

Markus Lakanen

# Tietomallipohjaisen katusuunnittelun haasteet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

4.11.2013

|   |   |
|---|---|
| Tekijä(t)<br>Otsikko  | Markus Lakanen<br>Tietomallipohjaisen katusuunnittelun haasteet     |
| Sivumäärä<br>Aika   | 41 sivua + 3 liitettä<br>4.11.2013                                  |
| Tutkinto  | insinööri (AMK)   |
| Koulutusohjelma   | Rakennustekniikka   |
| Suuntautumisvaihtoehto  | Infrarakentaminen   |
| Ohjaajat  | Erikoisopettaja Jukka Tiala<br>Apulaisosastopäällikkö Aki Leislahti |
| <p>Infra-alalla ollaan siirtymässä tietomalleja hyödyntävään palvelutuotantoon. RYM Oy:n käynnistämän PRE-ohjelman (<i>Building Process Re-engineering</i>) ja sen alaisen Infra FIN-BIM -työpakettin tavoitteena on kehittää tietomallintamista ja sen hyödyntämistä infrahankkeissa. Katuhankkeessa tietomallintaminen tarkoittaa tarkan väylämallin muodostamista lähtötietojen pohjalta. Suunnittelunaikainen suunnittelumalli jalostetaan toteutusmalliksi työmaalle koneohjausta varten. Kadun tietomallipohjaisen suunnittelun sekä rakentamisen aikaisen tiedonsiirron toimivuutta testataan Espoon kaupungin teettämässä neljässä eri pilottihankkeessa.</p> <p>Suunnittelu on jo pidempään ollut kolmiulotteista ja mallipohjaista, mutta mallia ei ole suoraan hyödynnetty hankkeen kaikissa elinkaarenaikaisissa vaiheissa. Tiedonhallinta on ollut dokumenttipohjaista tarkoittaen, että mallista tuotetaan kaksiulotteiset, paperiset suunnitelmakuvat ja muut dokumentit. Mallin muodostamisen automatiikkaa on käytetty tiettyyn tarkkuustasoon saakka ja rakenteiden tekniset ratkaisut on viimeistely oikeannäköisiksi suunnitelmakuviin.</p> <p>Tietomallintamisen myötä suunnittelun tarkkuus ja työmäärä kasvavat. Mallin tulee olla viimeistään toteutusmallitasolla kaikilta rakennepinnoiltaan ja taiteviivoiltaan yhtenäinen. Kadun kaikki rakenteet on mallinnettava, erityisesti rakenneosat, joiden rakentamisessa hyödynnetään koneohjausta. Monien kadun osien ja katurakenteiden tarkasta mallintamisesta ja pintojen yhteensovittamisesta on vielä vähän kokemusta, jonka vuoksi käytännön mallinnustyössä on ilmaantunut useita haasteita.</p> <p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli tutkia katurakenteiden tarkan mallintamisen tuottamia haasteita ja mallipohjaisen toimintatavan mukanaan tuomia muutoksia. Tutkimustyön aineistona toimi Espoon katupilottihankkeiden vetäjien haastattelut. Haastatteluissa keskityttiin käytännönläheiseen, mallipohjaiseen suunnittelutyöhön ja sen haasteisiin. Lisäksi kartoitettiin yleisiä käyttökokemuksia sekä tietomallintamisen mielekkyyttä ja tarkoituksenmukaisuutta.</p> <p>Insinöörityön lopputuloksena selvisi, että katurakenteista ja kadunosista mm. siirtymäkiilojen, aluemaisten kohteiden, kiertoliittymien sekä päätyvien katujen mallintaminen on ollut haastavaa. Lisäksi selvisi, että tietomallipohjaisuus tulee kasvattamaan suunnittelun työmääriä. Yleisenä näkemyksenä kuitenkin oli, että tietomallintaminen on merkittävä ja myönteinen uudistus infrahankkeen toimintatavoissa.</p> |   |
| Avainsanat  | Kadut, katusuunnittelu, tietomallinnus, InfraFINBIM, koneohjaus     |

|  |   |
|--|---|
| Author(s)<br>Title   | Markus Lakanen<br>Challenges of Information Modeling in Street Engineering              |
| Number of Pages<br>Date  | 41 pages + 3 appendices<br>4 November 2013  |
| Degree   | Bachelor of Engineering   |
| Degree Programme   | Civil Engineering   |
| Specialisation option  | Infrastructural Engineering   |
| Instructors  | Jukka Tiala, Specialized Lecturer<br>Aki Leislahti, Deputy Department Manager           |
| <p>Processes in the field of infrastructural engineering and construction are moving towards the use of information modeling. In Finland, a development program has been initiated to build up the methods of information modeling in infrastructural projects. In street engineering, information modeling means that a precise and constant model of the street structure is produced in its entirety. The design model which contains all the information about the designed structures is processed to meet the needs of the construction site that uses work machine automation. The process is being tested in four different pilot projects in Espoo.</p> <p>The designing itself has been 3-dimensional and model-based for years but all the information inside the model has not been utilized outside the designing process. The design engineer has only converted the information to static plans and documents and automation has only been used to a certain point.</p> <p>The precision and the amount of work will be increasing along with information modeling. All the breaklines and 3D-surfaces in the model must be continuous. All street structures must be modeled, especially those that will be built by using work machine automation. There are many street structures and parts that have previously not been modeled which means that there have been many challenges in practical modeling work.</p> <p>The purpose of this thesis was to examine the challenges and changes that are surfacing when moving towards the use of information modeling. The data was collected from interviews held with four pilot project leaders. The focus in the interviews was a practical model-based design process with its challenges, as well as general experiences and the meaningfulness of modeling as a method.</p> <p>As a result, it turned out that the most challenging street structures and parts in terms of modeling included transition wedges in the transition points of the substructure, parking areas, roundabouts and turnarounds. It was also revealed that information modeling will increase the amount of work. Nevertheless, the general view was that information modeling is a significant and positive reformation in the industry.</p> |   |
| Keywords   | Street, street engineering, information modeling, Infra-FINBIM, work machine automation |

# Sisällys

## Sanasto

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Johdanto   | 1  |
| 1.1   | Taustaa  | 1  |
| 1.2   | Tavoitteet   | 1  |
| 1.3   | Menetelmät ja rajaukset                                      | 2  |
| 1.4   | Pöyry  | 2  |
| 2     | Tietomallit ja koneohjaus                                    | 3  |
| 2.1   | Mitä on tietomalli?  | 3  |
| 2.2   | InfraBIM   | 4  |
| 2.3   | Koneohjaus   | 4  |
| 2.4   | Tiedonsiirtoformaattit                                       | 5  |
| 2.4.1 | LandXML  | 5  |
| 2.4.2 | Inframodel   | 6  |
| 3     | Katujen suunnittelu ja katurakenteet                         | 7  |
| 3.1   | Kadun merkitys kaupunkirakenteessa                           | 7  |
| 3.2   | Katujen toiminnallinen luokitus                              | 7  |
| 3.3   | Katusuunnitteluprosessi                                      | 8  |
| 3.3.1 | Katusuunnitelma  | 9  |
| 3.3.2 | Kadun rakennussuunnitelma                                    | 9  |
| 3.4   | Kadun elinkaari  | 10 |
| 3.5   | Kadun geometria  | 11 |
| 3.5.1 | Vaakageometria   | 11 |
| 3.5.2 | Pystygeometria   | 11 |
| 3.5.3 | Sivukaltevuus  | 12 |
| 3.5.4 | Kadun poikkileikkaus   | 12 |
| 3.6   | Kadun rakennekerrokset                                       | 13 |
| 3.6.1 | Päällystekerros  | 14 |
| 3.6.2 | Kantava kerros   | 14 |
| 3.6.3 | Jakava kerros  | 14 |
| 3.6.4 | Suodatinkerros   | 15 |
| 4     | Tietomallipohjainen katuhanke                                | 16 |
| 4.1   | Tietomallinnuspohjaisen suunnittelun prosessi katuhankkeessa | 16 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.1.1 | Lähtötietomalli   | 17 |
| 4.1.2 | Suunnittelumalli  | 17 |
| 4.1.3 | Toteutusmalli   | 18 |
| 4.2   | Tietomallipohjaisen ja perinteisen suunnittelun erot    | 21 |
| 4.3   | Espoon katupilotit                                      | 23 |
| 4.3.1 | Katupilottien ominaisuudet                              | 23 |
| 4.3.2 | Mallinnukselle asetettavat sisältövaatimukset           | 25 |
| 4.3.3 | Tilaaajan kokemukset ja odotukset tietomallintamisesta  | 25 |
| 4.4   | Bassenkylän asemakaava-alueen kadut                     | 26 |
| 4.4.1 | Hankkeen laajuus ja ominaisuudet                        | 26 |
| 4.4.2 | Lähtötietomallin muodostaminen                          | 27 |
| 4.4.3 | Katusuunnitelmavaihe                                    | 27 |
| 4.4.4 | Mallinnustyö ja mallin hyödyntäminen koneohjauksessa    | 28 |
| 4.4.5 | Pilottihankkeen hyödyt                                  | 29 |
| 5     | Tietomallinnuspohjaisen katusuunnittelun haasteet       | 30 |
| 5.1   | Katurakenteiden ja kadunkohtien mallintaminen           | 30 |
| 5.1.1 | Kiertoliittymät   | 30 |
| 5.1.2 | Siirtymäkiilat  | 31 |
| 5.1.3 | Poikkileikkauksen ja rakennetyypin muutoskohdat         | 32 |
| 5.1.4 | Päätyvät kadut ja pysäköintialueet                      | 33 |
| 5.2   | Mallintamisen tarkkuus                                  | 33 |
| 5.2.1 | Lähtötiedot   | 34 |
| 5.2.2 | Työmäärän kasvu   | 34 |
| 5.2.3 | Mielekkään suunnittelun raja                            | 35 |
| 5.3   | Suunnitteluohjelmistot                                  | 35 |
| 5.4   | Mallinnusohjeet   | 35 |
| 6     | Yhteenveto  | 37 |
|       | Lähteet   | 38 |
|       | Liitteet  |    |
|       | Liite 1. Haastattelukysymykset katupilottien vetäjille  |    |
|       | Liite 2. Kysely pilottihankkeiden tilaajalle            |    |
|       | Liite 3. Kooste pilottihankkeiden vetäjien vastauksista |    |

## Sanasto

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Infra                 | Infrarakenteita ovat tiet, kadut ja radat sekä vesi- ja energiahuoltoverkostot. Infraan kuuluvat myös vesiliikenneväylät ja viherrakentaminen.   |
| Laserkeilaus          | Maanpinnan mittaustapa, joka perustuu laserkeilaimen lähettämiin laserpulsseihin ja tarkkaan paikannukseen. Pulslien osuessa maanpintaan ne heijastuvat takaisin vastaanottimeen.  |
| Siirtymäkiila         | Alus- ja päällysrakenteen välissä sijaitseva, routimattomalla maa-aineksella täytetty, kahteen suuntaan loivasti nouseva rakenne, jonka tarkoituksena on loiventaa routivuus- ja kantavuuseroja sekä välttää epätasaisia routanousuja ja painumia alusrakenteen muutoskohdissa.                              |
| Stabilointi           | Käytetään pehmeiden perusmaiden sekä tie-, kenttä-, piha- ja katualueiden vahvistamiseen. Menetelmiä ovat pilari-, syvä- ja massastabilointi.  |
| Suunnitteluohjelmisto | Tarkoittaa tässä työssä infrasuunnitteluun tarkoitettuja ohjelmistoja, joiden päätoimintoina ovat rakenteiden mallinnus, laskenta ja simulointi. Suunnitteluohjelmistojen näkyvimpänä osana on graafinen käyttöliittymä. Tällaisia ohjelmistoja ovat mm. Tekla Civil, Novapoint, CityCAD ja Bentley InRoads. |
| Toteutumamalli        | Infrarakenteen tai -järjestelmän tuotemallin tietosisällön osajoukko, joka kattaa suunnitelmien ja toteutuksen lopullisen toteuman. Kutsutaan myös ”näin tehty” -malliksi (eng. <i>as built</i> ).   |
| Ylläpitomalli         | Infrarakenteen tai -järjestelmän tietomallin tietosisällön osajoukko, joka kattaa ylläpidon näkökulman.  |

# 1 Johdanto

## 1.1 Taustaa

Infra-alan palveluntarjonnassa suunnittelu, rakentaminen ja kunnossapito ovat pitkään pysytelleet omissa lokeroissaan. Nyt perinteisestä vaiheajattelusta ollaan siirtymässä tietomalleja hyödyntävään palvelutuotantoon. RYM Oy:n käynnistämän PRE-ohjelman (*Building Process Re-engineering*) tavoitteena on kehittää tietomallintamista ja sen hyödyntämistä infrahankkeissa. PRE-ohjelmaan kuuluvan Infra FINBIM -työpaketin visiona on, että vuodesta 2014 alkaen suuret infraomaisuuden haltijat tilaavat vain tietomallipohjaista palvelua. Tavoitteena on systemaattinen muutos, jolla pyritään tehostamaan koko infrahankkeen elinkaarenaikaista prosessia.

Katujen pienipiirteisyys sekä kadun välittömään läheisyyteen liittyvä rakennettu ympäristö järjestelmineen asettavat suunnittelulle omanlaiset haasteensa muihin liikenneväyliin verrattuna. Katusuunnittelu on suurelta osin jo pitkään ollut mallipohjaista, mutta malleja ei ole suoraan hyödynnetty rakentamis- ja ylläpitovaiheessa. Katurakenteiden mallintamisessa automatiikkaa on käytetty tiettyyn rajaan saakka ja rakenteet on viimeistely näyttämään oikeilta suunnitelmakuvissa. Infra-alan uusien tietomallivaatimusten myötä mallintaminen tarkentuu ja rakenteet mallinnetaan kokonaisuudessaan. Monien kadun osien ja katurakenteiden tarkasta mallintamisesta on vähän kokemusta, jonka vuoksi käytännön mallinnustyössä on ilmaantunut useita haasteita. Mallipohjaisuus kasvattaa myös työmäärää ja luo prosessiin uusia työvaiheita.

## 1.2 Tavoitteet

Tämän insinööriyön tavoitteena on tutkia katurakenteiden tarkan mallintamisen haasteita ja mallipohjaisen toimintatavan mukanaan tuomia muutoksia.

Insinööriyön tavoitteena on myös kartoittaa tietomallipohjaisen katusuunnittelun vaiheita lähtötietomallista aina yhtenäisen, koneohjauksessa hyödynnettävän toteutusmallin tuottamiseen. Aluksi kuvataan yleisellä tasolla tietomalleja sekä katujen ominaisuuksia, elinkaarta, suunnittelua ja rakenteita.

### 1.3 Menetelmät ja rajaukset

Aineistona tutkimustyölle toimi pääasiassa Espoon katupilottihankkeiden vetäjien kanssa pidetyt haastattelut sekä InfraFINBIM-tietomallivaatimukset ja -ohjeet. Haastatteluisa keskityttiin käytännönläheiseen, mallipohjaiseen suunnittelutyöhön ja sen haasteisiin. Lisäksi kartoitettiin yleisiä käyttökokemuksia ja tietomallintamisen mielekkyyttä. Insinööriyön aikana tutustuttiin mm. katu- ja väyläsuunnittelun ohjeteoksiin sekä erilaisiin tietomallinnuksen kehittämistyöhön liittyviin raportteihin.

Tietomallipohjaista katuhanketta tarkastellaan suunnittelijan näkökulmasta ja tässä insinööriyössä työmaatoiminta on yleistä tasoa lukuun ottamatta rajattu pois.

### 1.4 Pöyry

Tämä insinööriyö on tehty Pöyry Finland Oy:lle osin yrityksen rahoittamana. InfraFINBIM-kehitystyö Pöyryllä tapahtuu Tekes-rahoitteisesti.

Pöyry on kansainvälinen konsultointi- ja suunnitteluyhtiö, jonka osaamisalueita ovat väylä- ja kunnallisinfra, kiinteistöt, energia ja teollisuus. Suomessa Pöyryllä toimii lähes 2000 työntekijää 20 toimipisteessä. Pöyryn infrayksikkö koostuu noin 170 infra-alan asiantuntijasta. Infran toimialoihin kuuluvat tie-, katu-, alue- ja ratasuunnittelu asiantuntijapalveluineen sekä pohjarakennus-, silta-, kalliorakennus- ja tunnelisuunnittelu. Pääkonttori sijaitsee Vantaalla, Vantaankosken juna-aseman läheisyydessä.

