinnuksen hyödyntäminen voi olla käytännössä helpompaa, kun malliaineistoa voi siirrellä suunnittelun ja toteutuksen välillä. Kaivojen mallinnus voisi tuoda etuja materiaalihankinnan kannalta. Putkien ja rakenteiden sijainti- ja korkeustiedot ovat kuitenkin tärkeitä ja virheet niissä saattavat olla jopa prosessin pysäyttäviä. Mallinnus voi olla myös hyödyllistä esimerkiksi visuaalisen tarkastuksen näkökulmasta. Näin työmaalla voidaan todeta, että kaikki menee InfraRYL:n mukaisesti. Virheet voidaan samalla korjata ennen kaivamista. Vesihuollon rakenteiden mallintamisesta voi olla hyötyä myös ylläpito näkökulmasta, vaikka työmaa ei vielä niitä paljon pysty hyödyntämään.

Osioiden tärkeysjärjestyksestä tuli geometrioiden lisäksi selkeästi esille viivojen ja pintojen jatkuvuus. Aikaisempiin hankevaiheisiin nähden kyseinen kohta koettiin selvästi tärkeämmäksi. Esimerkkinä viivojen epäjatkuvuuskohtista kolmioidussa pintamallissa on kuva 27, jossa epäjatkuvuuskohdat on korostettu rasteilla BimOne Checker-työkalun karttaesityksen avulla. Myös 3D-viivaketjujen kohdalle tuli haastatteluissa tärkeysmerkintöjä. Nämä koskivat viivasilpun aiheuttamia ongelmia sekä taiteviivojen merkitystä määrälaskennassa ja havainnollistamisessa. Eräs vastaaja sijoitti vesihuollon putkien ja järjestelmien sijainti- ja korkeustiedot tärkeysjärjestyksessä heti geometrioiden virheetömyyden jälkeen seuraavaksi.



*Kuva 27. Viivojen epäjatkuvuuskohtia rasteilla havainnollistettuna BimOne Checker-työkalun karttaesityksessä*

Rakennussuunnitelmavaiheen aineiston tulee olla toteutukseen ja työkoneohjaukseen kelpavaa, mutta inframallilla on myös muita käyttötarkoituksia. Tässä vaiheessa kaikki tekniset virheet vaikuttavat toteuttamisen onnistumiseen, joten inframallilta tulee vaatia virheettömyyttä. Erityishuomiota vaativia kohteita ovat taiteviivojen ja pintojen jatkuvuus sekä kolmioverkkojen laatu. Niissä on yleisesti paljon virheitä. Viivasilppu ja siksak-viivat tulee korjata suunnittelijan taholta. Vesihuollon rumpujen, kaivojen ja putkien määrittelyjä ei vielä hyödynnetä, mutta ohjelmistojen kehittyessä ne yleistynevät ja niiden tarkistaminen on tulevaisuuden kannalta tärkeää.

Mallinnusvaatimusten mukaan siirtymäkiilat tulee mallintaa, jos niiden tarkka sijainti on tiedossa suunnitteluvaiheessa. Muissa tapauksissa niiden mallinnus voidaan tehdä työmaalla. Kaikkien viivojen ja pintojen tulee olla toteutusmallissa mahdollisimman jatkuvia. Tämä koskee myös liittymäalueita, rampeja ja rakennetyypin vaihtumiskoh-  
tia. Käytännöt näiden osalta vaihtelevat vielä ja hankekohtaisia poikkeuksia tehdään yleisesti. Nykyiset työkalut eivät mahdollista automaattista tarkistamista eivätkä pisteyttämistä. Näin ollen ne jäävät käytännössä visuaalisen tarkastelun varaan.

#### **4.4 Muita inframallien virheitä ja puutteita**

Haastatteluissa tuli esille yleisellä tasolla se, että inframallien laadussa on vielä hyvin paljon virheitä ja puutteita. Ne aiheuttavat ristiriitoja ja ylimääräistä tarkistamista sekä korjailua ja ajanhukkaa. Yksikin havaittu virhe aiheuttaa yleensä sen, että koko suunnitelma pitää tarkistaa. Havaittuja tiedostotason virhetyyppejä on havaittu tiedostojen nimeämisissä ja yleisesti esiintyvissä otsikkotietojen puutteissa. Ongelmalliseksi on koettu väyliin liittyvien suunnitelmamallien pilkkominen suureksi määräksi tiedostoja, sillä se hankaloittaa merkittävästi niiden käsittelyä. Jokaisesta pinnasta on oma tiedostonsa ja lisäksi inframalli joudutaan pituussuunnassa usein käsittelemään useassa osassa koneohjausjärjestelmien puutteellisen kapasiteetin takia. Tällöin koetaan koneohjausjärjestelmien olevan liian ohjaavassa osassa koko prosessia ajatellen. Lähtötietona saatavan inframallitiedoston sisällön tarkkuustason jääminen epäselväksi on koettu myös ongelmaksi. Ongelma ei itsessään ole huono tarkkuus, vaan tiedon puute siitä, kuinka tarkkaan suunnittelu on missäkin tapauksessa tehty.

IM-formaattiin liittyen on havaittu puute maapohjan materiaalimääritysten osalta. Tällöin joudutaan ylläpitämään rinnakkaista aineistoa inframallin ohessa. Myös puutteelliset määritykset varusteiden ja laitteiden osalta on koettu ongelmaksi. Näitä ovat esimerkiksi yleissuunnitelman tekoon olennaisina osina kuuluvat istutukset, valaistus ja liikennemerkkit. IM-formaatin uusi 3.1-versio on kuitenkin osin parantamassa tilannetta näiden osalta.

Suunnitteluohjelmistoihin liittyviä ongelmia esiintyy yleisesti IM-formaatissa olevien tiedostojen sisäänluvussa ja myös niiden uloskirjoituksessa. Uloskirjoituksessa saattaa tapahtua suunnittelijalle hyvin vaikeasti paikannettavia virheitä. Erästä ohjelmistoa

käytettäessä tapana on ennen lopullisen XML-tiedoston valmistumista suunnitelman muokkaaminen kahdessa muussa ohjelmassa. Siinä yhteydessä tiedostosta siivotaan ylimääräiset viivat ja siihen lisätään kolmiointi ja otsikkotiedot. Ohjelmistoissa esiintyy ongelmia myös esimerkiksi viivojen suuntien IM-koodauksessa sekä tuplapisteiden ja päällekkäisten pisteiden ilmestymisenä. Taiteviivoihin saattaa myös tulla vaikeasti havaittavia ennalta arvaamattomia katkoja. Eräässä ohjelmistossa esiintyy ongelmia, jotka aiheuttavat epävastaavuutta pinnassa ja siihen liittyvissä taiteviivoissa. Eräässä ohjelmistossa suunnittelijan täytyy käydä manuaalisesti lisäämässä projektikohtaiset otsikkotiedot jokaiseen tiedostoon erikseen.

Tiedostojen sisällön virheitä oli havaittu usein viivojen, pisteiden ja pintojen nimeämisten yhteydessä. Tiedostoissa esiintyy usein ylimääräisiä tai toisiaan risteäviä taiteviivoja sekä sik-sak-tyyppisiä viivoja esimerkiksi ojien pohjilla. Niiden korjaamisesta aiheutuu ylimääräistä työtä. Rakennetyyppien muutoskohdissa sekä pitkittäisten ja poikittaisten siirtymäkiilojen yhteydessä esiintyy usein ongelmia. Varsinkin kalliopinta ja sen sijaintitiedon epätarkkuus maaperässä aiheuttaa ongelmia siirtymäkiilojen kanssa. Eräs haastateltava toi esille eräänä mahdollisena ratkaisuna kalliopintojen pois jättämisen väyläsuunnitelmista. Tällöin suunnittelija suunnittelisi väylärakenteen pohjan ja rakenteet väylän maalaatikkoon. Kallion pinta käsiteltäisiin työmaalla tapauskohtaisesti sen esiintymisen mukaan. Tällöin voitaisiin välttää esimerkiksi suuri osa suunnitelmissa esiintyvistä viivasilpuista.





























