

Annika Westerholm

Valokuvamallinnuksen käyttö infrasuunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinööriytyö

31.8.2016

| | |
|---|---|
| Tekijä Otsikko | Annika Westerholm Valokuvamallinnuksen käyttö infrasuunnittelussa |
| Sivumäärä Aika | 61 sivua + 1 liite 31.8.2016 |
| Tutkinto | Insinööri (AMK) |
| Koulutusohjelma | Rakennustekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | Infrarakentaminen |
| Ohjaajat | Lehtori Simo Hoikkala Tietohallintopäällikkö Matti Rätty Tiesuunnittelun osastopäällikkö Teemu Tuhkanen |
| <p>Tietomallinnus on yleistynyt infra-alalla, mutta olemassa olevien rakenteiden ja ympäristön mallintaminen käsin on vaikeaa ja työlästä. Viime vuosina valokuvista tuotettujen 3D-mallien kehitys on ollut nopeaa ja tällä hetkellä löytyy monia sovelluksia 3D-mallien tuottamiseen. Tässä työssä selvitetään valokuvamallinnuksen periaatteet ja miten valokuvamallinnusta voidaan hyödyntää infrasuunnittelussa. Työn tilaajana toimi Finnmap Infra Oy.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää, miten valokuvamallinnusta voidaan hyödyntää infrasuunnittelussa. Työssä tutkitaan, mihin valokuvamallintamista hyödynnetään muualla maailmassa ja miten sitä voidaan hyödyntää myös Suomessa, sillä se ei ole vielä kovin yleisessä käytössä täällä. Tutkimuksen teoriapohja etsittiin internetlähteistä, kirjallisuudesta sekä ohjelmistojen ohjeistuksista. Opinnäytetyön tutkimustyön jälkeen tuotettiin kolme valokuvamallia Lempäälän liittymien parantamishankkeista sekä laadittiin ohjeita ja Excel-taulukko yrityksen käyttöön. Tutkimustyön sekä Lempäälän valokuvamallinnuskohteiden pohjalta pohditaan soveltuvia käytötapoja infrasuunnittelun osa-alueilla.</p> <p>Opinnäytetyötä tehdessä käytettiin Bentley Systems:in suunnitteluohjelmia PowerCivil for Finland V8i SS4 ja MicroStation Connect Edition, valokuvamallinnusohjelmaa ContextCapture ja visualisointiohjelmaa LumenRT. Käytössä oli myös Acute 3D Viewer, jolla voidaan tarkastella ja mitata valokuvamallia. Ilmakuvaukset suoritettiin DJI Inspire kopterilla.</p> <p>Työn tärkeimpinä tuloksina ovat valokuvamallinnuksen monet mahdolliset käyttökohteet, mutta myös sen hyödyntämisen haasteet. Työssä todettiin, että vaikka valokuvamallinnus on jo helppoa ja nopeata, sen hyödyntäminen täysin infrasuunnittelussa vaatii vielä ohjelmistojen kehitystä. Työn tuloksena saatiin tuotettua yrityksen käyttöön valokuvamallien lisäksi ilmakuvauksien suoritusohje, toimintaohjeistus ja turvallisuusarviointi -lomake, valokuvamallin ja suunnittelumallien yhdistäminen ja vieminen LumenRT:hen -ohje sekä ilmakuvauksen kuvauskorkeuden ja kuvanottovälien laskeminen -Excel-taulukko.</p> | |
| Avainsanat | Todellisuusmallinnus, valokuvamallinnus, infrasuunnittelu |

| | |
|--|--|
| Author Title | Annika Westerholm Use of Image-Based Modeling in Environmental Planning |
| Number of Pages Date | 61 pages + 1 appendix 31 August 2016 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Civil Engineering |
| Specialisation option | Infraconstruction Engineering |
| Instructors | Simo Hoikkala, Senior Lecturer, Metropolia Matti Rätty, CIO, Finnmap Infra Oy Teemu Tuhkanen, Department Chief, Finnmap Infra Oy |
| <p>Nowadays environmental construction projects are using modeling more but it is hard to model existing structures and environment. The development of image-based modeling software has been rapid and today there are many options to choose from. The purpose of the project was to examine the principles of image-based modeling and how to use it in environmental planning. After the research work four guidelines, one Excel table and three image-based models of Lempäälä project were produced. The project was commissioned by the environmental planning corporation Finnmap Infra Oy.</p> <p>The theory in this engineering thesis is based on internet search, literature and software manuals. The used software solutions came from Bentley Systems. After the research work the guidelines and the three image-based models of Lempäälä project were compiled. Based on the research work and also on the image-based modelling work, conclusions were drawn on how to use image-based modeling in environmental planning.</p> <p>As a result of the project a description is given on how image-based modeling is being utilized abroad and how it could be utilized in Finland as well as the possibilities and the challenges of how to use image-based modeling in environmental planning. One of the discoveries of the project was that even though image-based modeling is easy and fast, the software still needs to improve so environmental planning could utilize image-based modelling better.</p> | |
| Keywords | Reality modeling, image-based modeling, environmental planning |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 5 |
| 1.1 | Opinnäytetyön tausta | 5 |
| 1.2 | Tavoite | 6 |
| 1.3 | Tutkimusmenetelmät | 6 |
| 1.4 | Työn rajaus ja rakenne | 7 |
| 2 | Infrasuunnittelu | 8 |
| 2.1 | Tiensuunnittelu | 9 |
| 2.2 | Ratasuunnittelu | 10 |
| 2.3 | Vesiväylän suunnittelu | 11 |
| 2.4 | Katujen suunnittelu | 11 |
| 3 | Tietomallintaminen infrasuunnittelussa | 12 |
| 3.1 | Mallintamisen kehitys | 15 |
| 3.2 | Mallintamisen tavoitteet | 15 |
| 3.3 | Mallintaminen eri hankevaiheissa | 16 |
| 3.4 | Mallityypit | 18 |
| 3.4.1 | Lähtötietomallit | 19 |
| 3.4.2 | Suunnitelmamallit | 19 |
| 3.4.3 | Yhdistelmämalli, toteutus- ja toteumamallit | 20 |
| 3.4.4 | Esittelymallit ja -videot | 21 |
| 4 | Visualisointi | 22 |
| 4.1 | Tekninen havainnollistaminen | 23 |
| 4.2 | Esittävä havainnollistaminen | 23 |
| 4.3 | Esittävä havainnollistaminen hankkeen eri vaiheissa | 25 |
| 4.4 | 3D-mallit, virtuaalimallit ja todellisuusmallit | 26 |
| 4.5 | Mallinnusmenetelmät | 27 |
| 4.5.1 | Laserkeilain | 28 |
| 4.5.2 | 3D-kamera | 29 |
| 4.5.3 | Kamera ja fotogrammetria -tekniologia | 29 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.6 | 3D-kaupunkimallit | 30 |
| 4.7 | 3D-esittämisen hyödyt | 31 |
| 5 | Valokuvamallinnus | 33 |
| 5.1 | Fotogrammetria | 33 |
| 5.2 | Tarkkuus | 35 |
| 5.3 | Käyttökohteet | 36 |
| 5.4 | Ilmakuvaus | 36 |
| 5.4.1 | Kauko-ohjatut ilma-alukset | 37 |
| 5.4.2 | Kamera | 39 |
| 5.4.3 | Suoritustapa | 39 |
| 5.5 | Ohjelmisto ContextCapture | 42 |
| 6 | Tulokset | 44 |
| 6.1 | Lempäälän valokuvamallit | 44 |
| 6.2 | Yritykselle laaditut ohjeet | 48 |
| 6.3 | Valokuvamallinnuksen käyttö infrasuunnittelussa | 49 |
| 6.3.1 | Valokuvamallinnus verrattuna laserkeilaukseen | 52 |
| 6.3.2 | Haasteet | 53 |
| 7 | Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet | 57 |
| | Lähteet | 59 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1. Ohjeluettelo | |