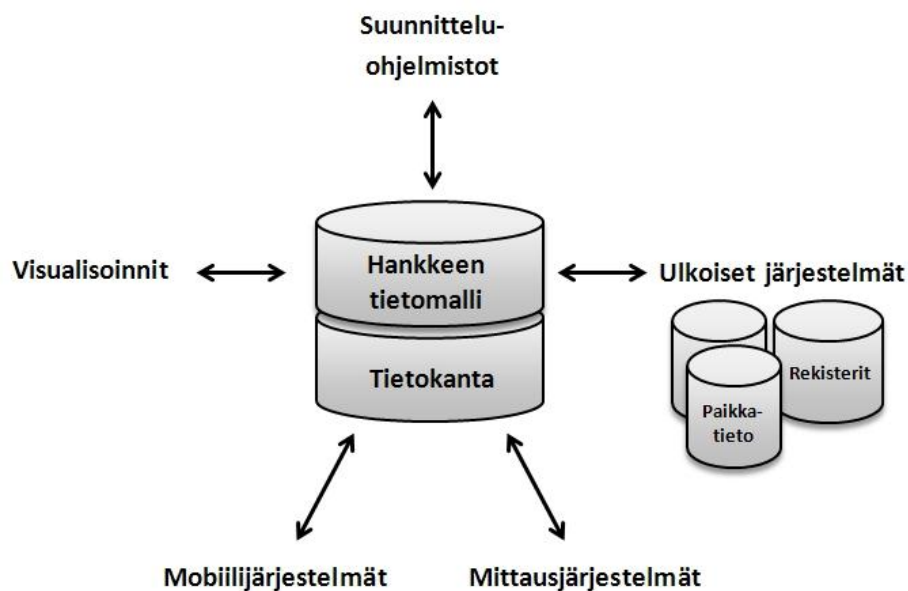
Pöyry on yksi InfraFINBIM-tutkimuskonsortiossa mukana olevista yrityksistä. Lisäksi Pöyry on Bassenkylän katuhankkeen vetäjä. Bassenkylä on yksi Espoon katupiloteista, joiden tarkoituksena on testata tietomallinnusta ja tiedonsiirtoa katuhankkeessa.



## 2 Tietomallit ja koneohjaus

### 2.1 Mitä on tietomalli?

Tietomalli (eng. BIM = *Building Information Model*) on rakennuksen tai infrakohteen ja sen rakennusprosessin koko elinkaaren aikaisten tietojen digitaalimuotoinen kokonaisuus. Rakennelman kolmiulotteista mallia ominaisuuksiensa vuoksi voidaan hyödyntää koko suunnittelu- ja toteutusketjussa aina ylläpitoon saakka. Nykytilanteessa suunnittelu tapahtuu kolmiulotteisesti, mutta toiminta perustuu pitkälti tiedon konvertoimiseen, mm. 2D-kuvien tuottamiseen suunnitteluprosessin eri vaiheissa. Oleellista tietoa häviää tai jää käyttämättä eikä malli palvele rakennelman elinkaariaikaisia tietoja, sen ollessa ainoastaan suunnittelijan käytössä. Suunnitelmatiedoista ei viedä suoraan ylläpidon järjestelmiin juuri lainkaan informaatiota, vaan suurin osa siitä inventoidaan maastossa tai muulla tavoin. Työmaalla tapahtuva muutossuunnittelu voi pahimmillaan johtaa useiden viikkojen myöhästymisiin. Tietomallinnuksella pyritään parantamaan hankkeen sisäistä tiedonsiirtoa aina suunnittelusta hallintaan. Tietomallinnusajattelussa pyritään tiedon siirtämisen ja konvertoimisen sijaan sen jakamiseen. [1; 2; 3.]



Kuva 1. Tietomallipohjainen hanke – tietoa jaetaan. [2.]

## 2.2 InfraBIM

InfraBIM eli infran tietomalli on talonrakentamisen malliin verrattuna hieman moniulotteisempi kokonaisuus, sillä väylärakenteiden pinnat ja rakenteet eivät taloelementtien tapaan noudata säännönmukaisuutta ja symmetriaa. Infra-alalle on valmistumassa alan toimijoiden yhteistyönä omat tietomalliohjeet, joiden tarkoituksena on yhtenäistää toimintatapoja ja edistää tiedonhallintaa ja tietomallien käyttöä infrahankkeissa. Inframallissa rakennetieto kulkee infrahankkeen eri vaiheiden läpi lähtötietojen hankinnasta ylläpitoon saakka.

Tavallisesti tietomallipohjainen tiedonhallinta tarkoittaa suunnitteluvaiheessa väylärakenteesta muodostettavaa 3D-mallia lähtötietojen avulla. Malliin lisätään rakentamisessa ja ylläpidossa käytettävää ja näissä vaiheissa täydennettävää informaatiota. Prosessi mahdollistaa rakentamisen automaation työkoneohjauksen kautta. Rakennelinjosten ja -pisteiden x-, y- ja z-koordinaatit mahdollistavat paikalleenmittauksen, mutta tietomallintamisen periaate ilmenee, kun mittalaitteelle kerrotaan mitä rakennetta ollaan paikalleen mittaamassa. Mikäli työmaalla poiketaan suunnitellusta, voidaan muutos dokumentoida takaisin tietojärjestelmään toteutumamittausten yhteydessä. [2; 4.]

## 2.3 Koneohjaus

Koneohjauksen laajempaa käyttöönottoa ovat edistäneet mm. mittauslaitteiden ja satelliittijärjestelmien kehittyminen. Nykyisin infrarakennuskohteissa on paljon koneohjausta ja automaatiota mahdollistavaa kolmiulotteista aineistoa. Perinteisenä tapana on ollut digitaalisen mallin siirtäminen maastoon merkkien avulla mittaajan toimesta. Infra-alan tietomallinnuksen myötä ollaan siirtymässä mallipohjaiseen 3D-koneohjaukseen. Suunnitteluohjelmistot tuottavat suunnitelma-aineiston kolmiulotteisena tietomallina joka voidaan toimittaa koneohjaukseen eri formaateissa. Suunnittelijalta saatu malli ladataan työkoneen ohjausjärjestelmään, jota voidaan käyttää koneen hydraulikan ohjaamisessa tai kuljettajan opastinjärjestelmänä. Esimerkki työkoneen ohjausjärjestelmästä on esitetty kuvassa 2. Työkoneen sijainti määritetään esimerkiksi satelliittipaikannuksella ja koneen sensorit ohjaavat sen oikeaan korkoon ja kallistukseen. [18; 19.]



Kuva 2. Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmä (Novatron.fi).

## 2.4 Tiedonsiirtoformaatit

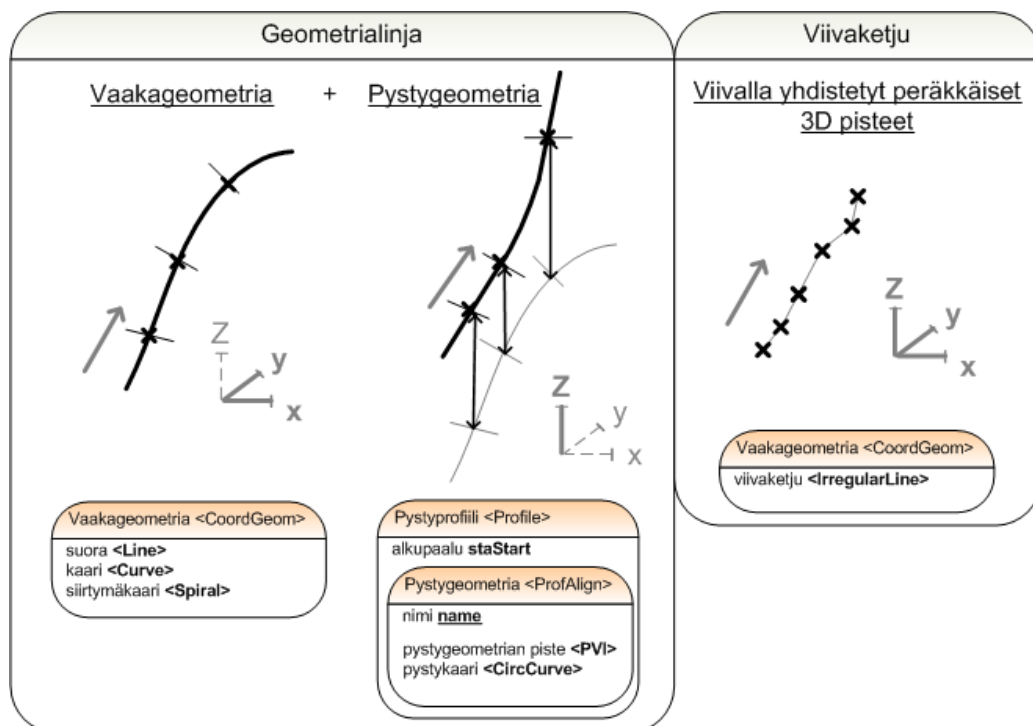
Tiedonsiirtoformaatti on muoto tiedolle, jota tulkitaan, tallennetaan, siirretään ja arkistoidaan tietokonesovelluksella. Tiedonsiirto on oleellinen osa infran koko elinkaarta. Tietoa siirtyy eri ohjelmistojen välillä jatkuvasti. Tietotekniikan kehitys ohjelmistotasolla ja aineistojen käsittelyssä on tuottanut useita erilaisia formaatteja. Kun tietoa siirretään formaatista toiseen, haasteena on alkuperäisformaatista siirtyvän tiedon säilyminen. Infranhankkeille ominaista karttamuotoista tietoa on perinteisesti siirretty CAD-ohjelmiin perustuvissa formaateissa kuten AutoCADin dxf- ja dwg-muodossa sekä Microstationin dgn-formaatissa. Osa tiedoista, kuten maastomallit ja pohjakartat ovat siirtyneet vaivattomasti, mutta esim. vesihuoltoverkostojen ja väylärakenteiden siirto on ollut aikaisemmin haastavaa, ellei jopa mahdotonta. [5; 9.]

### 2.4.1 LandXML

LandXML perustuu nimensä mukaisesti XML-standardiin. XML (lyhenne sanoista *eXtensible Markup Language*) on merkintäkieli, jonka avulla kuvataan tietoa ja sen merkitystä. Varsinaisen tiedon lisäksi, XML säilöo itseensä myös tiedon nimen, ominaisuudet ja tietotyyppin. XML perustuu dataa kuvaavien elementtien ja näiden ominaisuuksien määrittelylle, jotka kuvaavat sekä tietoa, että sen rakennetta. [5; 9.]

## 2.4.2 Inframodel

Inframodel on LandXML-standardiin perustuva, avoin menetelmä infratietojen siirtoon. LandXML-standardia on tarkennettu ja sovellettu pohjoismaiseen käytäntöön ja siihen on lisätty rakennelaajennuksia täydentämään perusstandardissa olevia puutteita. Inframodel tarjoaa aikaisempiin erilaisiin tekstiformaatteihin verrattuna laajemman ja luotettavamman tavan siirtää tietoa. Inframodel-hanke käynnistettiin Tekesin Infra-teknologiaohjelmassa vuosina 2001-2005 ja 1.0-versio julkaistiin maaliskuussa 2006. Inframodelin määrittäminen ja käyttöönoton tehostaminen jatkuu InfraTM-hankkeen InfraFINBIM-työpaketissa. Tähän mennessä työpaketin yhtenä konkreettisena tuloksena on määritelty Inframodel3-tiedonsiirtomenetelmä. Tavoitteena on, että formaatti olisi kattavassa käytössä infra-alan suunnittelu-, mittaus- ja koneohjaussovelluksissa vuoden 2014 alkuun mennessä. Kuvassa 3 on esitetty väylän geometrialinjoiden koodikielinen kuvaus. [5; 9.]



Kuva 3. Geometrialinjoiden kuvaus inframodelissa (InfraModel2 -kotisivu).

### 3 Katujen suunnittelu ja katurakenteet

#### 3.1 Kadun merkitys kaupunkirakenteessa

Kadulla on useita toiminnallisia merkityksiä. Katuverkko on kokonaisuudessaan kaupunkirakennetta koossapitävä tukiranka ja kaupunkikuvaa luova elementti. Katu yhdistää kaupungin alueet ulkoiseen liikenneväyläverkkoon, reuna-alueet keskustaan ja toisiinsa. Katu toimii myös kunnallisteknisten verkostojen sijoituspaikkana sekä oleskelu- ja tapaamisalueena ja sen tehtävät määräytyvät pitkälti sitä ympäröivästä maankäytöstä. [6; 7.]

#### 3.2 Katujen toiminnallinen luokitus

Kadun toiminnallinen luokitus vaikuttaa merkittävästi katutilan ja kadun poikkileikkauksen mitoittamiseen. Kadut jaetaan toiminnallisesti seuraaviin katuluokkiin:

- Pääkadut
- Kokoojakadut
- Tonttikadut.

Katuluokkien merkitys liikenneverkossa sekä katuluokalle ominaiset piirteet on esitetty taulukossa 1 [7].

**Taulukko 1.** Toiminnallisten katuluokkien ominaispiirteet. [7.]

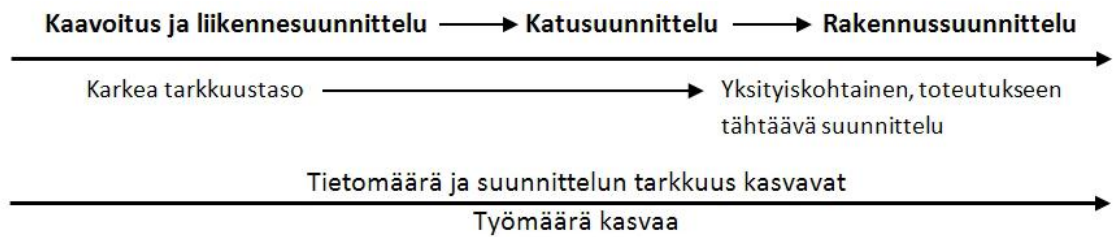
| Katuluokka   | Merkitys liikenneverkossa                                   | Nopeusrajoitus                                | Kadun geometria   | Ominaisuudet  |
|--------------|---|---|---|---|
| Pääkadut     | Yhdistää kaupunginosat toisiinsa                            | Kokooja- ja tonttikatua suurempi, 50-60 km/h. | Sujuvaa ja suuripiirteistä.                                 | Ajoradat usein keskikaistalla toisistaan erotettuina.<br><br>Molemmin puolin reunakivellä tai välikaistalla eroteltu kevyenliikenteenväylä. |
| Kokoojakadut | Yhdistävät tonttikadut pääkatuun tai toiseen kokoojakatuun. | 30-50 km/h                                    | Pääkatua pienipiirteisempi ja kapeampi.                     | Kevyt liikenne usein ajoradasta erotettuna.   |
| Tonttikadut  | Mahdollistavat ajoyhteyden tonteille.                       | 30-40 km/h                                    | Kapea ja pienipiirteinen, ajonopeutta rajoittava geometria. | Risteävien katujen määrä on vähäinen.   |

### 3.3 Katusuunnitteluprosessi

Kadut ovat osa ihmisen toiminnan ja sitä palvelevan yhdyskuntarakenteen kehitystä. Katusuunnittelun tarve syntyy tämän kehityksen myötä mm. kaavan laatimispäätöksestä tai kadun laatutason parantamisesta. Katusuunnittelu liittyy tiiviisti kaavoitukseen, perustuen kaupungin tai kunnan laatimiin, vahvistettuihin asemakaavoihin. Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan katujen suunnittelu ja toteuttaminen kuuluvat lähes poikkeuksetta kunnalle. [5; 7.]

Suurin osa katusuunnittelun lähtökohdista määritetään asemakaavoituksen yhteydessä. Katu suunnitellaan kaavassa osoitetulle katualueelle, joka määrittää kadun ja siihen liittyvien toimintojen sijainnin, leveyden ja likimääräisen korkeusaseman. Asemakaavoitusvaiheessa syntyy asemakaavakartan ja -selostuksen lisäksi suuri määrä erilaatuista suunnitelma- ja tietoaineistoa, jota voidaan hyödyntää katusuunnittelussa tarpeen mu-

kaan. Suunnittelun tarkkuus sekä työ- ja tietomäärät kasvavat suunnitteluprosessissa kuvan 4 mukaisesti. [5; 7.]



Kuva 4. Katuhankkeen vaiheistus. [7.]

Katusuunnittelu voidaan jakaa kahteen vaiheeseen: katusuunnitelman ja kadun rakennussuunnitelman laatimiseen. [7.]