Suunnittelussa aiheutuvan ylimääräisen lisätyön määrään liittyvissä vastauksissa nousi esille useita muitakin eri virhe- ja ongelmatyyppejä. Tällaisia ovat esimerkiksi seuraavat:

- Liian pitkät hakemistopolut (Windows rajoittaa pituutta, jäljitettävyys katoaa)
- Lähtötietojen yhdistely eri formaateista, lähtötietopuutteet
- Tulkinnanvaraisuudet, kuten risteävät viivat
- Vesihuollon tarkentaminen ja sen virheet
- Liittymien viimeistely, liittyvien teiden rakenteet
- Siirtymäkiilat, pohjatietojen poikkeamat
- Virheet vaaka- ja pystygeometrioissa
- Ylimääräiset taiteviivat, sik-sak-viivat, viivasilppu ja epäjatkuvuudet
- Aineistojen (mallitiedostojen) yhdistäminen
- Tarkistukset
- Ristiriidat suunnitelmissa
- Otsikkotietojen lisäämiset ja korjaamiset

Vastaajat kokivat hankevaiheen vaatimukseen nähden ylimääräisen suunnitteluaineiston yleisesti hyödylliseksi. Sitä ei välttämättä aina hyödynnettäisi, mutta hyötyä voisi olla ainakin määrien laskemisessa, eri työvaiheiden arvioinnissa, toteutuksen suunnittelussa, aikataulutuksessa sekä hahmottamisessa ja visualisoinnissa.

## 4.5 Virheiden ja puutteiden merkittävyys hankevaiheittain

Asiantuntijoiden mielipiteet haastatteluissa olivat joidenkin aiheiden kohdalla yhteneväiset, kun taas joissain asioissa mielipiteet hajaantuivat. Selkeästi yhtä mieltä oltiin esimerkiksi vaak- ja pystygeometrioiden merkityksellisyydestä eri hankevaiheissa. Samoin pintamallien kolmiointien rajauksiin liittyvissä asioissa mielipiteet eivät vaihdelleet. Toisaalta esimerkiksi kolmioiden kokoon liittyvä kysymys jakoi mielipiteitä kaikkiin hankevaiheisiin liittyen. Myös vesihuollon putkiin ja niihin liittyviin rakenteisiin liittyvät kysymykset jakoivat mielipiteitä. Vastauksissa heijastuivat jonkin verran nykyiset vakiintuneet prosessit ja työtavat. Eri osakokonaisuuksien merkittävyys hankevaiheittain haastattelujen perusteella on koottu kuvaan 28, jossa osakokonaisuuden merkittävyyttä kussakin hankevaiheessa kuvataan eri värein.

Osakokonaisuus	YS	TS	RS
Vaakageometriat			
Pystygeometriat			
3D-viivaketjut			
Kolmioverkko, rajaukset ja reiät			
Kolmioverkko, tuplapisteet			
Kolmioverkko, kolmioiden koko			
Taiteviivojen ja pintojen jatkuvuus			
Vesihuolto, määrittelyt ja ominaisuudet			
Vesihuolto, sijainti ja korkeus			
			

Kuva 28. Inframallin osakokonaisuuksien merkittävyys hankevaiheittain

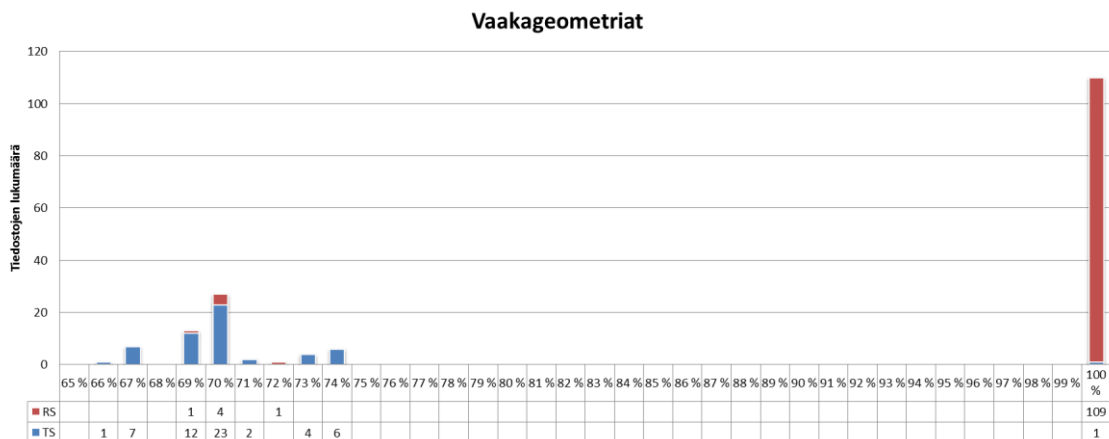
## 4.6 Inframallien hyväksymiskriteerit

Tällä hetkellä inframallien perus- ja projektitiedoilta sekä geometrioilta vaaditaan tilaajan taholta 100 % oikeellisuutta, mutta muiden piste-, viiva- ja pintamalliaineistojen hyväksymiskriteerejä ei ole vielä määritetty. Lähtökohta määrittämiseen on tällä hetkellä BimOne Checker-palvelussa käytössä oleva prosenttiarviointi, jossa arviointi tapahtuu virheellisten tai puutteellisten määreiden osuutena määreen pakolliseen

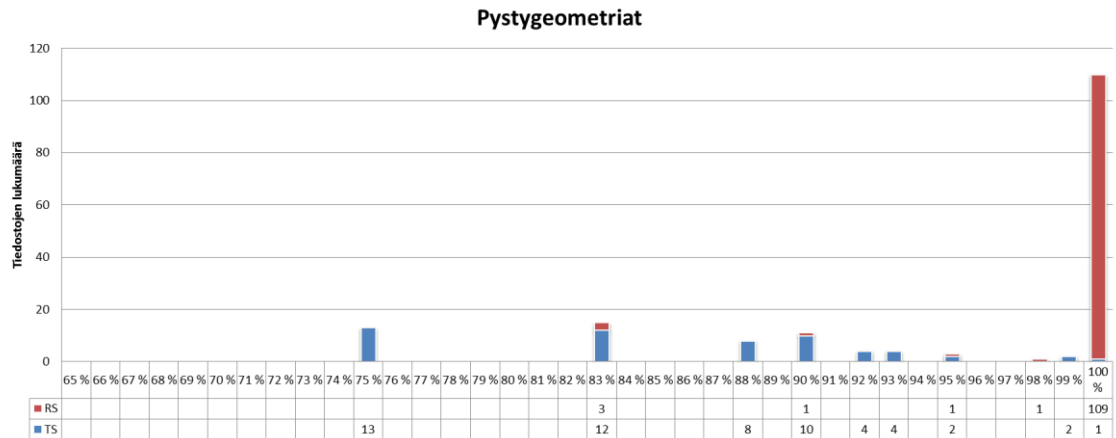
kokonaislukumäärään. Tarkistelun tueksi on tutkittu osakokonaisuuksittain Liikenneviraston ja ELY-keskusten saatavilla olevan inframalliaineiston nykyistä laatua.

Vaaka- ja pystygeometrioiden laatu oli rakennussuunnitelmavaiheen suunnitelmissa pääosin hyvää, mutta tiesuunnitelma-aineiston laadussa esiintyi puutteita. Rakennussuunnitelmavaiheen aineiston tiedostoista 115:ssä oli vaaka- ja pystygeometrioita. Vaakageometrioiden osalta niistä 109 tiedoston tulos oli BimOne Checkerin käyttämän suhteellisen laskutavan mukaisesti 100 % ja vain kuudessa tiedostossa esiintyi puutteita. Tiesuunnitelma-aineiston osalta vain yksi 56 tiedostosta oli vaakageometrian osalta virheetön. Muiden tiedostojen tulokset asettuivat 65–74 % välille. Pystygeometrioiden osalta täysin virheettömien tiedostojen osuus oli sama kuin vaakageometrioiden tapauksessa. Virheellisten tiedostojen saamat pistemäärät olivat kuitenkin parempia kuin vaakageometrioiden vastaavat pistemäärät ja ne asettuivat 75–99 % välille. Tiedostojen lukumäärät ja niiden saamat pistemäärät on havainnollistettu kuvissa 29 ja 30, joissa rakennussuunnitelmavaiheen tiedostojen osuus on merkitty punaisella värillä ja tiesuunnitelmavaiheen tiedostojen osuus sinisellä. Virheet geometrioissa aiheutuvat viiteaineiston osalta siitä, että erään suunnitteluohjelmiston kyky uloskirjoittaa IM3-formaatin mukaista geometria-aineistoa on joidenkin määritysten osalta puutteellinen. Vaakageometrioissa ongelma koskee viivojen suuntakulmien määrittäystä ja pystygeometrioissa alkupaalun määrittäystä. Ongelmat ovat systemaattisia.