Lyhenteet

| | |
|----------------------------|---|
| 3D-malli | Kolmiulotteinen malli, joka on mallinnettu kolmen tilaulottu- vuuden suhteen (pituus, leveys ja syvyys). Voidaan käyttää myös nimitystä todellisuusmalli tai virtuaalimalli. |
| 4D-malli | 3D-malli, johon yhdistyy aika tai projektin aikataulu |
| 5D-malli | 4D-malli, johon yhdistyy projektin kustannukset |
| Algoritmi | Tietokoneohjelmien toiminta perustuu ohjelmointikielillä il- maistuihin algoritmeihin, jotka ovat yksityiskohtaisia kuvauk- sia tai ohjeita tehtävien tai prosessien suorittamisesta. |
| Attribuutti | Nimiö tai tunniste, joka liittyy blokkiin tai symboliin tietoja |
| BIM | Building Information Modeling/Model, rakennuksen tietomal- linnus/tietomalli |
| Esittelymalli | Yhdistelmämallin jalostettu versio, johon on lisätty tekstuure- ja, ympäröiviä rakennuksia, kasvillisuutta jne. jotta malli näyttäisi mahdollisimman aidolta. |
| Fotogrammetria | Maanmittausopin osa-alue. Kohteiden kolmiulotteista mitta- usta kohteesta otetuista valokuvista. Ilmakuvaus on yksi fo- togrammetrian sovelluksista. |
| InfraBIM | Infra Built Environment Information Model, inframalli, infra- rakenteen tietomalli |
| LOD | Levels of detail eli detaljitaso, yksityiskohtien taso |
| Ortokuva | Mittatarkka ilmakuva |
| Proseduraali mallintaminen | Algoritmien avulla tapahtuvaa sisällön tuottamista |

| | |
|---------------|--|
| Takymetri | Maanmittaukseen käytettävä mittalaite |
| Tietokonenäkö | Ala, joka sisältää menetelmiä kuvien hankintaan, prosessointiin, analysointiin ja ymmärtämiseen. |
| Tietomalli | Digitaalisessa muodossa olevan tuotteen ja prosessin kolmiulotteinen esittäminen sekä tiedonhallinta |

1 Johdanto

Infra-alalla tietomallinnus on tullut käyttöön vasta 2000-luvulla. Tietomallinnusta kehitetään jatkuvasti, jotta sitä pystytään hyödyntämään entistä paremmin ja monipuolisemmin suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa. Varsinkin todellisen ympäristön mallintaminen on käsin vaikeaa ja työlästä, mutta tähän yksi hyvä vaihtoehto on valokuvamallinnus. Valokuvamallinnusohjelmalla voidaan tuottaa pelkistä valokuvista tarkkoja 3D-malleja lähes automaattisesti. Valokuvamalli voidaan tehdä yksittäisestä esineestä tai ympäristöstä ja tämän jälkeen valokuvamalli voidaan viedä suunnitteluohjelmaan käsiteltäväksi. Esimerkiksi rakennettavasta eritasoliittymän ympäristöstä voidaan tuottaa valokuvamalli, johon yhdistetään eritasoliittymän suunnitelmamallit.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia valokuvamallintamista ja sen käyttämistä infra-suunnittelussa. Tavoitteena on myös tuottaa kolme valokuvamallia, ohjeita sekä Excel-taulukko yrityksen käyttöön. Opinnäytetyön tilaajana toimii yritys Finnmap Infra Oy, jonka toimiala on yhdyskuntatekninen suunnittelu- ja konsultointitoiminta. Finnmap Infra Oy tarjoaa monipuolisia suunnittelupalveluja, joita valokuvamallinnus pyrkii vielä täydentämään.

1.1 Opinnäytetyön tausta

Valokuvamallinnusohjelmien kehitys on ollut nopeaa. Tarjolla on nykyään monia ohjelmia ilmaisversioista maksullisiin sekä erilaisiin käyttötarkoituksiin. Finnmap Infra Oy:ssa on seurattu valokuvamallinnuksen kehittymistä muutaman vuoden ajan ja mallinnuskokeiluja on tehty parin vuoden ajan. Valokuvamalleja on käytetty todellisissa hankkeissa syksystä 2015 asti. Valokuvamallinnukseen ei kuitenkaan ole ehditty perehtymään kunnolla eikä valokuvamallinnusta ole hyödynnetty kovinkaan paljoa.

Valokuvamallin on kuitenkin todettu olevan hyvä pohja esittelymallien tekoon, koska valokuvamalliin saa yhdistettyä suunnittelumallit suhteellisen helposti ja lisäksi valokuvamallintaminen on todellisen ympäristön mallintamiseen hyvin helppo, nopea ja edullinen keino. Valokuvamallipohjaiset esittelymallit ovat yrityksen kokemuksen mukaan lieventäneet infrahankkeiden alueella elävien asukkaiden vastustusta hankkeita kohtaan. Lopullista visualisointia tehdään esimerkiksi LumenRT -ohjelmalla, jolla voidaan

lisätä esittelymalliin aidon näköistä kasvillisuutta ja liikennettä. Näiden syiden vuoksi Finnmap Infra Oy tilasi Valokuvamallinnuksen käyttö infrasuunnittelussa -opinnäytetyön ja ohjeistukset. Tulevaisuudessa valokuvamallinnusta pyritään hyödyntämään entistä enemmän ja monipuolisemmin suunnitteluhankkeissa.