### 3.3.1 Katusuunnitelma

Katusuunnitelmassa esitetään kadun sijainti ja toiminnalliset alueet kartalla. Se on esitysasultaan karkeampi, sisältäen mm. kadun pysty- ja vaakageometrian, katutilan käytön sekä likimääräiset korkeusasemat kadulla ja katualueen rajoilla. Katujohtojen osalta katusuunnitelman vahvistaminen edellyttää vain hulevesiviemäroinnin ja kuivatuksen suunnittelua. Katusuunnitelmaa koskevat maankäyttö- ja rakennuslain mukaiset sisältövaatimukset ja se tehdään kaikille asemakaava-alueen kaduille. Sisältö- ja ulkonäkövaatimukset voivat kuitenkin vaihdella kunnittain. [5; 8.]

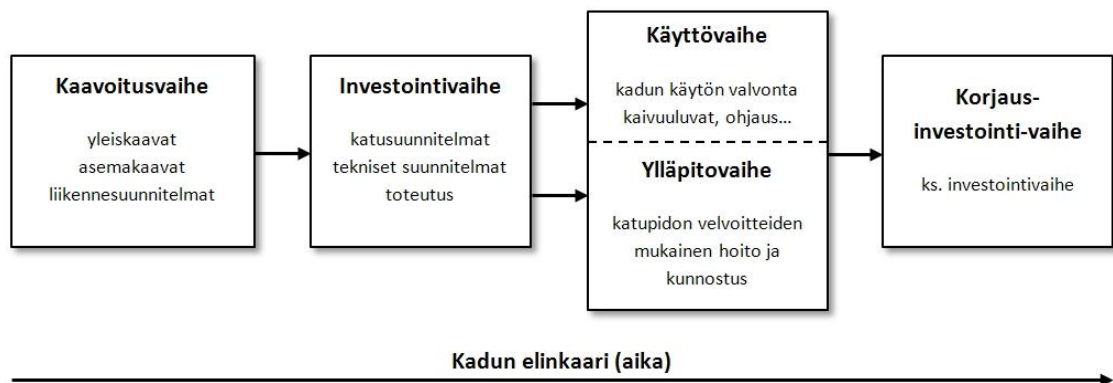
### 3.3.2 Kadun rakennussuunnitelma

Kadun rakennussuunnittelussa laaditaan katusuunnitelman pohjalta rakentamisessa tarvittavat suunnitelmat, asiakirjat ja tietoaineistot. Katusuunnitelmaa täydennetään määrittämällä yksityiskohtaisesti kadun tekniset ratkaisut, rakennustekniset työt sekä massa- ja määrätiedot. Varsinaisen katurakenteen lisäksi rakennussuunnitelmassa esitetään johtojen sijainnit ja rakenteet, liikenteenohjauslaitteet ym. yksityiskohdat. Rakennussuunnittelussa laaditaan lisäksi katuhankkeelle kustannusarvio rakennuttajan käyttöön. Katusuunnitelman tavoin, rakennussuunnitelman sisältö ja ulkonäkö vaihtelevat kunnittain. [5; 8.]

### 3.4 Kadun elinkaari

Katu tulee suunnitella ja rakentaa siten, että se täyttää elinkaarensa aikana sille asetetut ja ajan myötä muuttuvat vaatimukset mahdollisimman hyvin. Kadun elinkaari voi olla useista kymmenistä vuosista sataan vuoteen. Iän myötä kadun kunto, toimivuus ja käyttökelpoisuus heikkenee. Elinkaarta voidaan pidentää erilaisin rakentamistoimenpitein. Kadun elinkaari päättyy, kun katualue otetaan muuhun käyttöön, esimerkiksi muuttamalla se rakennuskortteliksi tai virkistysalueeksi. [7.]

Kadun elinkaari jakautuu useisiin eri vaiheisiin kuvan 5 mukaisesti. Katu syntyy kaavoitus- ja investointivaiheiden tuloksena. Investointivaiheessa katu suunnitellaan ja rakennetaan lopulliseen muotoonsa. Käyttö- ja ylläpitovaiheessa katutila on ihmisten käytössä ja katua pidetään käytön edellyttämässä kunnossa. Korjaus-investointivaiheessa katujen kuntoa, toimivuutta ja käyttökelpoisuutta parannetaan vaatimusten edellyttämään tasoon. [7.]



Kuva 5. Kadun elinkaaren vaiheet. [6.]

Katuhankkeen elinkaariaikaisia tietoja pystytään infran tietohallinnan tavoitetilassa hyödyntämään joustavasti monin eri tavoin. Tieto rakenteiden nykytilasta ja historiasta voidaan tallettaa hankkeen tietovarastoihin, yhdistämällä suunnittelumallit, ”näin tehty”-mallit (*as built*) ja erilaiset rekisteritiedot. Arkistoon tallentuu tilannekuva suunnittelu- ja mallitiedoista hankkeen investointivaiheen päättyessä. [9.]

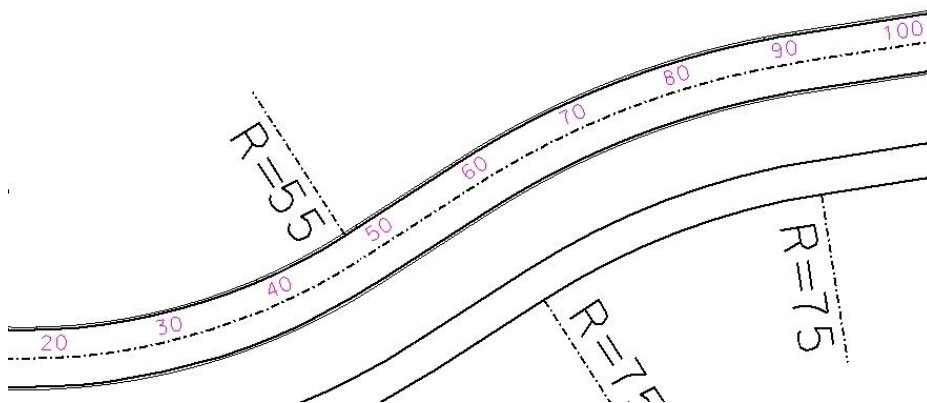


### 3.5 Kadun geometria

Kadun geometria muodostuu vaaka- ja pystygeometriasta. Geometriaan vaikuttavat katua ympäröivät tonttien tasot, nopeustaso sekä katuympäristölle ja kaupunkikuvalle asetetut tavoitteet. [7.]

#### 3.5.1 Vaakageometria

Kadun vaakageometrialla tarkoitetaan suorista ja kaarista muodostuvaa linjaa, joka määrää kadun sijainnin suunnitelmakartalla ja maastossa. Kadun linjaus määrätään pituussuuntaisen mittalinjan avulla. Yksiajorataisella kadulla mittalinja on sijoittunut ajoradan keskelle, jolloin se kuvaa parhaiten ajoradan geometrisiä ominaisuuksia. Kadun linjaus määritellään pääosin jo asemakaavassa ja yleissuunnittelun yhteydessä. Linjauksen muotoon vaikuttavat mm. liittymien sijainti, näkemät sekä mitoitusnopeus. [7; 8.]

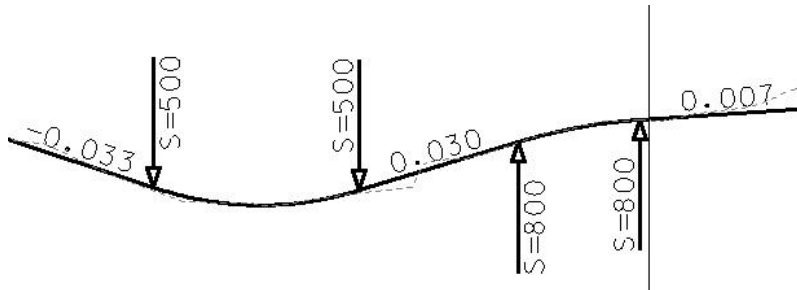


Kuva 6. Vaakageometrian kuvaus kadun pituussuuntaisen mittalinjan avulla.

#### 3.5.2 Pystygeometria

Kadun pystygeometrialla eli tasauksella tarkoitetaan kadun pinnan korkeusvaihteluita kadun pituussuunnassa. Tasausviiva sijoitetaan yleensä mittalinjan mukaisesti ajoradan keskelle, jolloin kadun pysty- ja vaakageometriaa tarkastellaan saman linjan suuntaisesti. Näin katulinja onkin kolmiulotteinen avaruusviiva. Paras geometria saavutetaan siten, että vaaka- ja pystygeometrian muutoskohdat ovat samalla kohtaa. Kun pystygeometrian pyöristyssäteiden ja vaakageometrian kaarresäteiden arvojen välinen

suhde on oikea, kadun ulkonäkö on harmoninen ja kuljettaja pystyy ennakoimaan kadun kaarevuuden muutoksia (ns. optinen ohjaus). [5; 7.]



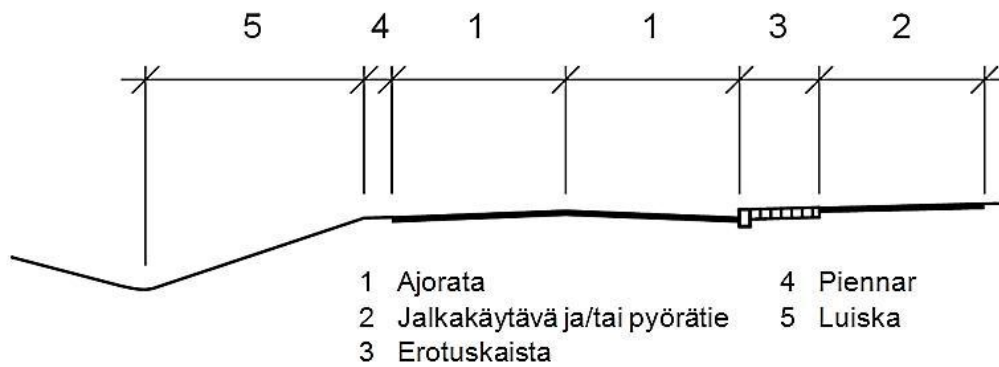
Kuva 7. Esimerkki kadun pystygeometrian kuvaamisesta.

### 3.5.3 Sivukaltevuus

Sivukaltevuudella tarkoitetaan ajoradan ja pientareen pinnan kaltevuutta katulinjaa vastaan kohtisuorassa tasossa. Kadun ajorata pientareineen suunnitellaan kuivatussyistä sivusuunnassa viettäväksi. Kaarteissa sivukaltevuutta vaaditaan kuivatussyiden lisäksi ajodynamiikan parantamisen vuoksi. Sivukaltevuuden vähimmäisarvot määräytyvät kuivatuksen perusteella. Kadun pinnalle tuleva vesi on saatava poistumaan riittävän nopeasti. [7; 10.]

### 3.5.4 Kadun poikkileikkaus

Kadun poikkileikkaukseen vaikuttavat katualueella käytävissä olevan tilan riittävyys, kadun liikenteelliset tehtävät ja sen toiminnallinen luokitus sekä ympäröivän maankäytön asettamat vaatimukset. Päätekijöinä ovat ajoradat, kevyenliikenteenväylät ja niiden erottamiseen tarvittavat kaistat. Katutila tulee mitoittaa ottaen huomioon myös luiskien ja avo-ojien, johtojen, valaisinten, liikenteenohjauslaitteiden sekä lumen varastoinnin tilantarpeet. Kuvassa 8 on esitetty, millaisiin toiminnallisiin osiin katupoikkileikkaus voidaan jakaa. [7; 10; 11.]



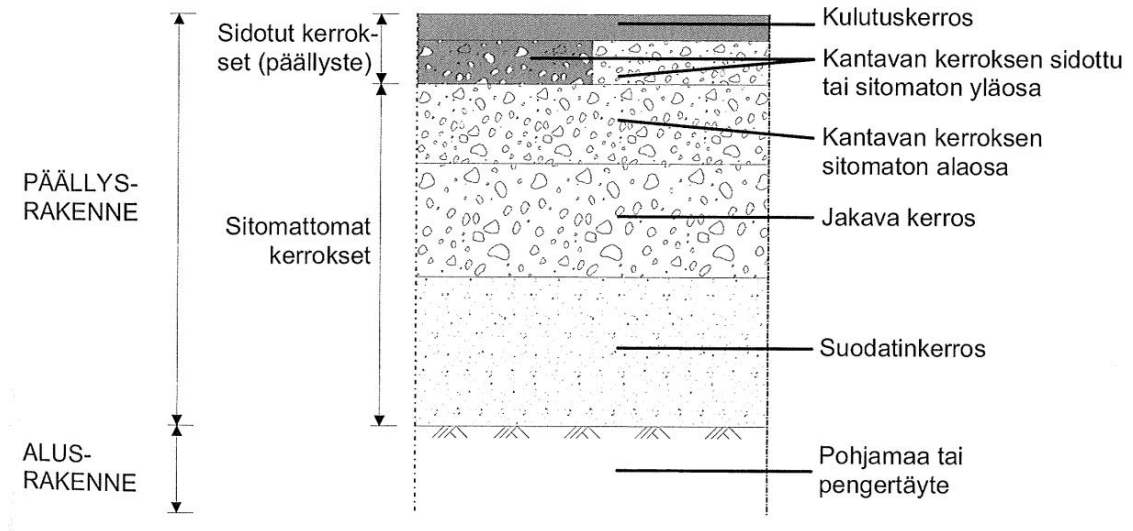
Kuva 8. Katupoikkileikkauksen osat. [8.]

### 3.6 Kadun rakennekerrokset

Katurakenne koostuu syvyysuunnassa päällys- ja alusrakenteesta. Alusrakenteella tarkoitetaan leikkauksen kohdalla tiivistettyä pohjamaata ja penkereen kohdalla pengertäytettä. Alusrakenteen tulee muodostaa päällysrakenteelle riittävän tasalaatuinen, painumaton ja kantava alusta. [7.]

Päällysrakenne on alusrakenteen päälle tuleva rakennekokonaisuus, jonka tehtävänä on ottaa vastaan kadulle muodostuvat kuormitukset ja jakaa ne mahdollisimman tasaisesti laajalle alueelle alusrakennetta. Päällysrakenteen tulee myös rajoittaa ja pienentää routanousuja. [7.]

Suomessa yleisin päällysrakennetyyppi on kerroksellinen, ns. joustava päällysrakenne. Se koostuu bitumisella sideaineella sidotusta päällystekerroksesta sekä sitomattomista kerroksista, kuvan 9 mukaisesti. [7.]



Kuva 9. Tavanomainen joustava päällysrakenne. [7.]

### 3.6.1 Päällystekerros

Päällystekerros voidaan jakaa kulutus- ja sidekerrokseen. Myös mahdollinen kantavan kerroksen sidottu osa voidaan katsoa kuuluvan osaksi päällystekerrosta. Kulutuskerroksen toiminnallisena tehtävänä on muodostaa pinta, joka on turvallinen, miellyttävä ja taloudellinen ajaa. Rakenteellisena tehtävänä on puolestaan muodostaa rakenteelle vettä mahdollisimman vähän läpäisevä kerros, jolloin minimoidaan veden pääsy tierakenteeseen. Kulutuskerros lisää myös päällysterakenteen yläosan jäykkyyttä. [7.]

### 3.6.2 Kantava kerros

Kantavan kerroksen tehtävä on muodostaa päällysteelle jäykkä ja kantava alusta, jotta liikennekuormituksen aiheuttamat rasitukset päällysteessä eivät kasva liian suuriksi. Ajoratojen kantava kerros tehdään sora- tai kalliomurskeesta. [7.]

### 3.6.3 Jakava kerros

Jakavan kerroksen tehtävänä on toimia kantavan kerroksen tavoin päällysteelle kohdistuvan rasituksen vastaanottamisessa. Lisäksi jakava kerros jakaa kuormia niin, etteivät alusrakenteen rasitukset muodostu liian suuriksi. Jakava kerros tehdään tavallisesti luonnonkiviaineksesta. [7.]