Geometrioiden osalta inframalliaineiston laadussa on sekä haastattelujen että viiteaineiston perusteella vielä puutteita, vaikka kyseisten osakokonaisuuksien tärkeys on alalla selkeästi haastattelujen perusteella tiedossa. Vaaka- ja pystygeometria-aineiston tärkeys puoltaa virheettömyyden vaatimista jatkossa.

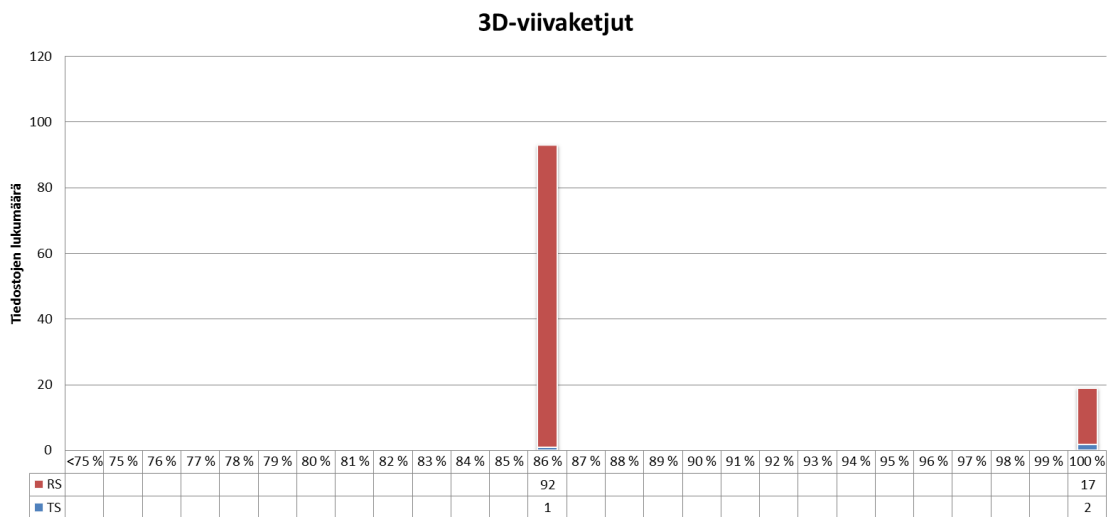


Kuva 29. Viiteaineiston tiedostojen laatu vaakageometrian osalta



Kuva 30. Viiteaineiston tiedostojen laatu pystygeometrian osalta

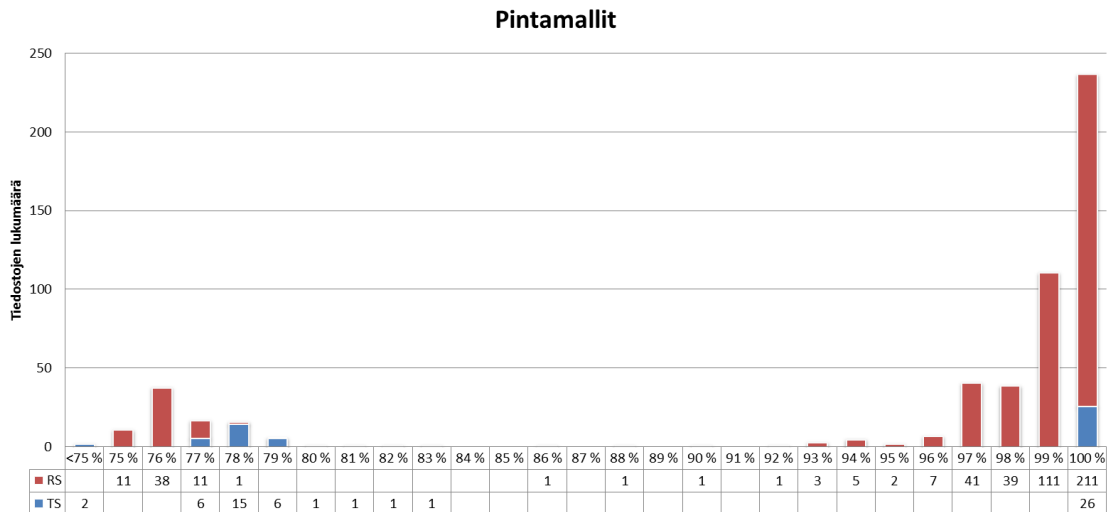
Viivaketjuja sisälsi 112 tarkasteltua tiedostoa. Niistä 109 oli rakennussuunnitelmavaiheen ja kolme tiesuunnitelmavaiheen tiedostoja. Laadun osalta 19 tiedoston tulos oli 100 % ja muiden 93 tiedoston tulos oli 86 %. Laatuutteiden syy näiden osalta oli ohjelmistoperäinen systemaattinen virhe. Se koski puuttuvia viivaketjujen määreitä, joita ovat viivaketjun pituus, alkupaalu, alkupiste, loppupiste ja välipisteet. Tulosten jakautuminen hankevaiheittain on esitetty kuvassa 31.



Kuva 31. 3D-viivojen laatu viiteaineistossa hankevaiheittain

Tutkitusta aineistosta 543 tiedostoa sisälsi kolmioimalla muodostetun pintamallin. Niistä 59 oli tiesuunnitelmavaiheen ja 484 rakennussuunnitelmavaiheen tiedostoja. Pintamallien laadun mittaustuloksena kokonaisuudessaan 80 % aineistosta sai tulokseksi

96 % tai sitä suuremman. Täydet 100 % sai tuloksekseen 44 % aineistosta. Huonoimmat yksittäiset tulokset saivat kaksi tiesuunnitelmavaiheen tiedostoa, joiden laatuarviointi antoi tuloksiksi 51 %. Tulosten jakautuminen eri hankevaiheiden tiedostojen kesken on esitetty kuvassa 32. Taulukossa 4 on havainnollistettu kuinka suuri osuus viiteaineiston pintamallitiedostoista ylittää tulospisteet välillä 91–100 %.

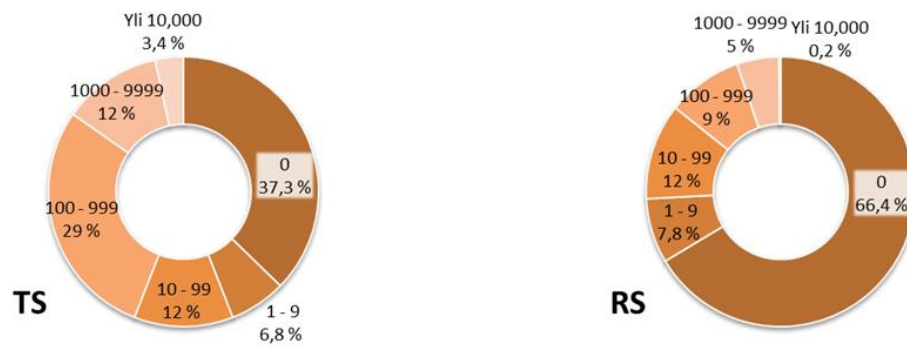


Kuva 32. Pintamallien laatu viiteaineistossa hankevaiheittain

Taulukko 4. Asteikon yläpäässä olevien tulosten ylittäneiden pintamallitiedostojen osuus kaikista viiteaineiston pintamalleista