1.2 Tavoite

Työn tavoitteena on tutkia valokuvamallintamista ja sen mahdollisia käyttökohteita infrasuunnittelun osa-alueilla. Opinnäytetyön tilaajana toimii infrasuunnittelutoimisto Finnmap Infra Oy, jonka vuoksi opinnäytetyössä käsitellään nimenomaan ympäristön valokuvamallintamista. Ympäristön mallintaminen tehdään ilmakuvamalla, joten työssä tutkitaan myös sopivaa kuvauskalustoa ja ilmakuvauksien suoritustapaa. Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia valokuvamallinnusta, kuten miten valokuvamalli tehdään, mikä sen mahdollinen tarkkuus on sekä mihin valokuvamallinnusta voidaan hyödyntää. Lisäksi opinnäytetyössä tutkitaan, mihin valokuvamallintamista hyödynnetään muualla maailmassa ja miten sitä voidaan hyödyntää Suomessa. Valokuvamallinnusta ei ole hyödynnetty Suomessa kovinkaan paljoa.

Opinnäytetyön tuloksena syntyy tutkimustyön lisäksi kolme valokuvamallia Lempäälän liittymien parantamishankkeista. Tutkimustyön ja Lempäälän liittymien valokuvamallintamisen jälkeen yrityksen käyttöön laaditaan seuraavat ohjeet: ilmakuvauksien suoritushje, toimintaohjeistus ja turvallisuusarviointi -lomake, valokuvamallin ja suunnittelumallien yhdistäminen ja vieminen LumenRT:hen -ohje. Lisäksi tuotetaan Excel-taulukko, jolla voidaan laskea ilmakuvaukselle sopiva kuvauskorkeus ja kuvanottovälit.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Työssä perehdytään infrasuunnitteluun ja valokuvamallintamiseen kirjallisuustutkimuksella ja internetlähteistä. Valokuvamallintamisesta ei oikeastaan löydy kirjallisuustutkimuksia, joten sen vuoksi internetlähteet ovat tärkeitä. Valokuvamallintamisesta löytyy kuitenkin ohjelmistojen käyttöoppaita ja Youtube -videoita, joten ne ovat tärkeitä tietolähteitä. Lisäksi Lempäälän liittymien parantamishankkeen valokuvamallien avulla pystytään konkreettisesti perehtymään valokuvamallintamiseen.

1.4 Työn rajaus ja rakenne

Opinnäytetyön aihe on valokuvamallinnuksen käyttö infrasuunnittelussa, joten opinnäytetyön aluksi kerrotaan infrasuunnittelun osa-alueista ja tietomallintamisen käytöstä infrasuunnittelussa. Tämän jälkeen kerrotaan infrasuunnittelun visualisoinnista, sillä valokuvamallinnusta käytetään eniten visualisointiin. Lopuksi kerrotaan valokuvamallinnuksesta ja ilmakuvauksesta, sillä ilmakuvauus liittyy olennaisesti ympäristön valokuvamallintamiseen. Kuitenkaan opinnäytetyön tavoitteena ei ole tutkia kovin tarkasti ilmakuvausta ja sen kalustoa.

Opinnäytetyötä tehdessä käytetään seuraavia tietokoneohjelmia; valokuvamallinnusohjelmaa ContextCapture, suunnitteluohjelmia PowerCivil for Finland V8i SS4 ja Microstation Connect Edition sekä Acute 3D Viewer -katseluohjelmaa. Acute 3D Viewerillä voidaan katselun lisäksi mitata valokuvamallista koordinaatteja, etäisyyksiä ja tilavuuksia. Suunnitteluohjelmilla suunnitellaan sekä yhdistetään valokuvamalli ja suunnittelumallit. Lisäksi käytössä on myös Bentley Systems:in visualisointiohjelma LumenRT, jolla pystytään lisäämään lopulliseen yhdistelmämalliin yksityiskohtia kuten aidonnäköistä kasvillisuutta ja liikkuvia autoja. LumenRT:n avulla saadaan myös tehtyä mallista helposti havainnekuvia ja -videoita.

2 Infrasuunnittelu

Liikennevirasto ja alueelliset ELY-keskukset vastaavat Suomen tienpidosta. ELY-keskus huolehtii maanteihin kuuluvasta suunnittelusta, rakentamisesta ja kunnossapidosta. Liikennevirasto vastaa merkittävien tiehankkeiden toteuttamisesta sekä valtion hallinnassa olevien ratojen ja vesiväylien suunnittelusta, rakentamisesta ja ylläpidosta. Suunnittelu perustuu maantielakiin ja -asetuksiin sekä maankäytön suunnittelua koskeviin lakeihin kuten maankäyttö- ja rakennuslakiin. [1, s.13.]

Suunnitteluprosessi tarkentuu vaiheittain, esimerkiksi tiensuunnitteluun kuuluvat seuraavat vaiheet: esiselvitys, yleis-, tie- ja rakennussuunnittelu [1, s.13]. Alussa tarkastellaan useita vaihtoehtoisia ratkaisuja, joista yksi suunnitelma valitaan tarkennettavaksi ja toteutussuunnitteluun. Jokaisen vaiheen suunnittelutarkkuus ja päätöksenteko sovitetaan yhteen kaavoituksen kanssa. Suunnittelu- ja päätöksentekovaiheita voidaan yhdistää pienikokoisissa hankkeissa. [2, s.11.]

Infrasuunnittelu voidaan jaotella seuraavanlaisesti:

- tiensuunnittelu
- ratasuunnittelu
- vesiväylien suunnittelu
- katujen, alueiden ja kunnallistekniikan suunnittelu
- vesihuollon ja muiden verkostojen suunnittelu
- muut infrasuunnittelukohteet kuten lentoasemat ja kaatopaikat [2, s.10.]

Infraprojektit ovat yleensä monialahankkeita, joiden suunnitteluun osallistuu useita omasta suunnittelualasta vastaavia suunnittelijoita ja asiantuntijoita. Esimerkiksi tiehankkeen suunnittelualoja ovat tie-, liikenne- ja geotekniikka, sillat, tunnelit, valaistus, liikenteenohjaus, maisema ja ympäristö. Infrasuunnittelu perustuukin nykyään tietotekniikkapohjaisten suunnitteluohjelmistojen ja sovellusten käyttöön, joita on kehitetty eri suunnittelualoja ja -tehtäviä varten. Tämä mahdollistaa saman suunnitelman työstämisen eri suunnittelijoiden toimesta sekä samojen lähtötietojen ja tietokantojen hyödyntämisen. [2, s.11-12.] Suunnitteluohjelmat mahdollistavat lisäksi entistä laadukkaammat ja teknisiltä ratkaisultaan tasokkaammat suunnitelmat, joka pienentää yhdessä suunnit-

telmien vaihtoehtojen tarkastelun kanssa toteutusvaiheen kustannuksia [2, s.20]. Suomessa infrasuunnittelussa käytetään monia eri ohjelmistotoimittajia ja -tuotteita, joista yleisimmät ovat Novapoint, Tekla Xstreet, Citycad, Autodeskin AutoCAD-tuoteperhe, johon kuuluu esimerkiksi AutoCAD MAP3D ja AutoCAD Civil 3D sekä Bentleyyn MicroStation tuoteperhe, johon kuuluu esimerkiksi InRoads ja Railtrack [2, s.31].