#### 3.6.4 Suodatinkerros

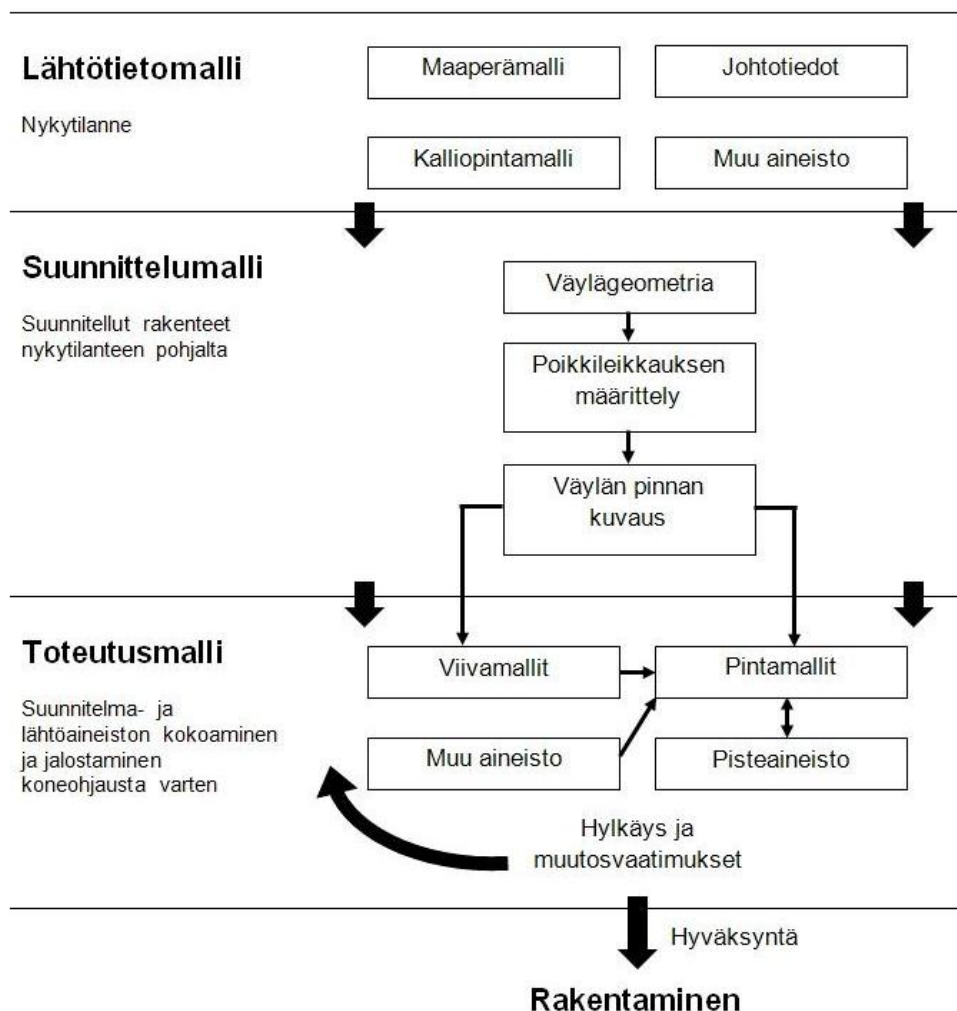
Suodatinkerroksen tehtävänä on estää päällysrakenteen ja alusrakenteen materiaalien sekoittuminen keskenään sekä katkaista veden kapillaarinen nousu alusrakenteesta ylempiin rakennekerroksiin. Suodatinkerros kasvattaa lisäksi routimatonta päällysrakennepaksuutta, mikä vähentää alusrakenteen routimisesta aiheutuvia routanousuja. Suodatinkerros tehdään hiekasta tai se korvataan kuitukankaalla. [7.]

## 4 Tietomallipohjainen katuhanke

### 4.1 Tietomallinnuspohjaisen suunnittelun prosessi katuhankkeessa

Mallinnusprosessi voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen taulukon 2 mukaisesti. Suunnittelumallissa väylän geometria, poikkileikkaus ja väylän pinnan kuvaus muodostetaan lähtötietojen eli nykytilanteen pohjalta. Lähtötieto- ja suunnittelumalli yhdistetään toteutusmalliksi jota hyödynnetään rakentamisessa mallin hyväksymisen jälkeen. [12.]

**Taulukko 2.** Mallipohjainen prosessi – toteutusmallin muodostaminen suunnittelu- ja lähtötietojen pohjalta. [12.]



#### 4.1.1 Lähtötietomalli

Lähtötietomalli on kaksi- ja kolmiulotteinen kuvaus hankkeen suunnittelualueen nykytilasta. Se on sovituslainen tapa koota, muokata ja dokumentoida suunnittelun lähtötiedot formaattiin, joka palvelee tietomallipohjaista suunnittelua. Suunnittelun lähtötiedoiksi hankitaan tiedot maaston muodosta ja maaperäolosuhteista sekä merkittävistä kunnallistekniikan laitteista ja muista rakenteista. Tiedot hankitaan kaupungeilta, kunnilta, laiteomistajilta ja muilta erinäisiltä tahoilta. Lähtötietojen pohjalta laaditaan lähtötietomalli. Laatiminen voi olla osa suunnitteluhanketta tai malli voidaan laatia erikseen ja luovuttaa suunnittelijan käyttöön hankkeen alussa. [13; 14.]

**Taulukko 3.** Lähtötietomallin rakenne ja sen osien määritelmät. [15.]

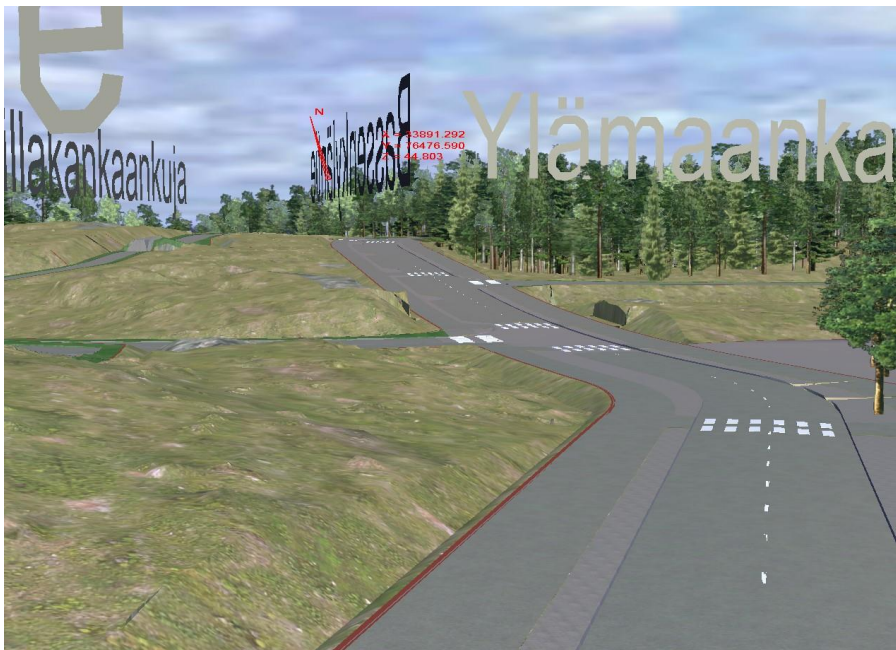
| LÄHTÖTIETOMALLI           |   |
|---------------------------|---|
| Maastomalli               | Kuuaa nykyisen maaston pintaa. Maastomalli koostuu mitatuista ja luokitelluista pisteistä ja viivoista, joista muodostetaan kolmioitu pintamalli.                               |
| Maaperämalli              | Kuuaa maanpinnan alapuolisia maakerroksia ja kallionpintaa. Rajapinnat tulkitaan mm. maastomallia ja maaperätutkimuksia apuna käyttäen ja esitetään kolmioituina pintamalleina. |
| Rakenteet ja järjestelmät | Kaikki suunnittelualueella sijaitsevat nykyiset rakenteet ja järjestelmät.  |
| Kartta- ja paikkatieto    | Temaattiset aineistot, kuten kartta-, kaava- ja paikkatietoaineistot. Pääsääntöisesti kaksiulotteisessa muodossa.   |
| Muu aineisto              | Kaikki muu mahdollinen aineisto, kuten luvat ja lausunnot sekä ilma- ja ortokuvat.  |

#### 4.1.2 Suunnittelumalli

Suunnittelumalli kattaa suunnittelijan luomat ratkaisut ja palvelee katu- ja rakennus-suunnitteluvaihetta. Tässä vaiheessa katu sovitetaan katualueelle ja väylän geometria ja poikkileikkaus määritellään. Suunnittelun lähtöaineistona toimii lähtötietomalli eli kadun rakenteet suunnitellaan nykytilanteen pohjalta. [15; 16.]

Katusuunnitelmavaiheessa mallinnuksen tarkkuusvaatimuksena on, että suunniteltavan kadun tilanvarauksesta sekä kuivatus- ja pohjanvahvistusratkaisuista voidaan olla varmoja. Rakennetussa ympäristössä on kuitenkin syytä tehdä jo hyvinkin tarkkoja tarkasteluja. Perinteiseen suunnittelutapaan verrattuna, tietomallin pohjaisessa suunnittelussa siirrytäänkin jo melko varhaisessa vaiheessa detaljitasolle. Katusuunnitelmavaiheessa rakennemallin ei tarvitse olla kaikilta osin jatkuvuudeltaan yhtenäinen, sillä rakennemallia ei vielä tässä vaiheessa ole tehty tuotantoa varten. [15.]

Suunnittelumallista voidaan jalostaa 2-ulotteinen katusuunnitelma-aineisto ja tarvittaessa virtuaalimalli. Esimerkki virtuaalimallista on esitetty kuvassa 10. Virtuaalimallia käytetään esittelytarkoituksissa havainnollistamaan suunniteltua hanketta. Malli voidaan tehdä visuaalisesti todentuntuiseksi sisällyttämällä siihen rakennepintojen tekstuureja, valoja, varjoja ja muita detaljeja. [16.]



Kuva 10. Kuvakaappaus Bassenkylän virtuaalimallista.

#### 4.1.3 Toteutusmalli

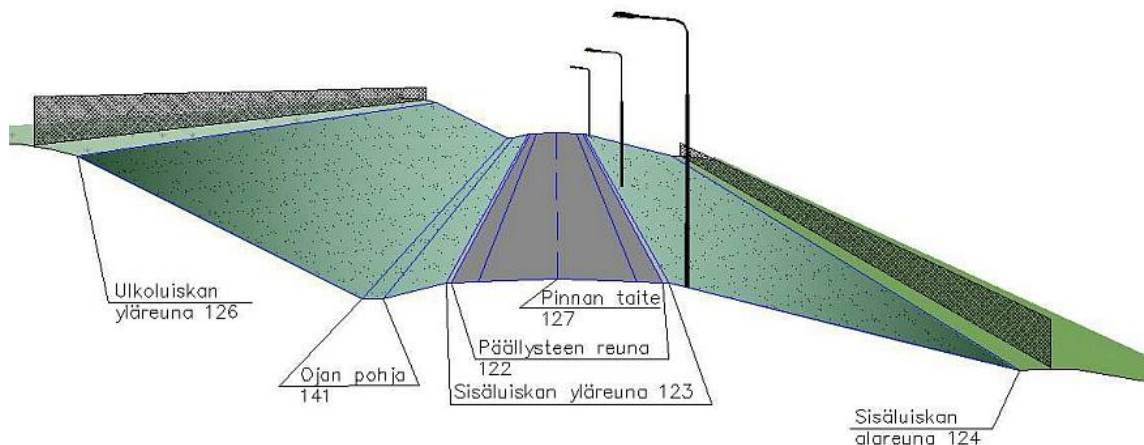
Kadun toteutusmalli on valmiista suunnittelumallista kadun toteutusvaihetta varten jalostettu malli. Se muodostetaan kokoamalla yhteen suunnitelma- ja lähtöaineisto. Toteutusmalli koostuu useiden eri rakennepintojen kokonaisuuksista. Lähtökohtaisesti mallinnustyö sisältää kaikki rakentamiseen vaadittavat pinnat rakennusosille, joiden



toteutuksessa hyödynnetään koneohjausta. Sisältövaatimukset voivat tosin olla hankekohtaisia ja joidenkin pintojen mallintamatta jättämisestä sovitaan erikseen. Toteutusmalli koostuu pääsääntöisesti seuraavista Infra 2006 rakennusosa- ja hankenimikkeistön mukaisista rakennusosista [15.]:

- 1400 Pohjarakenteet
- 1600 Maaleikkaukset ja -kaivannot
- 1800 Penkereet, maapadot ja täytöt
- 2100 Päällysrakenteen osat.

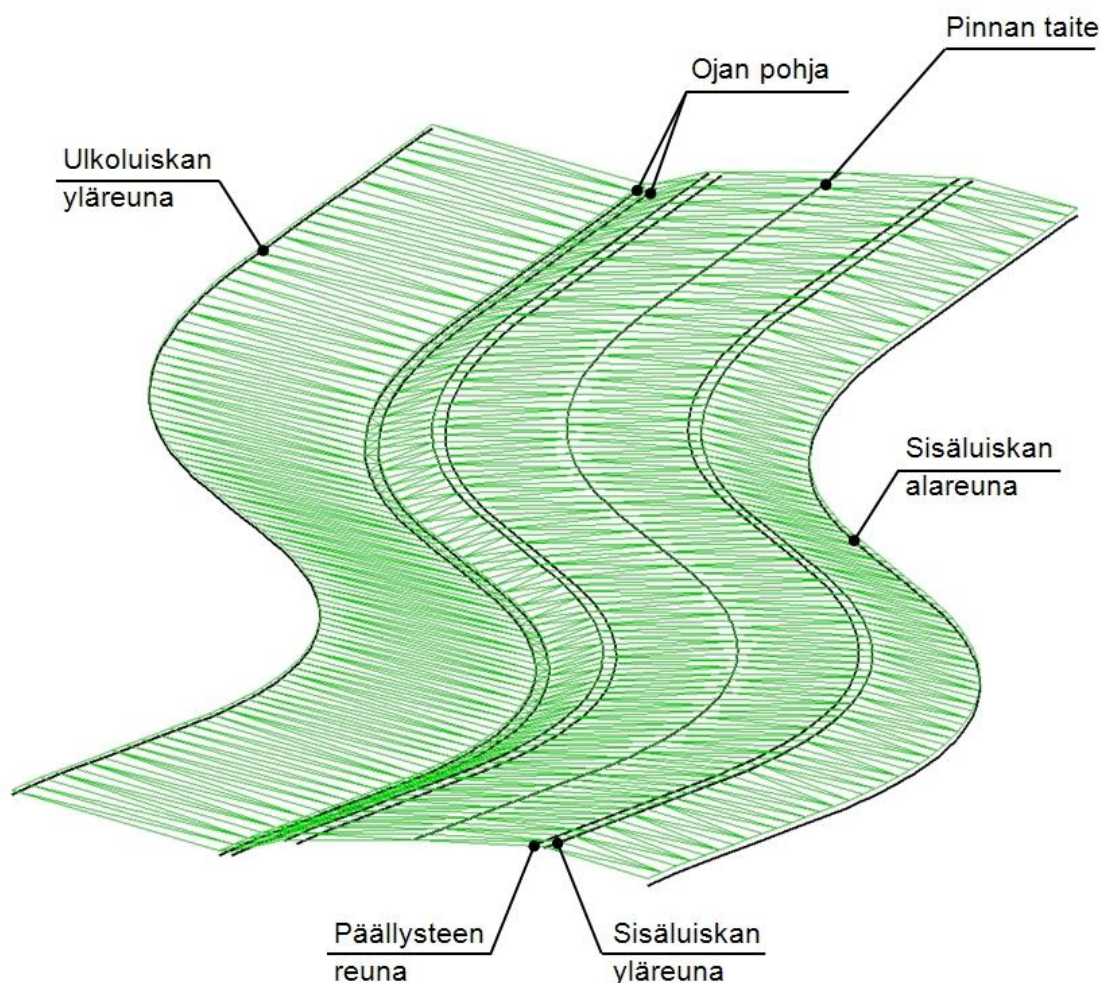
Väylärakenne kuvataan rakennepintoina, jotka muodostuvat nimetyistä taiteviivoista. Taiteviiva on useista suorista viivoista koostuva ketju, jossa edellisen viivan loppupisteen ja seuraavan viivan alkupisteen x-, y- ja z-koordinaatti ovat täsmälleen samat. Rakennepintojen ja taiteviivojen numerointi- ja nimeämiskäytännöt ovat InfraBIM-nimikkeistön mukaisia. [15.]



Kuva 11. Toteutusmallin ylimmän yhdistelmäpinnan taiteviivojen nimet ja koodit InfraBIM-nimikkeistön mukaisesti (Parantala & Snellman, 2013).

Mallin rakennepinnoista mallinnetaan lähtökohtaisesti vain ne viivat, joiden kohdalla rakennepinnassa on taite tai viiva on muulla tapaa merkityksellinen. Kadun mittalinja mallinnetaan aina, vaikka katu olisi kalteva vain yksipuolisesti. Lopullisen toteutusmallin tulee sisältää kaikki taiteviivat, pintojen on oltava yhtenäisiä eikä päällekkäisiä taiteviivoja saa esiintyä. [15.]