Tulos	91 %	92 %	93 %	94 %	95 %	96 %	97 %	98 %	99 %	100 %
Tuloksen ylittäneiden tiedostojen osuus	82,1 %	82,1 %	82,0 %	81,4 %	80,5 %	80,1 %	78,8 %	71,3 %	64,1 %	43,6 %

Kaikkia pintamallien virhetilanteita ei pystytä tulkitsemaan matemaattisesti automaattikan avulla. Laadun tarkastelu edellyttäisi myös tarkastustyökalun tuottaman karttaesityksen visuaalista tulkintaa. Puutteet nykyisen kriteeristön mukaisessa pintamallien arvioinnissa johtuivat pääasiassa pinnoissa esiintyneistä tuplapisteistä. Tuplapisteet ovat pintamallin pisteitä, joilla on identtiset koordinaatit. Päällekkäisiä pisteitä ei sen sijaan esiintynyt. Tuplapisteitä esiintyi tiesuunnitelmavaiheen pintamalleissa enemmän kuin rakennussuunnitelmavaiheessa, jossa yli 66 % tiedostoista ei sisältänyt yhtään tuplapistettä. Tiesuunnitelmavaiheessa vastaava osuus oli 37 %. Tiesuunnitelmavaiheen pintamalleista yli 44 % sisälsi vähintään 100 tuplapistettä kun vastaava osuus rakennussuunnitelmavaiheen pintamalleista oli 14 %. Tuplapisteiden määrien osuudet eri hankevaiheiden pintamalleissa on havainnollistettu kuvassa 33.



Kuva 33. Tuplapisteiden määrien osuudet eri hankevaiheiden pintamalleissa

Myös mallinnettuja vesihuollon verkostoja oli viiteaineistossa kahden projektin ja yhteensä yhdeksän tiedoston verran. Muilta osin niiden laatu oli moitteetonta, mutta toisessa hankkeista tiedostoissa oli vesihuollon varusteiden määrittelyissä puutteita. Tulokset kyseisten viiden tiedoston osalta olivat 75–92 % välillä.

## 5. PÄÄTELMÄT





























### 5.1 Suositukset ja tutkimuksen vastaaminen tavoitteisiin

Tässä diplomityössä tutkittiin inframallien teknistä laatua. Laatu määriteltiin tässä yhteydessä etukäteen määritettyjen tavoitteiden täyttämiseksi ja asiakkaan tarpeiden tyydyttämiseksi. Suunnittelutiedon laadun kahdeksasta eri tekijästä (kuva 18, s.31) tarkkuudella on tässä yhteydessä suurin merkitys. Tavoitteena diplomityössä oli selvittää inframallin oleelliset osakokonaisuudet eri hankevaiheissa ja määrittää hyväksymisrajat eri osioille. Tutkimusmetodina oleellisimpien osakokonaisuuksien määrittämisessä käytettiin asiantuntijahaastatteluja. Niiden lisäksi hyväksymisrajojen määrittämisessä käytettiin tukena Liikenneviraston ja ELY-keskusten olemassa olevaa inframallineistoa ja sen testiraportteja.

Haastatteluissa kävi ilmi, mitkä osakokonaisuudet ovat oleellisia eri hankevaiheissa ja millä ei ole inframallin jatkokäytön kannalta suurta merkitystä. Osakokonaisuuksien merkitysten erot havainnollistettiin haastattelutulosten yhteydessä kuvassa 28 (s.56). Hyväksymiskriteerien määrittäminen suhteellisesti on heterogeenisen viiteaineiston perusteella hankalaa eikä tässä tutkimuksessa esitetä tarkkoja prosenttirajoja eri osakokonaisuuksille. Tilastoihin perustuvien virherajojen määrittelyyn tulisi olla saatavilla enemmän aineistoa. Edellä mainittuihin tuloksiin perustuen osakokonaisuudet ehdotetaan jaettavaksi hankevaiheittain kolmeen eri tasoon teknisen tarkastuksen tarpeellisuuden mukaan. Ehdotus on esitetty kuvassa 34 ja tarkastamisen tasot ovat seuraavanlaiset:

1. Kyseisessä hankevaiheessa osakokonaisuudelle ei suositella automaattista tarkastusta.
2. Suositellaan joustavaa kriteeriä eli erikseen määritettävää ja tarpeen mukaan muutettavaa hyväksymisrajaa. Rajaa voidaan tarvittaessa säädellä ohjelmistojen ja työtapojen kehittymisen mukana.
3. Suositellaan automaattista tarkastusta 100 % kriteerillä eli vaaditaan virheetöntä aineistoa.

Joustava kriteeri voi periaatteeltaan johtaa AQL-menetelmän yhteydessä mainittuun tilanteeseen, jossa prosessi ohjataan tekemään tietty määrä virheitä. Myös esimerkiksi P.B. Crosbyn laatuteorioiden mukaan (kuva 17, s.31) todettiin ainoaksi kunnan laatutavoitteeksi nolla virhettä. Tässä tapauksessa kuitenkin tietyillä osakokonaisuuksilla tällaisen kriteerin käyttö on perusteltavaa, sillä eri hankevaiheissa tuotoksen käyttötarkoitus on erilainen.

Osakokonaisuus	YS	TS	RS
Vaakageometriat			
Pystygeometriat			
3D-viivaketjut			
Kolmioverkko, rajaukset ja reiät			
Kolmioverkko, tuplapisteet			
Kolmioverkko, kolmioiden koko			
Taiteviivojen ja pintojen jatkuvuus			
Vesihuolto, määrittelyt ja ominaisuudet			
Vesihuolto, sijainti ja korkeus			
			

Kuva 34. Ehdotus automatisoidun tarkastuksen kohteiksi eri hankevaiheissa

Vaaka- ja pystygeometriat ehdotetaan tarkastettaviksi kaikissa hankevaiheissa 100 % kriteerillä. Yleissuunnitelmavaiheessa ei muita tässä tutkimuksessa tutkittuja osakokonaisuuksia ehdoteta tarkastettavaksi. Kuten kirjallisuusosiossa todettiin, yleissuunnitelmavaiheessa on pyrittävä välttämään näennäistä piirustustarkkuutta. Määrälaskentaan ja kustannuksiin vaikuttavat asiat tulee kuitenkin huomioida jo yleissuunnitteluvaiheessa ja niiden myötä viivojen ja pintojen jatkuvuuden tulee olla riittävän tasoista.

Väyläsuunnitelmavaiheessa ehdotetaan edellisten lisäksi otettavaksi automaattisen tarkastuksen piiriin myös viivaketjut sekä kolmioverkko aluerajausten osalta. Aluerajaukset ovat väyläsuunnitelmavaiheen olennainen osa ja ne nostettiin esille myös haastattelujen yhteydessä. Kolmioiden kokoon liittyen suositellaan tarkastamista joustavalla kriteerillä keskittyen liian pienten kolmioiden ja lyhyiden kolmion sivujen esille tuomiseen. Myös vesihuoltoon liittyvien sijainti- ja korkeusmääritteiden tarkastaminen suositellaan tehtäväksi väyläsuunnitelmavaiheessa, jolloin kaltevuudet tulisi olla jo kohdallaan.

Rakennussuunnitelmavaiheessa aineiston laatu tulisi tarkastaa pääosin 100 % kriteerillä. Poikkeuksia ehdotetaan kolmioiden kokoon, viivojen jatkuvuuteen ja vesihuollon rakenteiden määrittelyihin liittyen, jolloin kriteeri voi olla joustava. Kolmion sivun pituus voi joissain poikkeustilanteissa olla hyvin pieni tai suuri. Viivoissa voi olla myös sallittuja epäjatkuvuuskohtia esimerkiksi viivan koodin vaihtuessa väylän reuna-alueella. Viivasilpun eliminointi on kuitenkin tärkeää. Vesihuollon rakenteiden mallintamisen kokemukset ovat vielä määrältään hyvin rajalliset eikä määrittelyjen 100 % tarkistuskriteeri ole tarkoituksenmukainen tässä vaiheessa.