Infrasuunnittelu eroaa rakenne- ja arkkitehtisuunnittelusta siten, että infrasuunnittelu on sidottu paikkaan koordinaatistoa käyttäen. Suunnittelussa tulee ottaa myös huomioon mittakaava, suunnittelun kesto ja vaiheistus, maankäyttö ja kaavoitus sekä päätöksentekoprosessit. Infrasuunnittelu ja päätöksentekoprosessit voivat kestää pitkään ja ne sisältävät monia vaiheita. [2, s.21-24.]

2.1 Tiensuunnittelu

Liikennevirasto vastaa yleisestä tieverkosta. Tiensuunnittelu tarkentuu seuraavissa vaiheissa: esiselvitys, yleis-, tie- ja rakennussuunnittelu. Esiselvitys on ensimmäinen vaihe, jossa tutkitaan tiehankkeen tarvetta ja ajoitusta maakuntakaavaan ja yleiskaavaan. Erilaisia ratkaisuvaihtoehtojen perusteella päätetään jatkosuunnittelusta. Yleissuunnitteluvaiheessa määritellään tien likimääräinen sijainti, liittymät muuhun tieverkkoon ja maankäyttöön sekä mahdollisten ympäristöhaittojen torjunta. Mahdollinen ympäristövaikutusten arviointimenettely eli YVA-menettely tehdään yleissuunnitteluvaiheessa. [2, s.12-13.]

Tiesuunnitelma tehdään yleissuunnitelman pohjalta ja se vastaa asemakaavan tarkkuutta. Tiesuunnitelmassa määritellään tien tarkka sijainti ja vaatima alue sekä liittymäjärjestelyt. Sen pohjalta tehdään hyväksymispäätös, jonka jälkeen vaadittavat alueet voidaan lunastaa. Rahoituksen varmistuttua rakentaminen ja rakennussuunnittelu voidaan aloittaa. Rakennussuunnitelma tehdään tiesuunnitelman pohjalta ja se sisältää tarvittavien työpiirustuksien ja muiden asiakirjojen laadinnan. [2, s.12-13.] Kuvassa 1 on esitetty tiensuunnitteluvaiheet ja niiden kytköksen kaavoitukseen.



Kuva 1. Tiesuunnittelun kulku ja kaavoitus [2, s.13]

2.2 Ratasuunnittelu

Ratasuunnittelun suunnitteluprosessi on hyvin pitkälti samanlainen kuin tiesuunnittelun. Ensiksi tehdään tarveselvitys, jossa selvitetään hankkeen toimenpidevaihtoehdot, vaikutukset, taloudellinen kannattavuus ja kustannukset. Suunnittelupäätöksen jälkeen laaditaan yleissuunnitelma, joka sisältää esimerkiksi erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja, rata-alueen likimääräisen sijainnin sekä alustavan kustannusarvion. Tarveselvityksen ja yleissuunnitelman pohjalta tehdään ratasuunnitelma, jossa esitetään rautatien täsmällinen sijainti ja rakenteet, risteykset ja kulkuyhteydet. Rakentamissuunnitelma sisältää työn lopputuloksen ja toteutustavan niin, että rata voidaan rakentaa turvallisesti. [2, s.14-15.]

2.3 Vesiväylän suunnittelu

Liikennevirasto vastaa yleensä vesiväylähankkeista entisen Merenkululaitoksen sijaan. Ensimmäiseksi tehdään esiselvitys, jossa tutkitaan hankkeen toteuttamisedellytyksiä. Mikäli ne täyttyvät, laaditaan alustava yleissuunnitelma. Tarvittaessa alustavan yleissuunnitelman yhteydessä tehdään ympäristövaikutusten arviointimenettely. Tämän jälkeen voidaan laatia lopullinen yleissuunnitelma, jonka pohjalta haetaan aluehallintavirastosta vesilain mukaista lupaa väylän perustamiselle. Vesiluvan saamisen jälkeen voidaan laatia rakennussuunnitelma ja urakka-asiakirjat sekä rakentaminen voidaan aloittaa. [2, s.15-16.]

2.4 Katujen suunnittelu

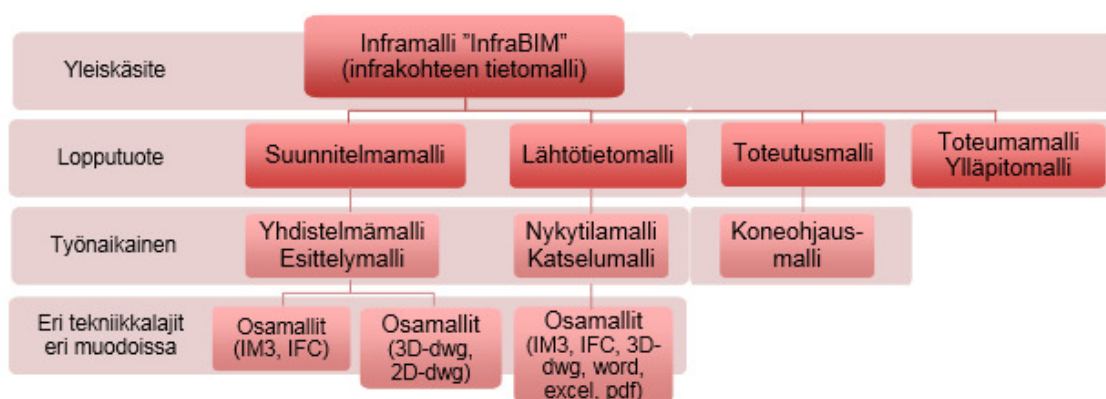
Kunta vastaa yleensä katujen suunnittelemisesta ja toteuttamisesta. Aluksi tehdään rakennettavuus- ja perustamistapaselvitys, jonka jälkeen laaditaan katusuunnitelma, joka pohjautuu kaupungin tai kunnan laatimiin asemakaavoihin ja liikennesuunnitelmiin. Katusuunnitelman lähtökohdat ja katualue määritellään asemakaavoituksen yhteydessä. Katusuunnitelman pohjalta tehdään rakennussuunnitelma, jossa määritellään kadun tekniset ratkaisut, rakennustekniset työt, massa- ja määrätiedot sekä laaditaan kustannusarvio. Rakennusvaihe tehdään rakennussuunnitelman ja työselostuksen mukaan. [2, s.17-19.]