Rakennussuunnitteluvaiheessa tuotetun toteutusmallin tulee olla yhdenmukainen ja suoraan työkoneohjausjärjestelmän käyttöön soveltuva jatkuva 3D-malli. Toteutusmallissa kaikkien taiteviivojen jatkuvuus on erittäin tärkeää. Myös katu- ja kiertoliittymien sekä rakenteen vaihtumiskohtien taiteviivojen tulee olla kauttaaltaan jatkuvia. Mikäli taiteviiva-aineistossa on aukkoja, ei toteutusmalli kolmioidu oikein eikä sellaisenaan sovellu työkoneohjaukseen. Kuvassa 12 on esitetty yksinkertaisen katulinjan pinnan taiteviivoista luotu kolmioverkkomalli. [15.]



Kuva 12. Väylän taiteviivat (paksimmat, tummennetut viivat) ja niistä luotu kolmioverkkomalli.

Koneohjaukseen toimitetaan urakoitsijan toiveiden mukaisesti joko taiteviiva-, kolmioverkko- tai niiden yhdistelmä. Käytettävä tiedonsiirtoformaatti on LandXML-standardin mukainen inframodel3-formaatti. [15.]

#### 4.2 Tietomallipohjaisen ja perinteisen suunnittelun erot

Käytännössä kaikki nykyiset suunnitteluohjelmat ovat mallintavia ja suunnittelu on jo vuosien ajan tapahtunut kolmiulotteisesti siten, että mallinnettuihin rakenneosiin on sidottu myös tietoa osasta itsestään. Perinteinen suunnittelu on kuitenkin tiedonhallintatavaltaan dokumenttipohjaista. Suunnittelija tuottaa luomastaan mallista sähköisiä ja paperisia piirustuksia, siirtotiedostoja ja luetteloita, toimittamatta itse mallia rakentamisen tai ylläpidon järjestelmiin. Tieto voi olla hajallaan erillisissä 2D-suunnitelmakeuvissa ja sen ylläpito ja eheyden hallinta kokonaisuutena on haastavaa. Staattisia dokumentteja ei voi tulkita koneellisesti. [2; 17.]

Tietomallinnuksen kehittämisen tavoitetilanteessa hankkeen tiedot ovat standardin mukaisessa muodossa ja käytettävissä suunnittelu- ja laskentasovelluksissa, mittausjärjestelmissä sekä raportoinnissa. Järjestelmien yhteistoiminnallisuus on järkevää katuhankeessa, sillä katualueella on monia eri toimijoita, joista kaikki tekevät tai teettävät suunnittelua, rakentamista, hoitoa ja ylläpitoa. [2.]

Perinteiseen, dokumenttipohjaiseen suunnittelutapaan verrattuna, tietomallintaminen parantaa suunnittelun tarkkuutta. Myös mahdolliset konfliktit ja ongelmakohdat huomataan helpommin ja kolmiulotteista mallia on ylipäänsä helpompi hahmottaa. Tietomallinnuksessa poikkileikkaukslaskennan tiheys on tarkempi, lähestulkoon metrin luokkaa, kun perinteisesti kadun rakennepoikkileikkaukset on esitetty 10-20 metrin välein. Jatkuvalle mallilla ongelmakohdat tulevat näkyviin sen sijaan, että ne jäisivät poikkileikkauksarkastelun ulkopuolelle ja siten suunnittelematta. [2; 23; 24.]

**Taulukko 4.** Dokumentti- ja tietomallipohjainen suunnitelma. [2.]

| <b>Dokumenttipohjainen<br/>suunnitelma</b>   | <b>Tietomallipohjainen<br/>suunnitelma</b>  |
|--|---|
| <b><u>Tiedonhallinta</u></b>   |   |
| Tieto on hajallaan erillisissä suunnitelma-tiedostoissa ja dokumenteissa.  | Tieto on yhdessä eheässä ja jatkuvassa mallissa.  |
| <b><u>Virheiden tulkinta</u></b>   |   |
| Ihmisen tulkitsemana virhemahdollisuudet ovat suuremmat. 2D-suunnitelmakuvista rakenneosien törmäystarkastelu haastavaa.                                   | Mallin voi tulkita ohjelmallisesti. Virheet ja rakenneosien päällekkäisyydet ovat helpommin havaittavissa.                            |
| <b><u>Esitystavat</u></b>  |   |
| Eri tarpeisiin omat, usein 2-ulotteisesti esitetyt dokumentit.   | Mallista voidaan tuottaa 2D- ja 3D-esityksiä, tiedon pysyessä mallin sisällä.   |
| <b><u>Toteutus ja ylläpito</u></b>   |   |
| Työmaan mittamies paikalleenmittaa ja merkitsee rakenneosan maastoon.  | Malli voidaan viedä suoraan koneohjausjärjestelmiin. Mittamiehen rooli ja mittaukseen käytettävä työmäärä vähenevät.                  |
| Suunnitelmatiedolla ei ole suoraa yhteyttä ylläpidon järjestelmiin. Tiedon elinkaari katkeaa arkistoon ja uusiin tarpeisiin vaaditaan uutta tiedonkeruuta. | Tietomalli on siirrettävissä eteenpäin suunnittelun ja sen eri vaiheiden, rakentamisen sekä rekisterien välillä suuntaan tai toiseen. |

### 4.3 Espoon katupilotit

Kadun tietomallipohjaisen suunnittelun sekä rakentamisen aikaisen tiedonsiirron toimivuutta pilotoidaan Espoon kaupungin teettämässä neljässä eri katuhankkeessa. Kohteet ovat ominaisuuksiltaan erityyppisiä ja suunnittelu tapahtuu neljän eri konsulttiyrityksen toimesta eri ohjelmistoilla. Painopiste-eroavaisuus hankkeissa ovat rakennettavien tai saneerattavien katujen maasto-olosuhteet. Tavoitteena on testata tietomallipohjaisen rakennussuunnittelun toimivuutta ohjelmistotasolla sekä digitaalisen suunnitelmätiedon siirtoa työmaan tarpeisiin. [17; 20.]

Espoon katupilottikohteet ovat:

- Bassenkylän asemakaava-alueen kadut
- Vanha kirkkotie liittyvine katuineen
- Tammitie
- Storhemtintie Suurpelto V -asemakaava-alueella.

#### 4.3.1 Katupilottien ominaisuudet

Katupilotit ovat sekä saneeraus- että uudisrakennuskohteita ja ne eroavat ominaisuuksiltaan toisistaan joltain osin. Hankkeet vaihtelevat mm. katumäärältään ja pohjanvahvistustavaltaan. Hankkeiden ominaisuudet on esitetty taulukossa 5.

**Taulukko 5.** Espoon katupilottien ominaisuudet. [22; 23; 24; 25.]

|                        | <b>BASSENKYLÄ</b>  | <b>VANHA<br/>KIRKKOTIE</b>   | <b>TAMMITIE</b>   | <b>STORHEMTINTIE</b>  |
|------------------------|--|--|---|---|
| <b>Sijainti</b>        | Kauklahti  | Nöykkiö  | Nöykkiö   | Suurpelto   |
| <b>Suunnittelija</b>   | Pöyry  | SITO   | FINNMAP Infra   | Ramboll   |
| <b>Ohjelmisto</b>      | Tekla Civil  | CityCad  | Bentley InRoads   | Novapoint   |
| <b>Laajuus</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 15 katua. Pisimpänä Bassenkyläntie, n. 1 km.</li> <li>▪ 2 torialuetta.</li> <li>▪ 4-haarainen kiertoliittymä</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 5 katua. Katupituutta n. 1 km</li> <li>▪ 4 asuntokatu-liittymää</li> <li>▪ Kivetetty aukio/kiertoymyrä</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Noin 400 m pitkä tonttikatu, kevyenliikenteen-kaista ja pysäköintialue.</li> <li>▪ Uusi hulevesiviemäröinti koko kadulle.</li> <li>▪ Vesihuollon siirto ja saneeraus.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Noin 550 m katua</li> <li>▪ Kiertoliittymä ja siihen liittyvät kaksi katua.</li> <li>▪ Uudet jätevesi-, hulevesi- ja vesi-johtolinjat kaivantoineen.</li> <li>▪ Pilaristabilointi</li> </ul> |
| <b>Kadun geometria</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vaakageometrialtaan selkeät katu-<br/>linjat.</li> <li>▪ Ahdas katutila.</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pienipiirteinen, ei kuitenkaan täysin suora.</li> <li>▪ Tasaukseltaan vaihteleva.</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tonttikadulle tyypillinen.</li> <li>▪ Tasaukseltaan vaihteleva. Nousee jyrkästi kohti kääntöpaikkaa.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Haastava geometria</li> </ul>  |
| <b>Maasto</b>          | Neitseellinen kallio- ja metsämaasto.  | Saneerattavia asuntokatuja, tiiviisti rakennetulla pientalo-alueella.  | Saneerattava tonttikatu tiiviisti rakennetulla pientalo-alueella.   | Ei kiinteistöjä. Neitseellinen maasto pehmeikkö-alueella.   |
| <b>Erityispiirteet</b> | Kiertoliittymä. Stabilointi ja massanvaihto. Kalliroleikkauksia.   | Tiheästi vaihteleva kallio- ja maanpinta.  | Vaihteleva kallio-pinta. Siirtymäkii-<br>loja kolmeen otteeseen.  | Kiertoliittymä. Stabiloinnin määrä.   |

#### 4.3.2 Mallinnukselle asetettavat sisältövaatimukset

Pilottihankkeiden suunnittelutyössä tuotettavasta tietomallista tulee saada tiedonsiirrossa ulos vähintään seuraavat tiedot.

- Asfaltin yläpinta pintamallina
- Kantavan kerroksen yläpinta pintamallina
- Päälysrakenteen rakennekerrosten alapinta pintamallina
- Pituus- ja poikkisuuntaiset kaivannot pintamallina
- Massanvaihdon rajat pintamallina
- Reunakivien yläreunan x-, y- ja z-viivatieto
- Vesihuolto, kaukolämpö ja kaapelit verkostomallina
- Stabiloinnin ja paalutuksen pilarien sekä paalujen koordinaatit viivatietona
- Valaistuksen jalustojen yläpinnan x-, y- ja z-pistetiedot
- Istutettavien runkopuiden x- ja y-pistetiedot
- Liikenteenohjausportaalien jalustojen x-, y- ja z-pistetieto.

Työmaalle toimitettavan aineiston sisältö tarkentuu rakentamisen valmistelun yhteydessä, kun urakoitsijan mahdollisuudet tietomallin tietojen hyödyntämiseen ovat selvillä. [21.]

#### 4.3.3 Tilaajan kokemukset ja odotukset tietomallintamisesta

Tilaajan odotuksena tietomallintamisesta on ollut kohteiden tarkka suunnittelu, liittymäalueineen ja muine haastavine kohtineen. Hankkeen kaikkien toimijoiden kannalta on järkevintä, ettei työmaalla tapahtuvaan muutossuunnitteluun tarvitse ryhtyä. Odotuksena on lisäksi rakentamisen tehokkuuden parantaminen. Tarkat tiedot massojen määristä ja kaivutasoista vähentävät turhaa kaivutyötä työmaalla. Tietomallintamisen hyväksi puoleksi on lisäksi koettu mallista vaivattomasti saatavat visualisoinnit sekä putkien ja johtojen risteämien tarkastelu. Tarkkojen johtotietojen myötä putkirikkoja voidaan välttää. [26.]

Pilottihankkeiden suunnitteluvaiheessa on käynyt ilmi, että suunnittelun työmäärä ja kustannukset tulevat kasvamaan toiminnan ollessa pilotointiasteella. Kasvun odotetaan kuitenkin olevan merkittävää vain vallitsevassa opetteluvaiheessa. Ohjelmistot eivät vielä täysin mahdollista jouhevaa suunnittelua epäjatkuvuuskohdissa. Rakentamisessa käytettävien koneiden varustaminen koneohjauslaitteilla tulee olemaan suuri investointi, mutta hyödyt tulevat tilaajan arvion mukaan olemaan investointikustannuksia suurempia. [26.]

Tilaja on yhdessä konsulttien kanssa määrittänyt mallinnuksen sisältö- ja formaattivaatimuksia. Tulevaisuudessa työtapojen rutinoituessa nähdään, ovatko vaatimukset olleet sopivia. Pilotoinnissa mukana olleiden toimijoiden kesken uskotaan, että vaatimukset tulevat paljolti muuttumaan ohjelmistojen mallintamismahdollisuuksien mukaisiksi. [25; 26.]

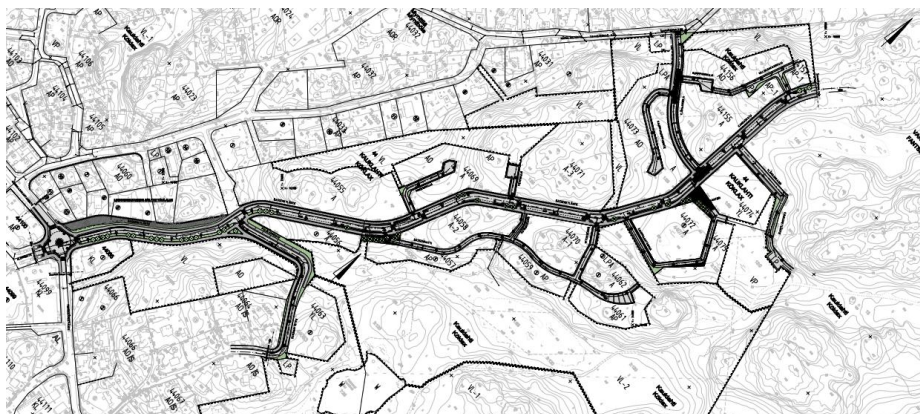
#### 4.4 Bassenkylän asemakaava-alueen kadut

##### 4.4.1 Hankkeen laajuus ja ominaisuudet

Bassenkylä on Espoon katupilottihankkeista alueeltaan ja katumäärältään suurin. Hankkeeseen sisältyy yhteensä 15 erilaista katua. Suurin kaduista on Bassenkyläntie, noin kilometrin pituinen paikallinen kokoojakatu. Lisäksi hankkeeseen sisältyy 2 torialuetta ja merkittävä nelihaarainen kiertoliittymä. Alue on maastoltaan ja topografialtaan neitseellistä kallio-, suo- ja metsämaastoa. Vaihtelevien pohjasuhteiden ansioista rakennusvaiheessa tehdään kallioleikkausta, massa- ja pilaristabilointia sekä massanvaihtoa. [25.]

Katulinjat ovat vaakageometrialtaan selkeitä. Asemakaavassa määrätty katualueet ovat ahtaita, jolloin tyhjää tilaa katualueen ja asemakaavan liikennealueen rajan väliin jää niukasti. Kasvillisuusrakenteina on nurmetusta sekä katupuita, välikaistojen ja vierialueiden tilan puitteissa. Bassenkylän asemakaava-alueen katukartta on esitetty kuvassa 13. [25.]





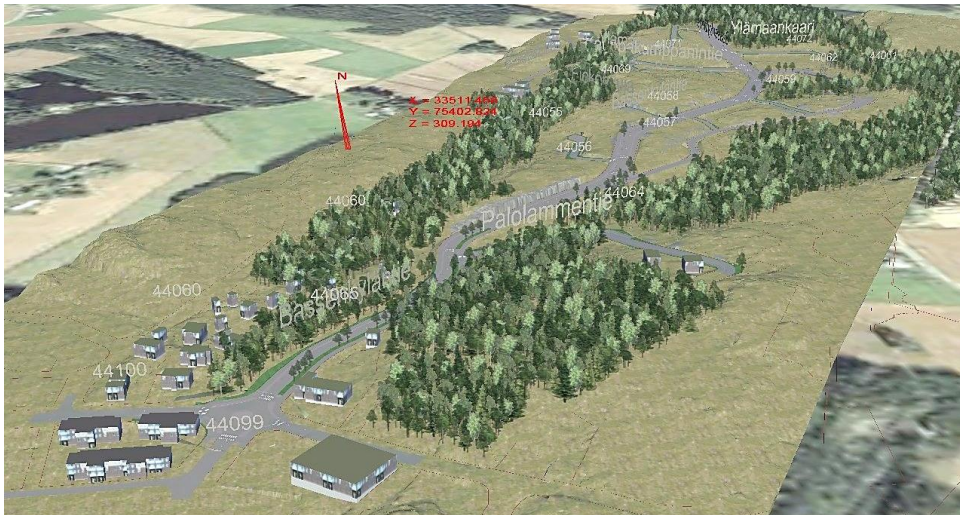
Kuva 13. Bassenkylän asemakaava-alueen kadut.