Edellä esitellyn jaottelun toteuttamisen lisäksi ehdotetaan tarkastuksen kohdistamisen mahdollistamista vain tiettyihin väylärakenteen elementteihin riippuen hankevaiheesta. Nämä elementit, kuten yksittäiset taiteviivat ja rakennepinnat, ovat erotettavissa inframallin sisällöstä niiden InfraBIM-nimikkeistön koodin perusteella. Kohdistaminen mahdollistaisi arvioinnin tekemisen eri perusteilla esimerkiksi väylän ulkoluiskan reunan ja päällysteen reunan välillä. Kohdistamismahdollisuutta ehdotetaan varsinkin väyläsuunnitelmavaiheen taiteviivojen tarkistamiselle. Myös rakennepintoja voidaan jättää tarkastuksen ulkopuolelle, jos ne eivät ole vielä kyseisessä hankevaiheessa vaadittuja. Yksittäisenä kohteena esitetään vielä kolmion sivujen ja taiteviivojen maksimipituuden tarkastuksista luopumista.

Viiteaineiston perusteella pintamalleille olisi mahdollista asettaa tulosrajat niin, että tietyn tavoitteen mukainen osa aineistosta läpäisisi testin. Osuudet esitettiin taulukossa 4 (s.59). Tavoitteen määrittelyn lisäksi ongelma tällaisessa määrittelyssä on tällä hetkellä käytössä oleva suhteellinen mittaustapa, sillä aineisto on ominaisuuksiltaan hyvin heterogeenistä. Viiteaineistossa pintamallien kolmioiden määrä vaihteli 40–42,885 kolmion välillä ja pisteiden määrä vastaavasti 34–43,565 pisteen välillä. Minkä tahansa prosenttirajan asettaminen laajimpaan aineistoon sallii vähintään satojen virheiden läpimenon. Niiden korjaaminen seuraavassa vaiheessa saattaa olla hyvin työlästä. Toisaalta yhdenkin pisteen arvoinen virhe pudottaisi pienimuotoisen inframallin pisteitä suhteettoman paljon. Tämän eliminoinniseksi ehdotetaan mittaustapaksi absoluuttisia virhemääriä, jolloin hyväksymiskriteerit määritettäisiin niiden mukaan. Tällöin virheiden määrä ei kasvaisi suuremman aineiston kohdalla liian suureksi. Virheiden korjaamisen aiheuttaman lisätyön määrä riippuu absoluuttisista virhemääristä.

## 5.2 Tutkimuksen luotettavuus

Haastatteluiden kautta saatu tulos edustaa siinä mukana olleiden 12 henkilön näkemyksiä. Se ei välttämättä edusta koko alan näkemystä, mutta antaa hyvät suuntaviivat asioiden kehittämiseksi. Haastateltavat ovat inframallintamiseen omassa organisaatiossaan hyvin perehtyneitä. Kattavampi tutkimus olisi vaatinut suuremman määrän haastateltavia, jolloin mukana olisi ollut suurempi määrä yrityksiä ja käyttäjiä myös kaikista Suomen markkinoilla olevista suunnitteluohjelmistoista. Rata- ja katusuunnittelun erityispiirteet jäävät tässä tutkimuksessa pintapuolisesti käsitellyksi eikä esimerkiksi kaupun-

kien edustajia ollut haastatteluissa mukana tilaajatahoa edustamassa. Myös haastateltavien etukäteisasenteilla tai ulkoisilla tekijöillä saattaa olla vaikutusta tuloksiin haastateltavien määrän ollessa pieni. Joissain tapauksissa vastauksissa heijastuivat haastateltavien edustamien yritysten nykyiset toimintaprosessit, eikä vastauksia aina pystytty muodostamaan etukäteen tarkoitetun tahon näkökulmasta.

Tutkimuksen yhteydessä ilmeni eri yrityksissä käytettävien suunnitteluohjelmistojen suuri vaikutus haastateltavien vastauksiin ja kokemuksiin. Toimintatavat eri yrityksissä riippuvat suuresti käytettävästä ohjelmistosta. Tämä heijastui haastatteluvastauksiin eikä asiaa huomioitu riittävästi tutkimusta suunniteltaessa. Ohjelmistoista aiheutuvien virheiden osuus viiteaineiston laadun tuloksissa osoittautui myös suureksi.

Viiteaineiston tiedostojen projektikohtainen lukumäärä vaihteli projektien luonteesta riippuen, mutta aineiston tarkasteluissa laatua ei erikseen tarkasteltu projektikohtaisesti. Viiteaineisto oli määrältään puutteellinen, sillä yleissuunnitelma-aineistoa ei vielä ole saatavilla. Myös tiesuunnitelma-aineiston määrä oli rajallinen. Viiteaineistossa ei myöskään ole metatietona tietoa, minkä tarkkuuden testausaineistosta on kyse. Aineisto voi olla peräisin esimerkiksi keskeneräisen suunnitelman välitarkistuksesta, testaustryökalun kokeilemisesta tai toisaalta se voi myös olla suunnitelmien lopullista luovutusvaiheen aineistoa. Aineiston perusteella voitiin kuitenkin vetää johtopäätöksiä varsinkin pintamallien laatuun liittyen. Aineisto osoittautui ominaisuuksiltaan hyvin heterogeeniseksi ja tämä tulee huomioida myös hyväksymiskriteerien määrittämisessä. Viiteaineiston ominaisuuksien yhteydessä esitellyt kolmioiden ja pisteiden määrät eivät kuitenkaan kerro luotettavasti kyseisen pintamallin kolmioinnin tarkkuudesta, sillä se riippuu myös muista tekijöistä. Tämän aineiston perusteella selkeiden pisterajojen määrittämiseen tulee suhtautua varovaisesti.

### 5.3 Jatkotutkimustarpeet

Kehitysehdotuksena esille tuotuun taiteviivojen ja pintojen tarkistukseen InfraBIM-nimikekoodin perusteella liittyen jatkotutkimustarpeena olisi kyseisten koodien tarkistusperusteiden määrittäminen hankevaihekohtaisesti. Absoluuttisiin virhemääriin perustuvien kriteerien määrittäminen edellyttäisi myös jatkotutkimusta.

Inframallien testausdatan automaattinen kerääminen testauksen yhteydessä tietokantaan helpottaisi laadun kehityksen seuranta. Datasta jalostetut tilastot helpottaisivat myös kehittämään hyväksymiskriteerejä kulloinkin vallitsevan tilanteen ja tarpeen mukaan.

Aihetta inframallien tietosisältöön liittyvään jatkotutkimukseen olisi esimerkiksi suunnittelutarkkuuteen liittyvän metatiedon ylläpidossa. Inframallin mukana tulisi kulkea tieto suunnittelun tarkkuudesta eri kohdissa. Sen puute hankaloittaa suunnittelutiedon hyödyntämistä seuraavissa hankevaiheissa. Tarkkuuden tasot ja niiden erot tulisi määrittellä. Myös hankevaihe-tiedon sisällyttämistä Inframodeliin tulisi tutkia.

## 5.4 Yhteenveto ja pohdintaa

Tässä diplomityössä tutkittiin inframallien laatutavoitteita ja hyväksymiskriteerejä. Tavoitteena oli määrittää inframallien tarkastamisen kannalta oleelliset osiot hankevaiheittain. Toisena tavoitteena oli määrittää inframalleille hyväksymiskriteerit.

Kirjallisuuskatsauksessa esiteltiin aluksi väylärakentamisen suunnitteluprosessi eri hankevaiheineen. Tämän jälkeen käytiin läpi tietomallintamisen historia ja kehitys keskittyen varsinkin rakennusalaan. Inframallinnuksen määrittelyt ja inframallinnuksen taso kuvattiin eri hankevaiheissa. Kirjallisuusosion toisessa osassa tutkittiin laatua ja sen kytkeytymistä inframallinnukseen sekä suunnitteluun. Tässä osiossa kuvailtiin myös tietomallien teknisen laaduntarkastuksen menetelmiä.