3 Tietomallintaminen infrasuunnittelussa

Tietomallilla tarkoitetaan tuotteen, kuten rakennuksen ja infrakohteen, sekä rakennusprosessin elinkaaren aikaisen tiedon kokonaisuutta digitaalisessa muodossa. Perinteisen kaksiulotteisen dokumenttipohjaisen toimintatavan sijasta käytössä on kolmiulotteinen malli, josta voidaan tulostaa tarvittavat dokumentit. Tietomallin tarkoituksena on koota kaikki tieto yhteen ja havainnollistaa suunnitelmat todenmukaisesti. Tiedon kuvaaminen mallipohjaisesta mahdollistaa sen, että tietotekniset järjestelmät ja sovellukset voivat tulkita tietoa, sekä tiedon suunnittelun osa-alueiden yhteensovittaminen on helpompaa. [3.]

Kuitenkaan kaikki rakennusta tai infrakohdetta esittävät mallit eivät ole tietomalleja [4]. Tietomallin tulee tukea rakentamista, osavalmistusta ja hankintaa [4] sisältämällä esimerkiksi rakennuksen ja väylän osien ja niihin liittyvien tietojen kuvauksen. Näiden tietojen puuttuessa malli ei ole tietomalli vaan pelkkä 3D-malli. [1, s.10.] Esimerkiksi mikäli mallia voi muokata vain yhdessä näkymässä ilman automaattista muutoksen siirtoa toisiin näkymiin tai mallista puuttuu attribuuttitiedot, se ei ole tietomalli [4]. Tietomalleilla on siis kaksi puolta, jotka ovat tiedonhallinta ja 3D-esittäminen [1, s.3].

Talonrakennusalalla tietomallista käytetään myös englanninkielistä lyhennettä BIM, joka tulee sanoista building information model. Infra-alalla on käytössä termi InfraBIM eli inframalli, joka on yleisnimitys kaikille infran tietomallinnuksessa käytettäville elinkaaren aikaisille malleille. Työnaikaiset mallit voivat koostua monesta eri osamallista, joiden tiedonsiirtoformaattina talonrakennusalalla on tavallisesti IFC-formaatti. Infra-alalla käytetään pääasiassa LandXML -formaattia sekä siitä Suomessa kehitettyä inframodel (IM) -formaattia. [1, s.22-23.] Kuva 2 havainnollistaa infra-alan tietomallinnuksen peruskäsitteitä sekä tiedonsiirtoformaatteja.



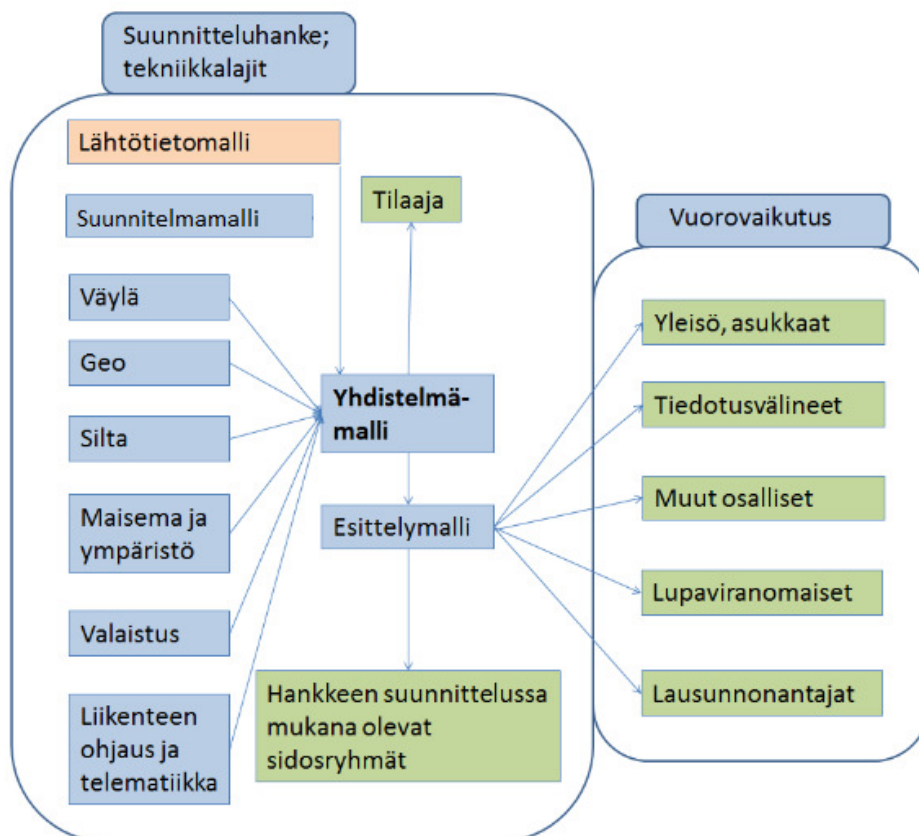
Kuva 2. Infra-alan tietomallinnuksen peruskäsitteet ja tiedonsiirtoformaattit [1, s.22]

Inframalleja tuotetaan erilaisiin tarkoituksiin hankkeen eri vaiheissa, mutta pääasiassa niitä hyödynnetään rakentamisessa ja rakennussuunnittelussa [1, s.26]. Suunnittelun perustana on lähtötietomalli, joka koostuu hankkeen nykytilannetta kuvaavista aineistoista eli nykytilamalleista [5, s. 6]. Lähtötietomallia tarkennetaan ja ylläpidetään koko rakennusprosessin ajan [5, s.16]. Tilaajien käyttöön voidaan antaa myös 3D-malli, joka on jalostetumpi versio nykytilamallista. Se helpottaa kokonaisuuden hahmottamista esimerkiksi havainnollistamalla ympäristöä ja maankäyttöä. [1, s.31-32.]

Työaikaiseen suunnitteluun laaditaan suunnitelmamallit, joita ylläpidetään koko rakentamisen ajan kuten lähtötietomallia [5, s.17]. Suunnitelmamalli kattaa suunnittelijoiden suunnitteluratkaisut [1, s.22]. Suunnitelmamallit on jaoteltu suunnittelualojen ja vaiheiden mukaisesti tekniikkalajeittain [5, s.23]. Yhdistelmämallia käytetään työaikaisessa suunnittelussa [1, s.23]. Yhdistelmämalli kootaan lähtötietomallin ja suunnittelumallin pohjata ja sitä käytetään yhteensopivuuden tarkistamiseksi eri rakennusosien välillä [5, s.7]. Yhdistelmämallit koostuvat tekniikkalajeittain jaoteltavista osamalleista, joita ovat tiesuunnittelussa esimerkiksi tiemallit ja pohjarakennusmallit. Osamalleja voidaan vertailla keskenään, ettei päällekkäisyyksiä, virheitä tai ongelmia esiinny. [1, s.23.] Suuremmalle yleisölle suunnitelmamalleista voidaan laatia esittelymalleja esimerkiksi vuoropuheluun ja päätöksenteon tukeen. Esittelymalli on jalostettu versio yhdistelmämallista ja siitä on pyritty tekemään mahdollisimman realistinen, lisäämällä esimerkiksi tekstuureja, rakennuksia ja kasvillisuutta. [5, s.6.]