#### 4.4.2 Lähtötietomallin muodostaminen

Maastomalli muodostui laserkeilausaineiston, avokalliokartoituksen sekä takymetrimittausten tiedoilla ja kalliomalli kairaamalla perinteisin menetelmin. Muita lähtöaineistoja olivat perinteiseen tapaan pohja- ja johtokartta. Olemassa oleva kunnallistekniikka mallinnettiin käsin järjestelmään. Vesijohto sijoitettiin oletuksena n. 2 metrin syvyyteen maanpinnasta, sillä tarkkaa korkeustietoa ei ollut saatavilla. Olemassa olevien katujen asfaltti- ja rakennekerroksia ei mallinnettu, sillä massiivisessa ja aikaa vievässä hankkeessa kaikkea ei ehditty mallintamaan. Ideaalitilanteeseen päästäisiin, mikäli kaikki sekä olemassa olevat että suunnitellut rakenteet saataisiin mallinnettua ja yhdistettyä ylläpitomalliksi. [25.]

#### 4.4.3 Katusuunnitelmavaihe

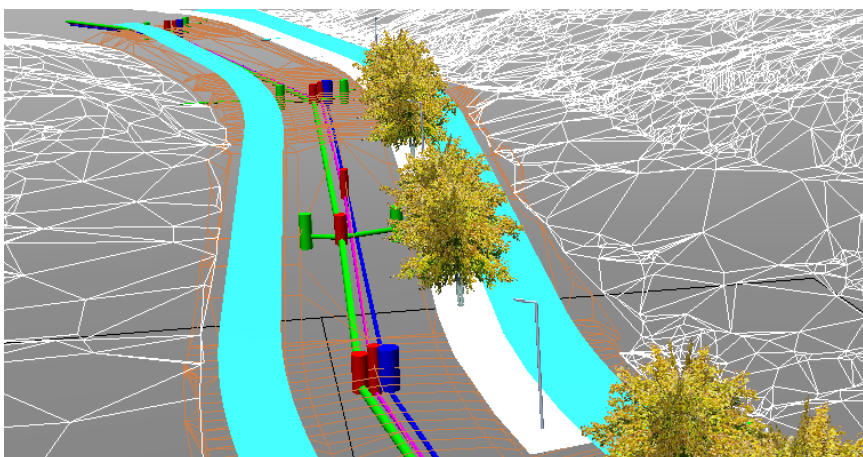
Katusuunnitelmavaiheessa kadut mallinnettiin karkealla tasolla ja mallista luotiin katusuunnitelmapiirustukset sekä virtuaalimalli, joka toimi arvokkaana lisätietona katusuunnitelmien käsittelyssä Espoon teknisessä lautakunnassa. Virtuaalimalli koettiin hyvänä ja havainnollistavana tapana esittää suunniteltua katuhanketta, vaikka sen jalostamisesta kertyy useiden työpäivien tunnit suunnittelijalle ja lisäkuluja tilaajalle. Virtuaalimallin lisätuna on, että suunnittelija voi jo varhaisessa vaiheessa tarkastella mm. geometrioiden sopusointua sekä suunniteltujen pintojen ja maaston välisiä leikkauksia. Kuvassa 14 on esitetty Bassenkylän asemakaava-alueen kadut virtuaalimallissa lintuperpektiivistä. [25.]



Kuva 14. Bassenkylän asemakaava-alueen kadut virtuaalimallissa.

#### 4.4.4 Mallinnustyö ja mallin hyödyntäminen koneohjauksessa

Kuvassa 15 on esitetty mallinnettuja rakenteita ja pintoja suunnitteluohjelman 3D-näkymässä. Suunnittelumalliin mallinnettiin kaikki katurakenteet, tosin suurta osaa tiedoista ei käytetty hyödyksi koneohjauksessa. Esimerkiksi putkikaivantojen pinnat mallinnettiin, mutta työmaalla toivomuksena oli saada ainoastaan putkien viivamalliaineisto. Työmaalle toimitettiin viiva- ja rakentajamallit sekä dwg- että LandXML-muodossa. Aineisto luettiin sisään ja muokattiin koneohjaukselta varten maastomittaustiedon käsitteilyyn tarkoitetulla 3D-Win-ohjelmalla työmaan mittamiehen toimesta. [25.]



Kuva 15. 3D-näkymä Bassenkylän suunnittelumallista. Näkyvissä kunnallistekniikka, katupuut ja -valaisimet, ajorata, vierialueet ja ympäröivä maasto kolmioverkkona, sekä kevyen liikenteen väylien ja välikaistan pinnat.

#### 4.4.5 Pilottihankkeen hyödyt

Pilottihankkeena Bassenkylä on tarjonnut paljon arvokasta tietoa laajan ja olosuhteiltaan vaihtelevan katuhankkeen mallintamisesta. Suunnittelutyön aikana on saatu karotettua työmäärän kasvua ja toimenpiteitä suunnittelun viemiseksi rutiinitasolle tulevaisuudessa. Mallipohjaisessa suunnittelussa ongelmakohtat paljastuvat tehokkaammin ja niihin voidaan jatkossa varautua paremmin suunnittelun aikataulutuksessa. Tärkeimpänä on ollut työmaalta saatu rakentamisen aikainen palaute. Työmaalta saadaan tietoa mallin kelpoisuudesta koneohjaukseen ja siitä, millaista mallitietoa työmaalla halutaan. Moniin haasteisiin ja ongelmakohtiin takertuminen heijastui suunnittelu-aikataulussa, mutta tehosti merkittävästi uusien toimintatapojen oppimisprosessia. Itse suunnittelutyö sujui perinteiseen tapaan. Mallista teetettiin 2-ulotteiset paperiset suunnitelmakuvat, joiden tuottamiseen kulunut aika vaikutti itse mallintamistyön aikatauluun. [25.]

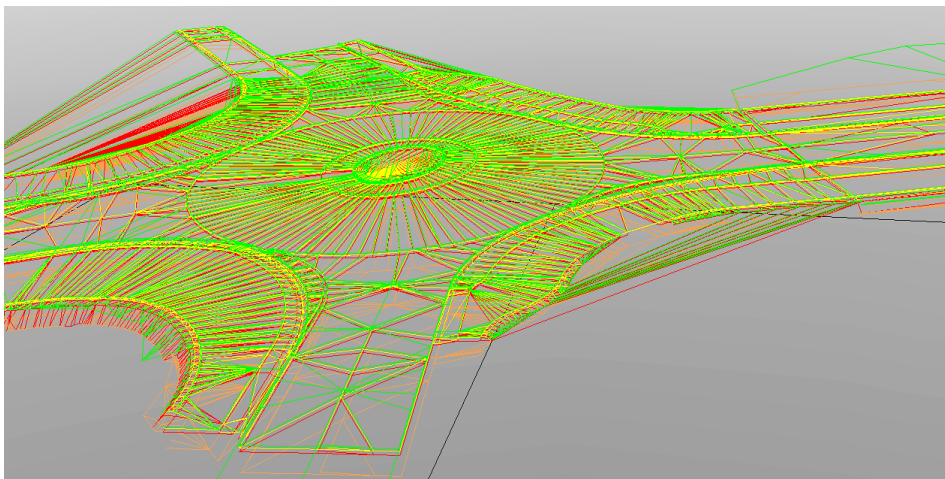
## 5 Tietomallinnuspohjaisen katusuunnittelun haasteet

### 5.1 Katurakenteiden ja kadunkohtien mallintaminen

Perinteisesti katurakenteet on mallinnettu sellaisessa tarkkuudessa, että niiden toimivuus ja oikeellisuus käyvät riittävässä määrin ilmi suunnitelmakuvista. Tietomallinnuspohjaisessa toimintatavassa katurakenteet on mallinnettava kokonaisuudessaan yhtenevin rakennepinnoin. Monen rakenneosan ja kadun kohdan mallintamisesta on vähän kokemusta. Tästä syystä pilottihankkeiden mallinnustyössä on ilmaantunut useita haastavia tilanteita, joiden ratkaisuun vaaditaan vielä paljon käytännön kokemusta ja yhteisen toimintalinjan kehittämistä.

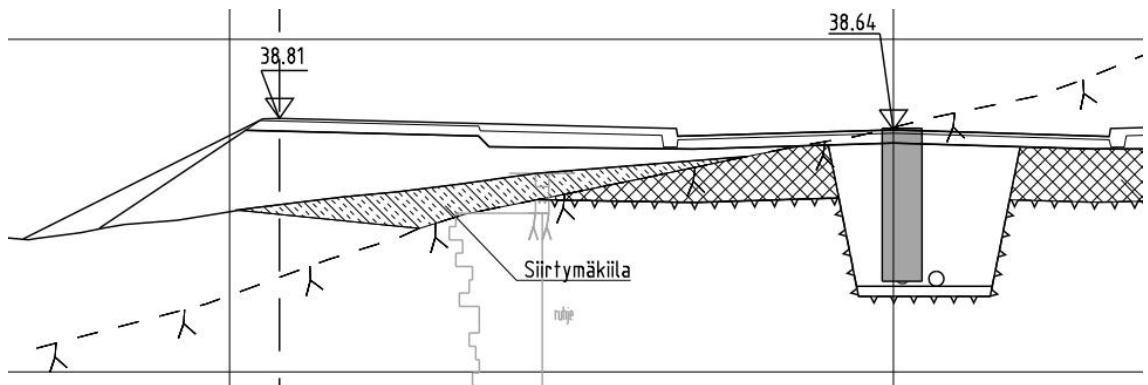
#### 5.1.1 Kiertoliittymät

Kiertoliittymä on rakennekerrosten jatkuvuuden kannalta hyvin haasteellinen mallintamiskohde. Kiertoliittymälle on ominaista kahden tai useamman katulinjan yhdistyminen sekä kevyen liikenteen väylän katkeaminen liittymään ja sen erkaneminen kadun vaakageometriasta. Mallintamisen näkökulmasta nämä ominaisuudet tarkoittavat useamman väylämallin yhdistämistä rakennepintoineen ja suurta määrää taiteviivoja. Eheän pintamallin saaminen kolmioitumaan oikein on työlästä. Kuvassa 16 on esitetty kiertoliittymän ja siihen liittyvien kadunosien kolmioverkkomalli.



Kuva 16. Kiertoliittymä Bassenkyläntien alkupäässä. Kuvassa on näkyvissä ylin yhdistelmäpinta sekä rakennekerrokset kolmioverkkomallina.

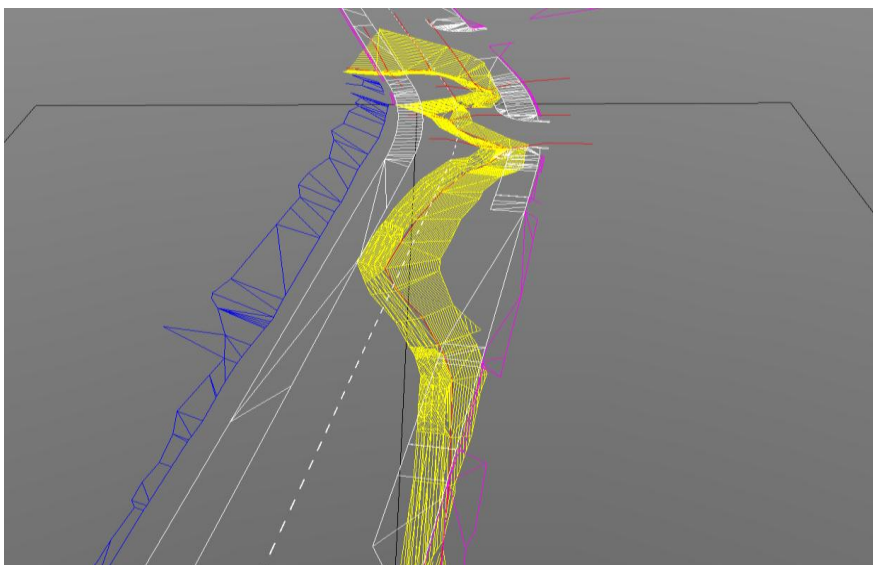
### 5.1.2 Siirtymäkiilat



Kuva 17. Siirtymäkiila katurakenteessa. Ote Bassenkyläntien rakennepoikkileikkauksesta.

Siirtymäkiilojen mallinnuksesta ei ole aikaisempaa kokemusta. Espoon katupilottihankkeissa siirtymäkiilojen mallinnus ja siihen liittyvät haasteet ovat olleet merkittävässä asemassa, sillä kaikkiaan kolmessa kohteessa siirtymäkiilojen mallintaminen on koettu haastavana.

Siirtymäkiila mallintuu suhteellisen vaivattomasti, mikäli kiilasyvyys eli alusrakenteen muutoskohta sijoittuu katulinjaan nähden poikittais- tai pitkittäissuunnassa. Kallion vaihtelevien pinnanmuotojen johdosta kiilarakenne kuitenkin kiemurtelee katulinjaan nähden epäjohdonmukaisesti ja vaatimustenmukaisten kiilakaltevuuksien mallintaminen on työlästä.

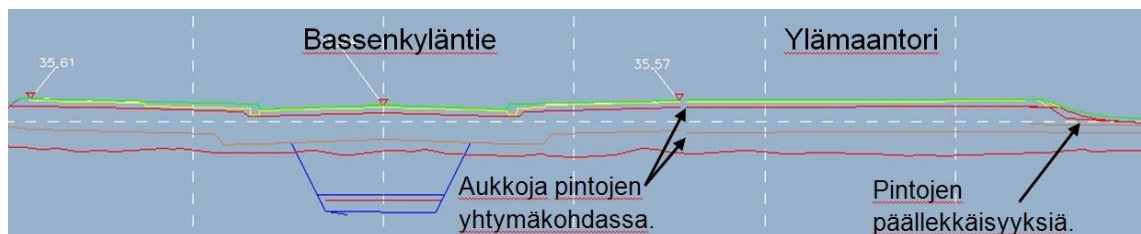


Kuva 18. Kiemurteleva siirtymäkiila Bassenkyläntiellä.

Kallion todellinen sijainti sekä sen myötä siirtymäkiilan suunta ja sijainti selviävät monesti vasta työmaalla, kun kallio kaivetaan esiin. Kalliroleikkauksen tarkkaa vaihtumis-kohtaa ei yleensä rakennussuunnitteluvaiheessa tiedetä, vaan suunnittelu perustuu tulkittuun kallionpintaan. Yhtenä vaihtoehtona siirtymäkiilojen tarkan mallin luomiseksi on kaivaa kalliopinta esiin ja toimittaa siitä mittausaineisto suunnittelijalle, mutta tällainen toimintatapa on koettu jokseenkin turhana. Siirtymäkiilojen suhteen niin suunnittelijat kuin rakentajatkin kokevat mallintamisen hyödylliseksi lähinnä siitä syystä, että mallintamisella saadaan selville kiilan massamäärät sekä sen käyttäytyminen rakenteessa. Siirtymäkiilojen mallintaminen koneohjausta varten ei ole hyödyllistä, sillä siirtymäkiila ei todennäköisesti osu oikeaan kohtaan koneohjattuna työnä.

### 5.1.3 Poikkileikkauksen ja rakennetyypin muutoskohdat

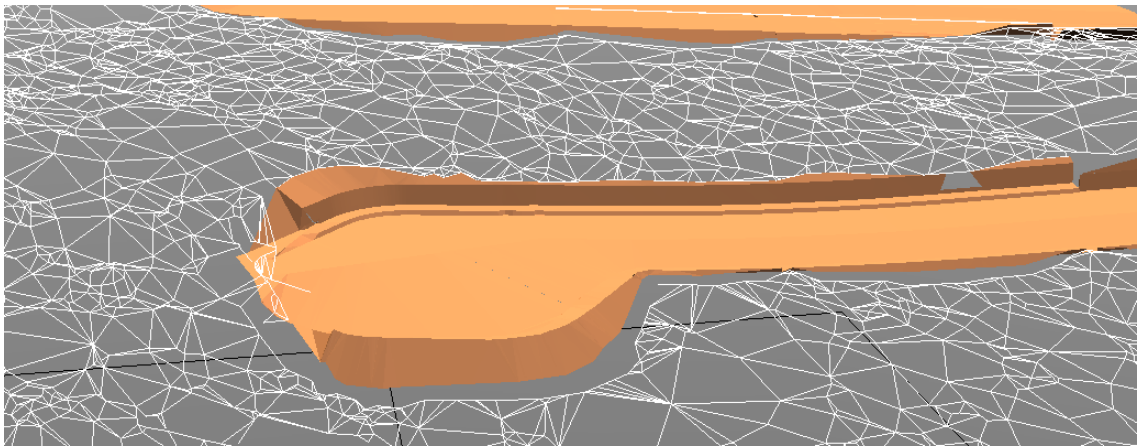
Kadun mallintaminen on yksinkertaisimmillaan perinteisenlaista, puhdasta 3D-linjasuunnittelua. Suorilla, ilman liittyvää olevilla osuuksilla rakenteiden automatiikan ollessa kohdillaan, pinnat muodostuvat toimivasti ja vaivattomasti. Haastavuudet ilmaantuvat varsin nopeasti liittymäalueen tullessa vastaan, kun linjoja ja rakenteita joudutaan yhdistelemään. Samankaltaisia haasteita tuottavat myös pysäkkilevennykset ja muut kohdat, joissa poikkileikkaus jollain tapaa muuttuu. Ennen vastaavanlaiset epäjatkuvuuskohdat korjattiin näyttämään oikeilta suunnitelmakuviin, mikäli kadun poikkileikkausesityksissä liittymäkohta sattui kohdalle. Tietomallintamisessa liittymäalueen joutuu mallintamaan pinta kerrallaan. Rakennekerrosten pintojen saaminen yhteneviksi väylien liittymiskohdissa on hyvin työlästä. Kuvassa 19 on esitetty ongelmakohtia kadun ja siihen sivusuunnassa yhdistyvän torialueen rakennepinnoissa. Perinteisesti rakennekerrosten yhdistämisestä on huolehtinut työmaalla mittamies. Pintojen yhdistämisen voidaan katsoa olevan erillinen työvaihe, joka suunnittelijan tehtäväksi jäädessään kasvattaa suunnittelijan vastuuta ja työmäärää.