Empiirisen osan haastattelututkimus toteutettiin asiantuntijahaastatteluina 12 asiantuntijalle, jotka edustivat neljää eri näkökulmaa. Tuloksena määritettiin inframallien tärkeimmät osakokonaisuudet hankevaiheittain. Toisessa osassa analysoitiin Liikenneviraston ja ELY-keskusten viiteaineistoa. Aineisto käsitti 584 inframallitiedostoa, jotka oli tarkastettu kolmannen osapuolen laaduntarkastustyökalulla. Laadun mittaustulokset kyseisellä mittaustavalla tilastoitiin ja inframallitiedostoja luokiteltiin elementtien määriin liittyvien ominaisuuksien mukaan. Aineisto todettiin hyvin heterogeeniseksi, mikä tekee toimivien hyväksymiskriteerien määrittämisen nykyisellä mittaristolla hankalaksi.

Työssä saatiin määritettyä inframallien oleelliset osakokonaisuudet eri hankevaiheissa. Tarkastuskohteet jaettiin kolmeen luokkaan. Hyväksymiskriteereiksi ei esitetä nykyiseen mittaristoon perustuvia pisterajoja. Sen sijaan tehdään suositus mittariston muuttamiseksi absoluuttisille virhemäärille. Lisäksi ehdotetaan automatisoidun mittauksen taiteviiva- ja pintakohtaista kohdistamista niiden nimikekoodien perusteella sekä tarkastusten poistamista viivojen ja kolmioiden sivujen ylämitan osalta. Tässä diplomityössä suositellut toimenpiteet on koostettu taulukkoon 5.

*Taulukko 5. Diplomityössä ehdotetut toimenpiteet*

Kohde	Toimenpide
Tarkastuskohteet ja kriteerit	Tarkastetaan kohteet kuvan 34 (s.62) mukaisesti
Automaattisen tarkastuksen tarkempi kohdentaminen	Tarkastukset tehdään InfraBIM-nimikekoodin perusteella IM-tiedoston eri osakokonaisuuksien sisällä
Mittaustapa	Mittauksen perustuminen absoluuttisiin virhemääriin
Taiteviivojen ja kolmion sivujen pituuden mittaus	Yläraja (10 metriä) poistetaan tarkastuksesta

Pääasiallisten tutkimuskohteiden lisäksi haastatteluissa selvitettiin myös asiantuntijoiden näkemyksiä inframallien laadun nykytilanteesta ja siihen liittyvistä tekijöistä. Tällä hetkellä eletään vielä selkeästi muutosvaihetta. Tästä hyvänä esimerkkinä oli haastatteluissa esille tulleet ongelmat suunnitteluohjelmistojen IM-uloskirjoitukseen ja -sisäänlukuun liittyen. Ne aiheuttavat paljon ylimääräistä lisätyötä suunnittelijoille. Kuitenkin toteutusvaiheeseen menevissä inframalleissa esiintyy virheitä lähes poikkeuksetta. Tämän seurauksena suunnittelun korjauksia tehdään myös urakoitsijan taholta. Osa virheistä on epäilemättä korjattavissa suunnittelun taholta mallintamalla tehtävän suunnittelun työtapojen vakiintuessa ja kokemuksen lisääntyessä. Laatu ja tuottavuus eivät parane jatkuvilla eri vaiheissa tehtävien tarkastusten määrän lisäämisellä. Vaaditaan selkeitä vaatimuksia ja ohjeita sekä kyvykkäitä ohjelmistoja, jotka tuottavat virheetöntä aineistoa. Ohjelmistopuutteiden korjaamiseen tähtäävät toimenpiteet vaikuttavat tällä hetkellä hajanaisilta. Yhteistyötä ohjelmistotoimittajien kanssa tulisi tiivistää ja puutteiden korjaamisen edistymistä seurata myös infran tilaajien taholta. Esimerkiksi suunnitteluohjelmistojen vapaaehtoisen IM-yhteensopivuussertifikaatin luominen voisi nopeuttaa kehitystä. On kuitenkin muistettava, että kansainvälisten ohjelmistotalojen kehityspanokset Suomen markkinoille kohdistuvaan ohjelmistoräätälöintiin riippuvat myös tiedonsiirtoformaattien kansainvälisestä kehityksestä ja käyttöönotosta.

Mielenkiintoinen haastatteluissa esille tullut asia oli liittymien ja siirtymäkiilojen yhteydessä esiintyvä viivojen ja pintojen jatkuvuusvaatimus. YIV määrittelee vaatimukset selkeästi eri hankevaiheissa, mutta alalla ei ole silti ole yhteistä näkemystä käytännön toteutuksesta. Toisen näkemyksen mukaan kaikkia viivoja ei kannata mallintaa jatkuviksi missään vaiheessa. Vastakkainen näkökulma on se, että suunnittelijan taholta tulee saada toteutukseen kelpaava aineisto eikä työmaan tule olla vastuussa liittymien suunnitelmien viimeistelystä. Tilaajatahon tulisi jossain vaiheessa ohjata toiminta vastaamaan yhteisiä vaatimuksia tai vaihtoehtoisesti vaatimuksia tulisi täsmentää niin, että niitä voidaan noudattaa yksiselitteisesti.

Inframallien laadun mittaaminen on hyvä askel infra-alan suunnitteluprosessien tehokkuuden ja laadun kehittämiseksi. Kehitystyön tulee jatkua myös alan yhteisten ohjeiden ja tiedonsiirtostandardien parissa. Suunnitteluprosessin tehokkuuden kasvattaminen kokonaisuudessaan vaatii moninkertaisena tehtävän ja virheellisen työn vähentämistä. Tämä vaatii myös suunnittelun tuottavilta konsulttitoimistolta sisäisten prosessien kehittämistä. Laatuja tulee kehittää järjestelmällisesti ja sen mittaamiseen tulee olla käytössä kunnan mittarit. Laadun kehittämisessä voidaan joiltain osin soveltaa esimerkiksi tässä työssä esiteltyjä laatutyökaluja kuten Six Sigman syy-seuraus-diagrammia. Laadun kustannuksiin kannattaa kiinnittää huomiota kappaleen 2.4.2. (s.32) mukaisesti. Tilaaja voi edesauttaa kehitystä suunnittelun hankinnan yhteydessä esimerkiksi kehittämällä suunnittelun tuottajien laatupisteytystä.

## LÄHTEET

Anttila, P. (1998). Tutkimisen taito ja tiedonhankinta. Saatavissa: <http://www.metodix.com/>

Autodesk. (2013). Theory builder. Visual evaluation of 'Surface area' - Surface interior and joints. Saatavissa: [http://www.bluesmith.co.uk/LW/theoryBuilders/evaluate\\_Zebra.htm](http://www.bluesmith.co.uk/LW/theoryBuilders/evaluate_Zebra.htm). Viitattu: 13.7.2015.

Bentley. OpenPlant PowerPID. The Open Solution for Creating Intelligent Piping and Instrumentation Design (P&ID) Documents. Saatavissa: <http://www.bentley.com/fit/Products/OpenPlant+PowerPID/> Viitattu 18.7.2015.

Berard, O. (2012). Building information modeling for managing design and construction – Assessing design information quality. PhD Thesis. Technical university of Denmark. DTU Civil engineering report R-272. 82s.

Berg, H. (2014). Experiences with BIM for infrastructure implementation. Measured value of today's level - possibilities with future levels of BIM. Vianova Systems as. Saatavissa: [http://novarc.ee/wp-content/uploads/konverents/Heidi\\_Berg\\_Vianova\\_NOVARC\\_Tallinn\\_02.10.14.pdf](http://novarc.ee/wp-content/uploads/konverents/Heidi_Berg_Vianova_NOVARC_Tallinn_02.10.14.pdf)

Burdorf, A., Kampczyk, B., Lederhose, M., Schmidt-Traub, H. (2004). CAPD - computer aided plant design. Computers and chemical engineering. 28/2004. s.73-81.

Carlstedt, M. (2015). Tietomallipohjaisen tiesuunnitelman tarkastaminen ja hyväksyminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 28/2015. Liikennevirasto. 110s. Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts\\_2015-28\\_tietomallipohjaisen\\_tiesuunnitelman\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2015-28_tietomallipohjaisen_tiesuunnitelman_web.pdf)

Dale, B., van der Wiele, T., van Iwaarden, J. (2007). Managing quality. 5<sup>th</sup> ed. Blackwell publishing. Oxford. 610s.