Kuva 3 havainnollistaa suunnitelma- ja yhdistelmämallien rakennetta sekä esittelymallin vuorovaikutusta. Suunnitelmamalli koostuu useasta eri osamallista, joita tekniikkala-

jit muodostavat. Esimerkiksi tien tai väylän suunnitelmamalli koostuu useasta eri tekniikkalajista, joita ovat muun muassa väylä/tie, silta, geotekniikka (pohjarakennus, vesien hallinta), maisema ja ympäristö, valaistus sekä liikenteen ohjaus ja telematiikka [5, s.24]. Yhdistelmämalli kootaan lähtötietomallin ja suunnittelumallin pohjalta ja se näyttää kaikki sen hetkiset mallit yhdessä [5, s.31]. Yhdistelmämallista voidaan tehdä esittelymalli, jonka tehtävänä on vuorovaikutus esimerkiksi asukkaiden, tiedotusvälineiden, lupaviranomaisien ja lausunnonantajien kanssa.



Kuva 3. Suunnittelu- ja yhdistelmämallin rakenne sekä esittelymallin vuorovaikutus [6, s.12]

Lähtötieto- ja suunnitelma-mallien lisäksi laaditaan toteutus- ja toteumamallit [5, s.15]. Toteutusmallia käytetään rakentamisen aikana ja osa toteutusmallia ovat koneohjausmallit. Toteumamalli kuvaa miten kohde on rakennettu ja sen pitäisi vastata rakennus-suunnitelma-mallia. [1, s.23.] Ylläpitomallia käytetään kohteen hoidossa ja ylläpidossa [1, s.23]. Mallityypeistä kerrotaan vielä lisää luvussa 2.4.

Tietomallintamista on käytetty pidempään talonrakennusalalla kuin infrasuunnittelussa, mutta se on yleistymässä myös aluesuunnittelussa. Pisimpään on hyödynnetty paikka-

tietoja maankäytön suunnittelussa. Vaihtoehtoisten ratkaisujen arviointiin ja päätöksentekoon kaivataan helppokäyttöisiä arviointityökaluja ja -menetelmiä, joita kaikki projektin eri osapuolet voisivat hyödyntää. Vertailuun soveltuu esimerkiksi virtuaalimalli, sillä se on helposti ymmärrettävissä. Tietomallintaminen helpottaa tiedon hallintaa, luettavuutta ja ymmärtämistä. Sen avulla voidaan tunnistaa esimerkiksi rakentamiskelpoiset maa-alueet paremmin, kun malliin sisältyy maaperätiedot, maaston kaltevuustiedot ja tulvariskialueet. [1, s.34.]

3.1 Mallintamisen kehitys

Tietomallintaminen on uudehkoa infra-alalla, mutta sitä kehitetään jatkuvasti erilaisten tutkimus- ja kehityshankkeiden ja -ohjelmien avulla, jotta tietomallintamista voidaan hyödyntää entistä enemmän suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa [1, s.10]. Suomi kuuluukin Euroopan kärkimaihin infra-alan tietomallintamisessa [1, s.35].

Vuoden 2000 alussa infra-alan tietomallinnusta alettiin kehittää tiedonsiirtoformaatin inframodel parissa. Vuonna 2009 käynnistynyt Infra TM -hanke vauhditti tietomallintamisen käyttöönottoa. Siihen valmisteltu tutkimus- ja kehitystyö tapahtui RYM Oy:n PRE-tutkimusohjelman Infra FINBIM -työpaketissa. Työpaketin tavoitteena oli, että mallipohjaista palvelua tilataan suurien infran haltijoiden puolesta vuoteen 2014 mennessä. [1, s.23.] Infra FINBIM -työpaketin ansiosta on kehitetty yleiset inframallivaatimukset ja -ohjeet (YIV 2015), inframodel -tiedonsiirtoformaatti ja tietomallintamista tukeva Infra-BIM-nimikkeistö [7]. Nämä ovat mahdollistaneet laajemman tietomallintamisen käyttöönoton Suomen infra-alalla [7], vaikka talonrakennuspuolella tietomallinnus onkin vielä infrapuolta edellä [1, s.10].

Ohjelmistosuunnittelijat ovat huomanneetkin tarpeen siirtyä myös infra-alalla tietomallinnusta tukevaan teknologiaan, jonka vuoksi lisäosia jo olemassa oleviin ohjelmiin sekä kokonaan uusia ohjelmia kehitetään jatkuvasti [1, s.36].

3.2 Mallintamisen tavoitteet

Inframalli tehdään tiettyä käyttötapausta varten jolloin mallintamisella pyritään siihen, että kaikilla projektin osapuolilla on sama tieto ja yhtenäinen malli käytettävissä [1,

s.10]. Tietomallinnuksen toteutus suunnitellaan hankkeen käynnistysvaiheessa ja sen tavoitteet kirjataan hankkeen tietomallinnussuunnitelmaan [6, s.10-11]. Infrahankkeissa mallintaminen tarkentuu asteittain, jonka etuja ovat esimerkiksi alustavien ja vaihtoehtoisten suunnitelmaratkaisujen teko ja vertailu, reaaliaikaiset kustannusarviot sekä suunnitteluvaiheiden tulosten siirto seuraaviin suunnitteluvaiheisiin. Mallintamisen suunnittelun lisääntyminen hyödyttää sekä omistajia ja viranomaisia, että urakoitsijoita, suunnittelijoita ja konsultteja. [2, s.9.]

Yleisesti mallintamisen käyttötarkoitukset ja tavoitteet ovat:

- Kohteen toteutettavuuden varmistaminen
- Suunnitelma-alojen yhteensovittaminen
- Suunnitelmien ja nykyisten rakenteiden yhteensovittaminen
- Rakentamisen tuottavuuden ja tehokkuuden edistäminen
- Suunnittelun ja toteutuksen laadun parantaminen
- Havainnollistaminen: projektiryhmä, käyttäjät ja ulkopuoliset sidosryhmät
- Tuotannosuunnittelu ja -ohjaus, 4D- ja 5D-mallintaminen
- Elinkaarenaikainen tiedonhallinta: rakentamisen jälkeinen hoito ja ylläpito [6, s.10-11.]