Kuva 19. Kadun ja siihen sivusuunnassa liittyvän torialueen rakennepintojen yhdistämisen ongelmakohdat.

#### 5.1.4 Päätyvät kadut ja pysäköintialueet

Kadun kolmiulotteinen väylämalli muodostuu pysty- ja vaakageometrian sekä poikkileikkauksen välisen laskennan tuloksena suunnitteluohjelmassa. Pinnat muodostuvat tapauskohtaisesti tiheimmillään 1 metrin laskentaväleittäin katulinjan alusta loppuun. Katulinjan loputtua myös poikkileikkauslaskenta päättyy. Kääntöpaikkaan päättyvällä kadulla päädyn ulkoluiskat eivät laskennassa mallinnu. Päätyluiskia ei siis voida ehdollistaa väylämallin muodostamisen automatiikkaan.



Kuva 20. Päätyvän kadun päädyn luiskat eivät mallinnu poikkileikkauslaskennassa.

Omat haasteensa luovat myös aluemaiset kohteet, kuten pysäköinti- ja torialueet. Kuten kaduissa, aluemaisissa kohteissa ei rakenteita voida sitoa yhteen linjaan. Kaikissa suunnitteluohjelmissa ei ole käytettävissä geometria-poikkileikkausperiaatteetonta aluesuunnittelutyökalua.

## 5.2 Mallintamisen tarkkuus

Tarkemman mallintamisen myötä, muutoksia ja haasteita ilmenee väylärakenteiden lisäksi monissa muissa hankkeen osa-alueissa. Tarkka mallintaminen vaatii tarkat lähtötiedot, kasvattaa suunnittelun työmäärää sekä edellyttää suunnitteluohjelmien ja mallinnusohjeiden toimivuutta.

### 5.2.1 Lähtötiedot

Yksi InfraFINBIM-hankkeen tavoitteista on tehostaa myös katuhankkeissa käytettävää lähtöaineistoa kohti mallipohjaisuutta. Tavoitetilassa lähtötiedot koottaisiin lähtötietomalliksi omana, suunnittelusta erotettuna vaiheenaan, jolloin itse suunnittelutyöhön käytettävän ajan voidaan katsoa lyhenevän. [14.]

Espoon katupiloteissa lisätyötä tuotti olemassa olevan kunnallistekniikan syöttäminen järjestelmään käsin johtokartan ja vanhojen suunnitelmakuvien pohjalta. Etenkin vesijohtojen sijaintiedot ovat olleet puutteellisia tai lähinnä suuntaa antavia. Johtotiedot tulisi olla saatavilla keskitetystä palvelusta ja tarkat sijaintitiedot xy-tasolla minimivaatimus. Kunnat ja kaupungit tulisi saada mukaan mallipohjaiseen toimintaan ja sitä kautta tarjoamaan karttatiedon sijaan mallitietoa. Tarkempaa mallipohjaista johtotietoa voitaisiin hallita ja hyödyntää tehokkaammin, niin suunnittelussa kuin muissakin hankkeen vaiheissa.

### 5.2.2 Työmäärän kasvu

Espoon katupiloteissa on etsitty uusia toimintatapoja ja selvitetty eri toimijoiden mahdollisuuksia tietomallin tuottamiseen ja hyödyntämiseen. Tästä syystä pilotoinnin perusteella ei voida tehdä johtopäätöksiä siitä, kuinka merkittävästi tietomallinnuspohjainen suunnittelu tulee kasvattamaan siihen käytettävän työn määrää. Suunnittelutyön ohella on tapahtunut myös paljon työtapa- ja ohjelmistokehitystä sekä uusien asioiden sisäistämistä. Todellinen työmäärän kasvu selviää, kun toimintatavat saadaan vietyä vuosien kuluessa rutiinitasolle.

Pilottihankkeissa lisätyötä on yleisimmän arvion mukaan kertynyt noin 25-50 % perinteiseen hankkeeseen verrattuna. Tulevaisuudessa paperisten 2D-suunnitelmakuvien ja muiden dokumenttien määrän sekä niiden luomiseen käytettävän ajan voidaan katsoa vähenevän. Mallipohjaisuus luo tosin tilalle uusia työvaiheita, kuten jatkuvan mallin läpikäynnin ja koneohjausmallin tuottamisen.

Rutiinitasolla tietomallipohjaisen suunnittelun työmäärän kasvun yleisimpänä arviona on n. 10 % perinteiseen tapaan verrattuna. Tälle tasolle pääsy vaatii tosin sopivien rajojen asettamista suunnittelun sisältövaatimuksille. Työmääriä pienentäisi myös mallipohjainen lähtöaineisto, jonka muodostaminen olisi suunnitteluvaiheesta ja suunnitteli-



jan työstä erotettu oma vaiheensa. Työmäärät voivat vaihdella hankkeiden monimuotoisuuden mukaan. Ero pohjanvahvistustavoissa voi tehdä hankkeista työmäärältään erisuuruisia. Suurimmillaan työmäärän kasvun on arvioitu olevan rutiinitasollakin jopa yli 50 %.

### 5.2.3 Mielekkään suunnittelun raja

Tietomallintaminen kasvattaa suunnittelutyön tarkkuutta ja tuottaa suunnittelijalle enemmän mekaanista työtä yhtenäisen mallin tuottamiseksi. Joidenkin rakenneosien kohdalla tulisi pohtia, onko niiden mallintaminen perusteltua ja hyödyllistä. Mallinnuspohjaisen suunnittelun mielekkyys kärsii, mikäli suunnittelija joutuu jokaisessa hankkeessa mallintamaan tietyt, haastavat rakenneosat, etenkin jos hyötysuhde ei ole merkittävä. Myös kustannushyöty jää saavuttamatta, mikäli tietomallia ei täysin hyödynnetä koneohjauksessa. Tärkeätä on suunnittelijan ja urakoitsijan välinen yhteisymmärrys sekä kartoitus hankekohtaisesti siitä, mitä kukin osapuoli tarvitsee.

### 5.3 Suunnitteluohjelmistot

Pilottihankkeiden aikana on tapahtunut paljon kehitystyötä ohjelmistotasolla, jotta suunnittelussa voitaisiin paremmin vastata mallintamisen haasteisiin. Tietokoneiden suorituskyky on jo pidempään ollut tietomallintamista tukevaa, mutta ohjelmistoihin tarvitaan lisää työkaluja rakenteiden detaljitason suunnittelun helpottamista varten. Järjestelmien tulisi minimoida käsinmuokkaamisen tarve.

Mobiililaitteet ovat käytettävyydeltään ihanteellisia työmaalla, mutta rakenteiden tutkiskelussa ja itsensä paikantamisessa on vielä tarvetta kehitykselle. Tabletilaitteiden suorituskyky ja gps-tarkkuus on vielä koettu riittämättömiksi. Myös infrahankkeiden tarkastus- ja pilvipalvelusovellukset eivät vielä ole riittävän toimivia tai puuttuvat kokonaan.

### 5.4 Mallinnusohjeet

InfraFinBIM-työpakettin työtehtäviin kuuluu myös InfraBIM-mallinnusohjeiden laatiminen. Työn tavoitteena on saada käyttöön tietomallinnuksen ohjeet ja vaatimukset koskien infrahankkeen lähtötietojen tuottamista, suunnittelua, rakentamista ja ylläpitoa.

Katupilottien aikaan mallinnusohjeista on ollut saatavilla ohjeluonnokset, joiden pohjalta kaikkea ei kyetty mallintamaan. Katujen mallintaminen on koettu erityisen haastavana muihin väyliin verrattuna pienipiirteisyyden, vaihteluvälien ja detaljitason perusteella. Katujen sisältövaatimustenmukainen mallintaminen vaatii loppuunkirjoitetut ohjeet, joiden käyttöä itsessäänkin tulisi jollain tapaa pilotoida.

## 6 Yhteenveto

Insinööriyössä tutkittiin tarkkuusvaatimusten mukaisen mallintamisen haasteita katusuunnittelussa. Lisäksi selvitettiin haasteita, jotka ilmenevät siirryttäessä perinteisestä, dokumenttipohjaisesta suunnittelusta tietomallipohjaiseen toimintatapaan. Tutkimuksen tuloksena saatiin selville, että tietomallipohjaisessa suunnittelutyössä päänvaivaa tuottavat kadunkohdista kiertoliittymät, päättyvät kadut ja aluemaiset kohteet sekä kadun rakenteissa siirtymäkiilat ja rakennetyypin muutoskohdat. Siirtymäkiilat on nostettu haastatteluissa laajimmin esille. Ohjelmistotasolla nykyisten mallinnusmahdollisuuksien perusteella, siirtymäkiilojen mallinnus ei ole kannattavaa toimintaa. Katuhankkeen mallintamiselle tulisi rutiinitasoa ajatellen asettaa sopivat sisältö- ja tarkkuusvaatimukset, jotta suunnittelun työmäärä ja kustannukset ovat hyötyyn nähden tasapainossa. Katuhankkeet ovat laajuudeltaan usein vaihtelevia. Mallintamisen mielekkyyteen ja hyötyyn nähden sopivat sisältövaatimukset tulisi määritellä hankekohtaisesti. Kehitystyötä tulee tapahtua myös ohjelmistotasolla, jotta em. haastavien kohtien mallintaminen ja ylipäänsä koko väylämallin tuottaminen saadaan helpottumaan.

Tutkimustyö onnistui hyvin, haastateltavien ollessa kokeneita ja asiaan hyvin vihkiytyneitä. Haastattelujen perusteella saatiin varsin nopeasti yleiskäsitys siitä, mitkä osat alueet on koettu haastavina mallinnustyössä. Yleisenä viestinä oli myös se, että tietomallintaminen on selkeä tulevaisuuden suunta ja InfraFINBIM-hankkeen aikainen kehitystyö on ollut merkittävää.

Tutkimusta olisi mahdollista jatkaa laajentamalla sitä katuhankkeen muiden toimijoiden osalta. Tietomallipohjaisen katuhankkeen työmaa- ja tilaajatoiminta on tässä työssä jäänyt rajauksen ulkopuolelle. Tässä työssä kuntien tietomallivalmiutta ja -kiinnostusta yritettiin selvittää, mutta vastauksia ei saatu riittävästi aikataulun sallimissa rajoissa. Muutaman saadun vastauksen perusteella, tietomallipohjaisuuteen siirtyminen kuntatasolla vaikuttaa olevan varovaista ja tietämystä infra-alan tietomalleista on niukasti.

## Lähteet

- 1 Suomen Rakennusinsinöörien liiton internetsivut. Tietomallinnus. Verkkolähde. <<http://www.ril.fi/fi/alan-kehittaminen/tietomallinnus.html>> luettu 5.9.2013.
- 2 Liukas, Juha ja Niskanen Jari. Infra-tuotemallin hyödyt muistiinpanosivuineen. Verkkodokumentti. <[http://www.infrabim.fi/Infra\\_tuotetietomallin\\_hyodyt\\_21\\_12\\_2007\\_muistiinpanosivut.pdf](http://www.infrabim.fi/Infra_tuotetietomallin_hyodyt_21_12_2007_muistiinpanosivut.pdf)>
- 3 Liikenneviraston internetsivut. Tietomallinnus tekee tuloaan. Verkkolähde. <[http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/uutiset/2013/2013\\_1\\_2/20130208\\_tietomallit](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/uutiset/2013/2013_1_2/20130208_tietomallit)> Luettu 5.9.2013.
- 4 Liikenneviraston internetsivut. Mikä on tietomalli? Verkkolähde. <[http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat\\_suunnittelijat/tietomallit/mika\\_tietomalli](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/tietomallit/mika_tietomalli)> Luettu 6.9.2013.
- 5 Junnonen, Juha-Matti. 2009. Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu. Sastamala: Vammalan kirjapaino Oy.
- 6 Suomen kuntatekniikan yhdistys. 2003. Katu 2002 – Katusuunnittelun ja –rakentamisen ohjeet. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- 7 Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL Ry. 2006. RIL 165-2 Liikenne ja väylät II. Otavan Kirjapaino Oy.
- 8 Suomen kunnallisteknillinen yhdistys. 1991. Katu 90 – Kadunrakennuksen tekniset ohjeet. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- 9 Liikennevirasto. 2013. Infran tietovarantojen hallinta. Verkkojulkaisu. <<http://www.liikennevirasto.fi>>
- 10 Hartikainen, Olli-Pekka. 1999. Tietekniikan perusteet. Helsinki: Valopaino Oy.
- 11 Helsingin kaupungin rakennusvirasto. 2004. Helsingin katutila – ohjeita ja esimerkkejä. Verkkojulkaisu. <<http://www.hel.fi/hki/HKR/fi/Esitteet+ja+julkaisut/Ohjeita+suunnittelijoille>>
- 12 Paukkeri, Heikki. 2012. Väyläruoppauksen tietomallipohjaisen prosessin kehittäminen. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

- 13 Parantala, Seppo ja Snellman, Sami. 2013. PRE/InfraBIM tietomallivaatimukset ja –ohjeet osa 4, luonnos. Verkkodokumentti.  
<[http://www.infrabim.fi/infrabim\\_uusi/mallintamisohjeiden\\_luonnokset.html](http://www.infrabim.fi/infrabim_uusi/mallintamisohjeiden_luonnokset.html)>
- 14 Virtanen, Juuso. 2012. PRE/InfraBIM tietomallivaatimukset ja –ohjeet osa 2, luonnos. Verkkodokumentti.  
<[http://www.infrabim.fi/infrabim\\_uusi/mallintamisohjeiden\\_luonnokset.html](http://www.infrabim.fi/infrabim_uusi/mallintamisohjeiden_luonnokset.html)>
- 15 Snellman, Sami. 2012. Väylärakenteen toteutusmallin laatimisoheje. Verkkodokumentti.
- 16 Serén, Kalle (toim.). 2013. InfraBIM Sanasto. Verkkodokumentti.  
<[http://www.infrabim.fi/infrabim\\_uusi/infrabim\\_sanasto.html](http://www.infrabim.fi/infrabim_uusi/infrabim_sanasto.html)>
- 17 Tanska, Harri. 2013. TUOTE(tieto)MALLIT –Espoon pilottikohteiden urakoiden hankintaprosessi. Verkkodokumentti.
- 18 InfraTM. 2010. Tietomallit ja koneohjaus katuhankkeissa. TEKES –loppuraportti. Verkkodokumentti.  
<[http://www.infrabim.fi/InfraTM\\_pilotti\\_Tampere\\_Oulu\\_loppuraportti.pdf](http://www.infrabim.fi/InfraTM_pilotti_Tampere_Oulu_loppuraportti.pdf)>
- 19 Topgeo Oy:n internetsivut. Mitä koneohjaus on? Verkkolähde.  
<[http://www.topgeo.fi/index.php?option=com\\_content&view=article&id=121&Itemid=126](http://www.topgeo.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=126)> Luettu 12.9.2013.
- 20 Karvonen, Tapio. 2012. Pilottipäivä nro 3. Espoon pilottikohteet. Verkkodokumentti.
- 21 Sito Oy. Espoon tuotemallipilotointi, tuotemallin vähimmäisominaisuudet. Muistio.
- 22 Ranta, Marko. 2013. Toimialapäällikkö, FINNMAP Infra Oy, Helsinki. Haastattelu 14.8.2013.
- 23 Karvonen, Tapio. 2013. Osastopäällikkö, Sito Oy, Espoo. Haastattelu 9.8.2013.
- 24 Putkonen, Panu. 2013. Suunnittelija, Ramboll Finland Oy, Espoo. Haastattelu 28.8.2013.
- 25 Leislahti, Aki. 2013. Apulaisosastopäällikkö, Pöyry Finland Oy, Vantaa. Haastattelu 1.10.2013.
- 26 Tanska, Harri. 2013. Katupäällikkö, Espoon kaupunki. Haastattelu 21.10.2013.