Day, M. (2014). The problem with COBie. AEC Magazine. Building Information Modelling (BIM) for Architecture, Engineering and Construction. 02/2014. 36s.

Denno, P., Palmer, M. (2013). Modeling and Conformance Testing for the Engineering Information Integration Standard ISO 15926. NIST – National institute of standards and technology. 22s. Saatavissa: [http://www.nist.gov/manuscript-publication-search.cfm?pub\\_id=912882](http://www.nist.gov/manuscript-publication-search.cfm?pub_id=912882). Viitattu 23.7.2015.

Elaasar, M., Labiche, Y. (2012). Model Interchange Testing: a Process and a Case Study. Modelling foundations and applications. Lecture notes in computer science. Vol: 7349. s. 49-61.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. (2011). BIM Handbook. John Wiley & Sons. 634s.

Emerson A. (2008). The beginning of model checking: A personal perspective. 25 Years of model checking. Lecture notes in computer science. vol. 5000. Springer Berlin Heidelberg. s. 27-45.

Gallaher, M., O'Connor, A., Dettbarn, J., Gilday, L. (2004). Cost analysis of inadequate interoperability in the U.S. capital facilities industry. NIST - National institute of standards and technology. U.S. Department of commerce. 210s. Saatavissa: <http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/build04/PDF/b04022.pdf>

Glendinning, I. (2010). FIATECH & POSC-Caesar ISO15926 Projects. PCA. Rosatom & VNIAES Data integration tutorial. Moskova.

Halttula, H. (2015). Barriers to achieving the benefits of BIM. Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorumin (PTL) konferenssi: BIM vie tien ja kadunsuunnittelun uudelle tasolle. Helsinki. Saatavissa: [http://www.nvfnorden.org/library/Files/Utskott-och-tema/Utformning-av-vagar-och-gator/12\\_Halttula\\_Esitys\\_HH\\_BIM\\_Barriers\\_2015\\_short.pdf](http://www.nvfnorden.org/library/Files/Utskott-och-tema/Utformning-av-vagar-och-gator/12_Halttula_Esitys_HH_BIM_Barriers_2015_short.pdf)

Heizer, J., Render, B. (2006). Operations management. 8<sup>th</sup> ed. Pearson education Inc. Upper Saddle River, New Jersey. 806s.

Herva, V. (2009). Using Delaunay triangulation in infrastructure design software. Opinnäytetyö. Teknillinen korkeakoulu. Espoo. 91s.

Hyvärinen, J., Porkka, J., Pienimäki, M., Korkiala-Tanttu, L., Mäkeläinen, T., Kiviniemi, A. (2006). Report 1: Objectives and ramifications of product modelbased system in Finnish infrasektor. Targets and forecasts based on Norwegian experiences. VTT. 78s. Saatavissa: [www.infra2010.fi/Aineisto/Report%201.pdf](http://www.infra2010.fi/Aineisto/Report%201.pdf)

Hämäläinen, E. (2010). Yksityistien parantaminen. Suunnittelun ja toteuttamisen periaatteet. Suomen tieyhdistys. Yksityistiejulkaisut. 44s. Saatavissa: <http://www.tieyhdistys.fi/binary/file/-/id/3/fid/103>

Hämäläinen, M., Karvonen, P., Ojala, K., (2006). 2. Tien ja kadun suunnittelun prosessit. RIL 165-2 Liikenne ja väylät II. RIL ry. Helsinki. 591s.

InfraBIM. (2014a). Tietomallintaminen uudistaa infra-alan. Saatavissa: [http://www.infrabim.fi/infrabim\\_uusi/index.html](http://www.infrabim.fi/infrabim_uusi/index.html). Viitattu 16.5.2015.

InfraBIM. (2014b). InfraBIM-nimikkeistö. Saatavissa: <http://www.infrabim.fi/infrabim-nimikkeisto-sivu/>. Viitattu 29.6.2015.

InfraBIM. (2013). Inframodel 3-tiedonsiirtoformaatti. Saatavissa: <http://www.infrabim.fi/inframodel-3/>. Viitattu 29.6.2015.

InfraBIM. (2015). Yleiset inframallivaatimukset 2015 – YIV2015. Saatavissa: <http://www.infrabim.fi/yiv2015/>. Viitattu 30.6.2015.

ISO - International Organization for Standardization. (1994). ISO 10303. Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange. Saatavissa: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=20579](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=20579)

ISO - International Organization for Standardization. (2004). ISO 15926. Industrial automation systems and integration -- Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities. Saatavissa: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=29556](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=29556)

ISO - International Organization for Standardization. (1999). ISO 2859-1. Sampling procedures for inspection by attributes -- Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection. Saatavissa: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=1141](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=1141)

ISO - International Organization for Standardization. (2011). ISO 13053. Quantitative methods in process improvement -- Six Sigma. Saatavissa: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=52901](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52901)

Junttila, U., Koivistoinen M. (2002). Katu ympäristön suunnitteluopas. Suomen kuntatekniikan yhdistys SKTY ry. Julkaisu 21. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä. 171s.

Junnonen, J-M. (2009). Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu. RTK Oy. Sastamala. 102s.

Kim, B-G., Lee, S-H. (2011). IFC Extension for road structures and digital modeling. The twelfth East Asia-Pacific conference on structural engineering and construction. Procedia engineering 14/2011. Elsevier Ltd.

Kiritsis, D. (2013). Semantic technologies for engineering asset life cycle management. International journal of production research. Vol: 51. No: 23-24. s.7345-7371.

Kiviniemi, A., Laakso, M. (2012). The IFC Standard – A review of history, development and standardization. Journal of information technology in construction (ITCon) 17/2012. Saatavissa: [http://usir.salford.ac.uk/28373/1/History\\_of\\_IFC\\_standard.pdf](http://usir.salford.ac.uk/28373/1/History_of_IFC_standard.pdf)

Kiviniemi, A. (2015). Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorumin (PTL) konferenssi: Design in the future – Where are we heading? Helsinki. Saatavissa: [http://www.nvfnorden.org/library/Files/Utskott-och-tema/Utformning-av-vagar-och-gator/2\\_Kiviniemi\\_20150506%20Design%20in%20the%20Future.pdf](http://www.nvfnorden.org/library/Files/Utskott-och-tema/Utformning-av-vagar-och-gator/2_Kiviniemi_20150506%20Design%20in%20the%20Future.pdf)

Kurkela, R. Virsta - Virtual statistics. Tilastollinen tiedonkeruu. Tilastokeskus. Saatavissa: <https://www.stat.fi/virsta/tkeruu/>

Laasonen, M., Kähkönen, K., Keinänen, M. (2015). Tietomallipohjaisten suunnitelmien tarkistaminen sillanrakennusalalla – katsaus tutkimustuloksiin ja viranomaiskäytäntöihin. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä xx/2014. 37s. Julkaisematon.

Liikennevirasto. (2013c). Infran tietovarantojen hallinta. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 23/2013. 42s. Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts\\_2013-23\\_infran\\_tietovarantojen\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-23_infran_tietovarantojen_web.pdf)

Liikennevirasto. (2014c). Kuin kaksi marjaa (Tietomalli vs. tietomalli). Saatavissa: [http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat\\_suunnittelijat/tietomallit/kuin\\_kaksi\\_marjaa#.Vdbi8LWRNoc](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/tietomallit/kuin_kaksi_marjaa#.Vdbi8LWRNoc). Viitattu: 21.8.15.

Liikennevirasto. (2015a). Suunnittelun lähtökohdat. Saatavissa: <http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/hankkeet/strategia>. Viitattu: 17.5.2015.