3.3 Mallintaminen eri hankevaiheissa

Suunnitteluprosessi on vaiheittain tarkentuva prosessi, joka saattaa viedä useita vuosia. Mallinnuksen tavoitteena on tukea prosessia sekä parantaa tiedonhallintaa. Tien-suunnitteluprosessin vaiheet ovat esi-, yleis-, tie- ja rakennussuunnitelma. Mallinnus tarkentuu sekä yksityiskohtien määrä kasvaa siirryttäessä hankevaiheesta seuraavaan. [5, s.12-13.] Kuva 4 esittää mallintamisen hyötyjä eri hankevaiheissa.

| | Esisuunnittelu | Yleissuunnittelu | Tiesuunnittelu | Rakennus- suunnittelu | Urakatarjous- vaihe | Rakentaminen | Hoitto ja ylläpito |
|-----------------------------------|----------------|------------------|----------------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------------|
| Tiedon jälleenkäyttöarvo | | | | | | | |
| Suunnittelun laadunvarmistus | | | | | | | |
| Visualisointi ja vuorovaikutus | | | | | | | |
| Työmaaprosessien tehostaminen | | | | | | | |

Kuva 4. Mallintamisen hyödyt eri hankevaiheissa [5, s.13]. Tummempi väri kertoo, että mallintaminen on entistä hyödyllisempää ja tärkeämpää näillä osa-alueilla.

Esisuunnittelussa selvitetään erilaisten ratkaisujen ja vaihtoehtojen vaikutusta esimerkiksi ympäristöön, liikenteeseen ja yhdyskuntarakenteeseen. Esisuunnittelu kuuluu maankäytön ja liikenneväylän toimenpiteiden tarveselvitykseen. Lähtöaineisto on yleispiirteistä, joten 3D-mallintamista tehdään vain merkittävimmistä kohteista. [5, s.13.]

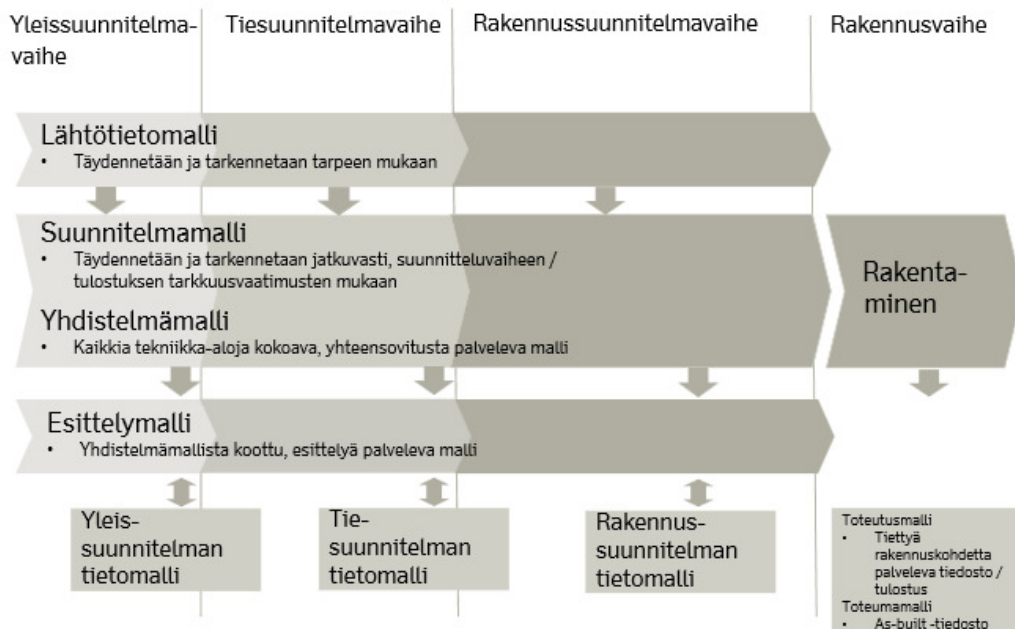
Yleissuunnittelu on tärkein suunnitteluvaihe vuoropuhelun kannalta, sillä tavoitteena on hyväksyä hanke. Yleissuunnitteluvaiheessa selvitetään ratkaisu-vaihtoehtoja vaikutuksineen, joita ovat esimerkiksi liikenteelliset ja tekniset perusratkaisut, tien likimääräinen sijainti, ympäristöhaittojen torjunta sekä alustava kustannusarvio. Eri suunnitelmaratkaisujen ja -vaihtoehtojen havainnollistaminen on tärkeää, koska sillä tuetaan suunnitelmien ymmärrettävyyttä. Lähtötiedot ovat vielä yleispiirteisiä, joten mallinnuksen ei tule olla liian tarkkaa. Tärkeämpää on, että tieto siirtyy seuraaviin suunnitteluvaiheisiin. [5, s.13-14.]

Tiesuunnitteluvaiheessa tiesuunnitelma mallinnetaan yleissuunnittelun pohjalta. Tiesuunnitelmassa osoitetaan tien tarkka sijainti ja muita yksityiskohtia sekä siirrytään käyttämään maastomallia, mutta se ei ole vielä niin tarkka kuin rakennussuunnitelma. Tiesuunnitelmavaiheen lähtötietomalli luo pohjan rakennussuunnitteluvaiheen lähtötietomallille mihin lisätään vielä esimerkiksi kartoitus- ja pohjatutkimustiedot. Tiesuunnittelu on tärkeä vaihe lähtötietojen hankkimiselle, vaihtoehtovertailuihin sekä vuoropuheluun asianosaisten kanssa ja näitä tehtäviä mallintaminen palvelee. [5, s.14.]

Rakennussuunnittelun perustana ovat tiesuunnitelmavaiheen suunnittelumalli ja lähtötietomalli. Hyväksytyt tiesuunnitelman pohjalta laaditaan rakennussuunnitelma, jonka perusteella voidaan kilpailuttaa urakka sekä toteuttaa rakennustyöt. Tien rakenne mallinnetaan tiegeometrian ja rakennepoikkileikkausten mukaisesti sekä suunnitelmaan lisätään yksityiskohtia kuten kuivatus-, pohjanvahvistus-, meluntorjunta- ja ympäristörakenteet sekä varusteet ja laitteet. Lähtötieto- ja suunnitelmamalleja ylläpidetään rakentamisen aikana sekä todenmukaiset toteutus- ja toteumamallit laaditaan. Toteumamallia perusteella voidaan koota ylläpitomalli. [5, s.15.]

3.4 Mallityypit

Mallityyppejä ovat lähtötietomalli, suunnitelmamalli, esittelymalli sekä rakentamiseen liittyvät toteutus- ja toteumamallit. Jokaisessa suunnitteluvaiheessa syntyy yhdistelmämalli lähtötietomallin ja eri tekniikkalajien suunnitelmamallien yhdistelmänä. Yhdistelmämallia päivitetään suunnittelun aikana ja sitä hyödynnetään yleisesti suunnittelutyössä, tekniikkalajien yhteensovituksessa ja asiantuntijoiden vuorovaikutuksessa. Kuva 5 havainnollistaa inframallien käyttöä ja sisältöä tiesuunnittelussa ja -rakentamisessa. [5, s.20.]