## Haastattelukysymykset katupilottien vetäjille

1. Mikä pilottiprojekti on?
  - a. Missä kohde sijaitsee?
  - b. Millainen hanke on laajuudeltaan?
  - c. Minkälainen kohde on ominaisuuksiltaan?
2. Mitä itse mallinnus on sisältänyt?
  - a. Lähtötietomallin tarkkuus ja sisältö?
  - b. Virtuaali- ja koneohjausmallit?
  - c. Mitä rakenteita on mallinnettu?
3. Onko mallinnuksessa pystytty vastaamaan sille asetettuihin vaatimuksiin?
4. Kuinka tietomallipohjainen suunnittelu on toiminut käytännössä?
5. Mitkä seikat selkeimmin erottavat tietomallintamisen perinteisestä suunnittelusta?
6. Kuinka paljon työmäärä ja työhön käytetty aika ovat kasvaneet perinteiseen suunnitteluun verrattuna?
7. Millä tavalla koet työmäärän muuttuvan rutiinitasolle mentäessä?
8. Mitkä hankkeen osat ovat olleet hankalimpia mallintaa?
9. Kuinka työlästä ja aikaa vievää em. haastavien kohtien mallintaminen on ollut?
10. Koetko hankkeenaikaisen mallinnustyön olleen mielekkään suunnittelun rajoissa?
11. Koetko vaatimustenmukaisen mallintamisen olevan hyödyllistä työmäärään nähden?
12. Yleiset käyttökokemukset? Onko tietomallinnusta käytetty muissa katuhankeissa?

## Kysely pilottihankkeiden tilaajalle

1. Mitkä ovat odotuksenne pilottihankkeista ja ylipäänsä tietomallinnuksesta?
2. Koetteko tietomallintamisen kasvattavan suunnittelijan vastuuta, suunnittelun työmäärää tai kustannuksia? Onko mahdolliseen kasvuun varauduttu?
3. Onko teille syntynyt tässä vaiheessa näkemystä, millaiset sisältövaatimukset ruutiinitalon mallintamiselle voidaan asettaa?

## Kooste pilottihankkeiden vetäjien vastauksista

### Kuinka tietomallipohjainen suunnittelu on toiminut käytännössä?

**Vastaaja A** *Käytännössä on toiminut hyvin. Jatkuvalle mallilla ongelmakohtat tulevat näkyviin. 20 metrin poikkileikkausväli liian harva tällaisessa kohteessa. Aiemmin jäänyt paljon suunnittelemattomia kohtia.*

**Vastaaja B** *Pääsääntöisesti on toiminut hyvin. Mallinnus sujui yllättävän hyvin. Siirtymäkiilat ja liittymät haasteellisia.*

**Vastaaja C** *Paljon on vielä opeteltavaa. Prosessina täytyy saada iskostettua ihmisiin. On toimivaa, tosin tarvitaan opettelua jonkin verran. Ei mahdotonta. Ohjelmistoissa kehityksen tarvetta suuntaan, jossa työskentely helpottuu. Samoin yhdistelmämallien tarkastelussa yhdessä eri suunnittelualojen kanssa. Tietomallipohjaisuus sanana särähtää. Ei ehkä hyödynnetä täydellisesti.*

**Vastaaja D** *Väylien osalta hyvin perinteistä, kun ei ole liittymiä ja muita muutoskohtia. Jos rakenteiden automatiikka on kohdillaan niin menee jouhevasti puhtaana linjasuunnitteluna. Suorilla osuuksilla, joissa ei ole liittymää, mallintaminen ei tuo juuri mitään uutta. Pinnat näillä kohdilla tulee vaivatta ja toimivana. Heti kun tulee liittymäaluevastaan joutuu yhdistellä linjoja ja rakenteita. Iso työ. Ennen korjattiin kuvissa oikean näköisiksi. Nyt täytyy tuottaa tarkemmin pinta kerrallaan. Käytännössä ollaan menossa kohti vaatimukset täyttävää toimintatapaa, mutta rutinoituminen ja järjestäytymisharjoitus täytyy käydä. Tuo selkeästi uuden vaiheen eli yhdistelemisen, jonka perinteisesti mittamies tekisi työmaalla. Kuka yhdistämisen tekee, tulisi puntaroida. Paljon käsityötä. Putkisuunnittelu sen sijaan ei perinteisestä poikkea. Yhtä tarkasti suunnitellaan ja mallinnetaan.*



**Kuinka paljon työmäärä ja työhön käytetty aika ovat kasvaneet perinteiseen suunnitteluun verrattuna?**

**Vastaaja A** *Rutiinitasolla ei kauheasti. Mallin uloskirjoittaminen tuottaa lisätyötä. Jatkuvan mallin läpikäynti kasvattaa niinkään. 10-15% arvioitu työmäärän kasvu. Koneohjausmallin tuottaminen uutta, muutoin perinteisenlaista. Haasteina siirtymäkiilat sekä olemassa olevat vesijohdot puutteellisine lähtötietoineen. Ongelma sama, oli mallinnus tai perinteinen tapa kyseessä. Espoon kaupunkia yritetty saada mukaan mallipohjaisuuteen, jotta saataisiin malli karttatiedon sijaan.*

**Vastaaja B** *On kasvanut (ei mitään suhdelukua tiedossa). Lähtötietojen käsittely, kalion mallin laajuus. Siirtymäkiilojen hiominen teettää lisätyötä. Kokemus helpottaa työmäärissä. Kasvaahan työmäärä kun suunnitellaan tarkemmin ja tuotetaan enemmän tietoa. Itse mallinnustyö ollut yleisesti vaivantonta. Erikoisrakenteiden ja –tilanteiden suunnittelutyö vie enemmän aikaa.*

**Vastaaja C** *Ensinnäkin on huomioitava että kyseessä on pilotti. Ts. testataan ja etsitään parhaita toteutustapoja. Kun saadaan ratkaistua ongelmat ja päästy hyviin periaatteisiin ja tarkkuusvaatimukseen, rutiinitasolla todennäköisesti ei näin suuri työmäärä. Nyt arviolta kaksinkertainen aika perinteiseen nähden. Lisäksi käyty ongelmakohtia läpi, testattu kaikkea mahdollista, ohjelmistokehitystä, pyritty melko yksinkertaiseen tapaan. Saataisiin työmäärä ja hyöty tasapainotettua. Kaikkea ei vielä ratkaistu. Liittymät ja haastavat kohdat vaativat vielä ohjelmistokehitystä. Tämä on vasta murrosvaihe. Ei voida odottaa täydellisyyttä heti. Tiedonkeruu ja oppiminen ovat tässä aikaa vieneet eniten. Tarkasta työmäärän kasvusta en osaa sanoa, mikä tulee olemaan rutiinitasolla.*

**Vastaaja D** *Äkkiseltään voisi arvioida, vaikka tulokset ovat olleet melko laihoja, että lisätyötä on tullut n. 25%. 10 prosentin lisä on saavutettavissa mutta sen alle ei juuri päästä. Vaatii harjoittelua, eikä 10% pääsy vielä tätä päivää ole. Tässä vaiheessa n. neljäsosa lisää työtä. Tosin suuri osa ajasta mennyt opetteluun, kuinka saadaan nykyisestä tekniikasta kaikki irti. Kun suurin piirtein tiedetään missä rajat menee, n. 10 prosenttiin saatetaan*

*päästä. Oletuksena tosin se, että tuo 10% olisi pois mittamiehen työstä myöskin. Ei ehkä 1-1 mennä näin.*

**Millä tavalla koet työmäärän muuttuvan rutiinitasolle mentäessä?**

**Vastaaja A** Vastaus edellä.

**Vastaaja B** *Asioiden ja ohjelmistojen kehittyessä joutuu. Mallintamisen tarkkuus suhteessa perinteiseen tuottaa enemmän työtä. Paperikuvien poistuminen helpottaa.*

**Vastaaja C** *Saamalla kokemusta sekä mallinnus- ja suunnittelutapoja rutinoitua, niin kyllä työmäärä alkaa vähenemään. Silti työmäärät tulevat kasvamaan perinteiseen suunnitteluun nähden. Pilottiin nähden pienenee. Riippuu kohteesta, jotka ovat usein erilaisia. Kallionpinnaltaan, poikkileikkaukseltaan jne. Puistoraittikin voi olla haastavaa jos puoliksi kallioleikkauksella. Todennäköisesti rutiinitasolle mennessä, voi olla että ohjelmistokehitystä tapahtuu. Rutiinitasolle pääsy tulee viemään aikaa. Hyvää kehitystyötä tehty koko ajan. Voi mennä vuosia kartoittaa, kuinka paljon lisäongelmia kertyy ja missä niihin törmää.*

**Vastaaja D** Vastaus edellä.

**Mitkä hankkeen osat ovat olleet hankalimpia mallintaa?**

**Vastaaja A** *Hankkeessa aikaa tuhraantui siirtymäkiilojen kanssa "pelaamiseen".*

**Vastaaja B** *Työläitä ovat siirtymäkiilat, jotka saatiin kuitenkin mallinnettua. Päättävien katujen luiskat mittalinjan ulosjäävällä osuudella. Eivät mallinnu poikkileikkaukselaskennassa. Infrahankkeissa ei ole mittalinja/tasausperiaatteetonta aluesuunnittelutapaa. Torit, p-alueet jne., joiden mallintamisessa joutuu tehdä useita linjoja. Vesihuollon kaivantojen leikkauskoh-*

dissa pintojen muodostaminen. Käsinyöökkausta paljon, vaikka systeemin pitäisi minimoida käsityö.

**Vastaaja C** *Katujen liittämiset toisiinsa. Kiertoliittymän mallintaminen. Kokeiltiin monella eri tapaa esim. erillisenä aluesuunnittelulla. Ei suurta hyötyä niin. Päädyttiin tekemään itsenäinen väylämalli. Liittymähaarat haastavia. Haasteita tuo toki myös korotetut reunakivet suojatien ja pysäkin kohdalla. Pysäkeille esim. tehty omia geometrioitaan. Jos muutos tulee niin täytyy laskea kaikki siihen liittyvät linjat. Kaikki pitäisi olla sidoksissa yhteen linjaan. Pitää ehkä enemmän suunnitella ja nähdä työlääät kohdat.*

**Vastaaja D** *Kallion aiheuttamat haasteet. Ei tiedetä mitä tulee vastaan ja milloin. Siirtymäkiilojen suhteen sekä suunnittelijat että rakentajat sitä mieltä, että mallintaminen on hyvä siinä mielessä että saadaan massat ja jonkinlainen kuva miten se rakenteessa käyttäytyy. Ei kuitenkaan ole hyötyä tehdä koneohjausmallia. Yksi vaihtoehto kaivaa ensin auki ja toimittaa siitä mittausaineisto, tosin työtapana tämä jokseenkin turhaa. Tehokkainta on katsoa perinteisesti miten kallio uppoaa ja siitä ottaa vaadittu siirtymäkiilajyrkkyys.*

**Koetko hankkeen aikaisen mallintamisen olleen mielekkään suunnittelun rajoissa?**

**Vastaaja A** *Mallintaminen on mielekkästä. Työmaalta tulee vastine, onko ollut hyödyllistä. Tällä hetkellä näyttää että ollaan saatu hyödynnettyä. Ei tikun tikkua työmaalla, koneet ohjattuja. Työnjohdolla ja valvonnalla hankaluuksia. Rakenteiden tutkiskelu mallista ja itsensä paikantaminen ollut haastavaa. Tässä vielä kehityksen tarvetta. Paperikuvia tarvitaan tässä joka tapauksessa.*

**Vastaaja B** *Siirtymäkiilojen kohdalla tulee miettiä, onko aidosti perustelua ja hyödyllistä mallintaa. Ei etenkään, jos joka hankkeessa täytyy "hieroa". Tekeekö urakoitsija kuten mallinnettu? Ei kaivinkonekuljettaja etsimällä etsi kallion pintaa. Tapauskohtaisesti sovittava, mallinnetaanko vai ei. Mallinnus-*

*pohjainen suunnittelu on mielekästä. Hyvä asia ja selkeästi kehityksen suunta. Mittatikut pois, konekuski voi kaivaa ilman mittamiehen läsnäoloa. Mielekästä jos on sovittuna sopivat tarkkuusrajat ns. kultainen keksitie.*

**Vastaaja C** *On mielekästä. Mallinnustyö on ollut mielekkään suunnittelun rajoissa siinä määrin, että työssä on oppinut paljon ja löytänyt työtapoja, joilla saadaan mallinnettua tarkasti helpommin. Pilottihankkeessa täytyy muistaa, että työ muuttuu mielekkäämmäksi ja helpommaksi rutiinitasolla. Nyt tehty vaikeimman kautta. Seuraavassa hankkeessa kynnykskään ei niin suuri. Silti täytyy miettiä skissaamalla paperille tasausta tms., eli tehdä perinteisillä työtavoilla. Esim. kiertoliittymää täytyy miettiä ennen mallintamiseen ryhtymistä, jonka jälkeen vasta alkaa tekemään tarkempaa suunnittelua.*

**Vastaaja D** *Rakentamisen aikana kun ollaan syvennytty tarkempaan mallintamiseen, on selkeätä, että mitä tarkempaa, sitä enemmän vie aikaa. Tunteja kuluu, kun taiteviivoja kun on paljon ja niitä joutuu luoda tyhjästäkin. Tässä hankkeessa ollut mielekkyyden rajoissa, mutta raja tulee aika nopeasti vastaan.*

**Koetko vaatimustenmukaisen mallintamisen olevan hyödyllistä työmäärään nähden?**

**Vastaaja A** *Vastaus edellä.*

**Vastaaja B** *Kohteen toteutusvaiheessa näkee kuinka hyödyllistä. Pilotin tason mallinnus ei kannattavaa toimintaa.*

**Vastaaja C** *Kaikkea ei ohjeluonnoksen perusteella voida mallintaa. Ohjeita tulee tarkentaa. Hyötynä on kehitys ja oppiminen. Katu paljon monimutkaisempi mallintaa. Mallintamiselle ei ole loppuunkirjoitettuja ohjeita. Työmäärä on kokeilun ja muun kanssa ollut korkea. Hyödyllistä on ollut. Ohjelmistojen ja ohjeluonnosten kehittyessä tarvittavaan suuntaan, tulee työmäärään nähden olemaan todella kannattavaa. Ei pysty arvioimaan mikä oikea*

*hyötysuhde tulee olemaan ja kuinka paljon aikaa tietomallintamispohjaiseen suunnitteluun tulee menemään. Kyllä hyötyä on työmäärään nähden saatu. Alleviivaisin, että kaikkien pilottien perusteella tulee yhteistyöllä kartoittaa, mitä lopputietoa saadaan suunnittelun sekä työmaan pohjalta ja mitä tarvitaan. Urakoitsijat, suunnittelijat ja ohjelmistokehittäjät saatava yhteisymmärrykseen siitä, millaista materiaalia kukin tarvitsee ja haluaa. Juuri se, hyvän keskitien haarukointi, että kaikille tulisi hyötyä. Ei tehdä vaan sen takia että päästään tekemään. Pitää olla hyödyllistä.*

**Vastaaja D** *On ollut hyödyllistä. Kun on mallinnettu riittävän tarkasti ja pystyy näkemään kaiken oleellisen, kuten reunakivien oikeanlaisen madaltumisen jne. Kun suunnittelu on sujuvaa, niin on tuntien arvoista. Se, että saadaanko irti muuta kuin vain kivan näköinen malli. On ja ei. Siirtymäkiilojen mallintamisesta kun löydetään jokin kompromissi. Nyt ei mielekästä ja siihen saa palamaan aikaa. Pintojen mallintaminen on hyödyllistä ja kun näkee ulottumat ja yleisesti rakenteen käyttäytymisen ja ristiriitojen paljastumisen. Nämä ovat hyviä asioita. Pitää vain varoa ettei mennä sokeana päin seinää. Ei vastuu voi tämän myötä siirtyä täysin suunnittelijalle.*