Liikennevirasto. (2011b). Tie- ja ratahankkeiden suunnitelmien käsittelyohje. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Liikenneviraston ohjeita 25/2011. 90s. Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2011-25\\_tie\\_ja\\_ratahankkeiden\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-25_tie_ja_ratahankkeiden_web.pdf)

Liikennevirasto. (2011c). Tiensuunnittelun toimintamallit ja laadun kehittäminen - toimintamallit suunnittelun hankinnassa. Saatavissa: [http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/uutiset/tapahtumat/20110519\\_tiensuunnitteluverkko/3\\_Nuutinen\\_Toimintamallit\\_suunnittelun\\_hankinnassa.pdf](http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/uutiset/tapahtumat/20110519_tiensuunnitteluverkko/3_Nuutinen_Toimintamallit_suunnittelun_hankinnassa.pdf)

Liikennevirasto. (2013a). Tien rakennussuunnittelu – Sisältö ja esitystapa. Liikenneviraston ohjeita 44/2013. 96s. Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2013-44\\_tien\\_rakennussuunnitelma\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-44_tien_rakennussuunnitelma_web.pdf)

Liikennevirasto. (2013b). Tien rakennussuunnittelu. Toimintaohjeet. Liikenneviraston ohjeita 45/2013. Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2013-45\\_tien\\_rakennussuunnitelma\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-45_tien_rakennussuunnitelma_web.pdf)

Liikennevirasto. (2010a). Tien yleissuunnittelu, esite. Hankkeiden suunnittelun vaiheet. Saatavissa:

[http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/hankkeet/strategia/suunnittelun\\_vaiheet/](http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/hankkeet/strategia/suunnittelun_vaiheet/). Viitattu: 28.5.2015.

Liikennevirasto. (2014). Tietomallinnuksen ohjeistus. Saatavissa:

[http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat\\_suunnittelijat/tietomallit/tietomalli\\_ohjeet#.VZD3rfCRNyE](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/tietomallit/tietomalli_ohjeet#.VZD3rfCRNyE). Viitattu 29.6.2015.

Liikennevirasto. (2014b). Tiehankkeiden mallipohjaisen suunnittelun hankinta. Koekäytössä oleva ohje. Liikenneviraston ohjeita 20k/2014. 50s. Saatavissa:

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2014-20\\_tiehankkeiden\\_mallipohjaisen\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-20_tiehankkeiden_mallipohjaisen_web.pdf)

Liikennevirasto. (2010b). Yleissuunnittelu toimintaohjeet. Tiensuunnittelun toimintajärjestelmä. Liikenneviraston ohjeita 19/2010. 38s. Saatavissa:

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2010-19\\_yleissuunnittelu\\_toimintaohjeet\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2010-19_yleissuunnittelu_toimintaohjeet_web.pdf)

Liikennevirasto. (2011a). Väylähankkeiden suunnitteluperusteiden menetelmäkuvaus.

Liikenneviraston ohjeita 24/2011. 28s. Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2011-24\\_vaylahankkeiden\\_suunnitteluperusteiden\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-24_vaylahankkeiden_suunnitteluperusteiden_web.pdf).

Maantielaki. 23.6.2005/503. Edita Publishing Oy. Saatavissa:

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050503#L1>. Viitattu 27.5.2015.

McGraw Hill Construction. (2014). The Business value of BIM for construction in major global markets. Smart market report. Saatavissa: [http://www.icn-solutions.nl/pdf/bim\\_construction.pdf](http://www.icn-solutions.nl/pdf/bim_construction.pdf)

Nawari, N. (2012). Automatic code checking in BIM environment. 14<sup>th</sup> international conference on computing in civil and building engineering. Moscow. Saatavissa:

[http://www.icccbe.ru/paper\\_long/0279paper\\_long.pdf](http://www.icccbe.ru/paper_long/0279paper_long.pdf)

Noumenon. (2015). XMpLant model overview. Noumenon Consulting Limited. Saata-

vissa: <http://www.noumenon.co.uk/XMpLant-model-Overview>. Viitattu: 22.7.15.

Paap, O. (2010). Practical ISO 15926, interoperability with RDF/OWL. Semantic days-conference. Stavanger.

PCA. ISO 15926 Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities. Saatavissa: <https://www.posccaesar.org/wiki/ISO15926>. Viitattu: 22.7.2015.

RYM Oy. (2015). VISIO 2025: Avoimet ja ohjelmistoriippumattomat tietomallit käytössä kaikissa vaiheissa. Saatavissa: <http://www.infrabim.fi/visio-2025-avoimet-ja-ohjelmistoriippumattomat-tietomallit-kaytossa-kaikissa-vaiheissa/>. Viitattu: 6.7.2015.

Salmi, J., Salminen, K. (2015). RYM Oy & BuildingSMART Finland, Infra-toimialaryhmä. Tietomallintaminen infra-alalla. InfraBIM-tiedotuslehti 2015. Libris Oy. Helsinki. 24s. Saatavissa: [http://www.infrabim.fi/wp-content/uploads/2015/03/INFRABIM\\_Tiedotuslehti2015\\_web.pdf](http://www.infrabim.fi/wp-content/uploads/2015/03/INFRABIM_Tiedotuslehti2015_web.pdf)

Seppälä, A., (2001). Pintoja kuvaavien verkkojen muodostaminen ja optimointi. Tampereen yliopisto. Opinnäytetyö. 68s.

Springer, B. (2013). Keynote #2 – The business of project development; Risks, returns and integrated project delivery (IPD). Concurrent technologies corporation. 2013 Annual conference. Denver.

Solibri. (2012). Solibri esittelee uuden ohjelmistoversion Solibri Model Checker v8. Saatavissa: <http://www.solibri.com/solibri-esittelee-uuden-ohjelmistoversion-solibri-model-checker-v8/>. Viitattu 9.7.2015.

Succar, B. (2010). The five components of BIM performance measurement. 2010 CIB world congress. Salford. Saatavissa: <http://www.bimthinkspace.com/about.html/>

Sullivan, J. (2015). Level 2 BIM – COBie, Quality Checks and Interoperability. Conference on BIM Prospects – The future of BIM and big data. London. Saatavissa: <http://www.bre.co.uk/filelibrary/events/BRE%20Events/Agenda-BIM-Prospects.pdf>

Sullivan, K. (2011). Quality management programs in the construction Industry: Best value compared with other methodologies. Journal of management in engineering. 10/2011. American society of civil engineers. 210-219.

Tanskanen, R. (2015). Tuottavuus- ja tuloksellisuustyö. Työelämän kokonaislaatu. Työturvallisuuskeskus. Saatavissa: [http://www.tuottavuustyö.fi/menestyva\\_tyopaikka/hyva\\_laatu](http://www.tuottavuustyö.fi/menestyva_tyopaikka/hyva_laatu). Viitattu 19.7.2015.

Tejgeler, H. (2014). The process industries and the ISO 15926 semantic web. Saatavissa: <http://www.infowebml.ws/intro/paper.htm>. Viitattu 22.7.15.

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2015). Raportti: Digitalisaatio muuttaa palvelusektoria voimakkaasti. Tiedote. Saatavissa: [http://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset\\_publisher/raportti-digitalisaatio-muuttaa-palvelusektoria-voimakkaasti](http://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/raportti-digitalisaatio-muuttaa-palvelusektoria-voimakkaasti). Viitattu 3.8.2015.

UK Government. (2013). Construction 2025. Saatavissa: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/210099/bis-13-955-construction-2025-industrial-strategy.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/210099/bis-13-955-construction-2025-industrial-strategy.pdf)

Vison Alliance Partners Oy. (2013). Liikennevirasto ja Vison keräsivät huomion LIPS 2013-konferenssissa. Saatavissa: <http://vison.fi/uutiset.html?a100=21>. Viitattu 8.7.2015.

Yli-Villamo H., (2006). 11.1.2. Ratojen suunnitteluvaiheet. RIL 165-2 Liikenne ja väylät II. RIL ry. Helsinki. 591s.

Wodalski, M., Thompson, B., Whited, G., Hanna, A. (2011). Applying lean techniques in the delivery of transportation infrastructure construction projects. National center for freight & infrastructure research & education - CFIRE. University of Wisconsin-Madison. 100s. Saatavissa: <http://www.wistrans.org/cfire/research/projects/03-11/>

Woddy, P. (2013). Executive guide to BIM: Part 2. AEC Magazine. Building Information Modelling (BIM) for Architecture, Engineering and Construction. 07/2013. 36s.

WSP Group. (2013). What is BIM? Saatavissa: <http://www.wspgroup.com/en/Who-we-are/In-the-media/News/2013/What-is-BIM/>. Viitattu 3.7.2015.