Kuva 5. Inframallit tiensuunnittelussa ja -rakentamisessa [5, s.20]

3.4.1 Lähtötietomallit

Lähtötietomallit muodostavat suunnitteluhankkeen perustan ja niitä päivitetään ja täydennetään suunnittelun aikana. Mallinnuksen kannalta lähtötietojen luokittelu ja muokkaaminen mallipohjaista suunnittelua ja tiedonsiirtoa tukevaan muotoon on tärkeää. [5, s.20.]

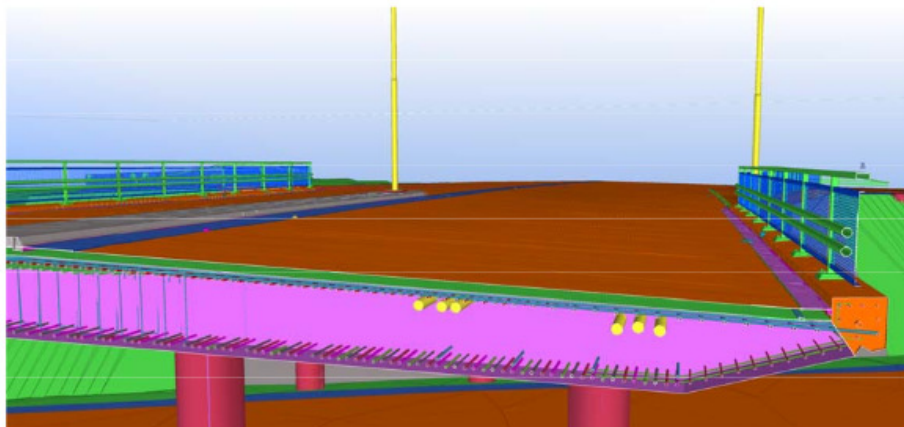
Lähtötiedot voidaan jakaa kolmeen pääkategoriaan: fyysiset (3D), paikkatietoon sidotut (2D) ja viitteelliset. Fyysisillä lähtötiedoilla on sijainti, geometria sekä ominaisuustietoja ja ne kuvaavat kohteen nykytilaa esimerkiksi rakenteita, maaston pinnan korkeutta ja geologiaa. Paikkatietoon sidotut lähtötiedot ovat esimerkiksi maanomistusrajat, kaavat, ympäristökohteet, suojelualueet sekä metsän tai pellon reunat. Viitteellisiä lähtötietoja ovat paikkaan sitomattomia lähtötietoja kuten suunnitteluperusteet, aiempien suunnitteluvaiheiden lausunnot, päätökset ja perustelut. Lähtötietomallin osamallit koostuvat seuraavista tekniikkalajeista: maastomalliaineisto, maaperämalliaineisto, rakenteet ja järjestelmät, kartta- ja paikkatietoaineisto sekä viiteaineisto. Tekniikkalajien mallinnustarkkuus riippuu suunnitteluvaiheesta. [5, s.20-21.]

3.4.2 Suunnitelmamallit

Suunnitelmamallien lähtökohtana ovat suunnitteluvaiheet, jotka tiensuunnittelussa ovat yleis-, tie- ja rakennussuunnitelmavaiheet sekä niiden toimintaohjeiden tehtäväkuvaukset. Suunnitelmamalli koostuu monesta tekniikkalajista, jotka tiensuunnittelussa ovat: tie, pohjarakennus, vesien hallinta, johdot ja laitteet, maisema ja arkkitehtuuri, valaistus, kiinteä liikenteenohjaus, telematiikka ja liikennevalot, sillat ja taitorakenteet, tunnelit, havainnolliset rajat sekä vaikutukset.

Tekniikkalajien mallinnustarkkuus riippuu suunnitteluvaiheesta ja se tarkentuu yleissuunnitelmavaiheesta rakennussuunnitelmavaiheeseen. Esimerkiksi tiemallin yleissuunnitelmavaiheessa tiemallin sisältö on pelkistetty. Siinä esitetään karkeasti väylän geometriaa, tilanvarausta ja massataloutta sekä sovittamista ympäristöön. Tiesuunnitelmassa mallinnetaan tiealueiden sijainti tarkemmin, jotta voidaan määrittää rakentamiseen varattavat alueet. Rakennussuunnitelmavaiheen malli on vielä tarkempi, jolloin mallinnetaan väylän osat, jotta sen pohjalta voidaan tehdä toteutusmalli. Suunnitelmamallien pohjalta voidaan suorittaa kustannusarvioita, eri tekniikkalajien määräluetteloja,

sillanrakenteiden mitoitusta ja geoteknisiä laskemia. [5, s.22-31.] Kuva 6 on esimerkkikuva sillan suunnitelmamallista rakennussuunnitteluvaiheessa.



Kuva 6. Sillan suunnitelmamalli rakennussuunnitteluvaiheessa [5, s.29]

3.4.3 Yhdistelmämalli, toteutus- ja toteumamallit

Yhdistelmämalli kootaan lähtötietomallin ja suunnittelumallin pohjalta ja se näyttää kaikki sen hetkiset mallit yhdessä. Yhdistelmämallia päivitetään suunnitteluprosessin ajan. Siihen ei lisätä tietoa mitä muista malleista ei löydy. Yhdistelmämallin avulla voidaan varmistua eri suunnitelman osien sekä olemassa olevien rakenteiden yhteensopivuudesta. [5, s.31.] Yhdistelmämallista tuotetaan toteutusmalli, jota tarvitaan rakennettavan kohteen työsuunnittelua, paikalleen mittausta ja koneautomaatiota varten [5, s.33].

Toteumamalli kuvaa miten kohde on todellisuudessa rakennettu ja se on lähtökohtana kohteen hoidolle ja ylläpidolle. Toteumamallin perustana toimii lähtötietomalli sekä suunnittelumalli ja sitä päivitetään rakennusvaiheen toteumilla, esimerkiksi toteumamalliin on voitu lisätä kalliopinnan todellinen sijainti sekä työmaalla hyväksytyt muutokset. [5, s.33.]

3.4.4 Esittelymallit ja -videot

Esittelymalli toteutetaan tarkkana kolmiulotteisena suunnitelman mallina, jota voi tarkastella eri kuvakulmista tietokoneen avulla. Se eroaa perinteisestä visualisoinnista perustamalla suunnitelmatietoon. Visualisointi-aineistona voidaan käyttää myös pelkkiä taiteilijan luomia kuvia, mutta nykyään 3D-malleja kuten virtuaalimalleja käytetään yhä enemmän hankkeen alkuvaiheesta lähtien. [2, s.77.]

Esittelymallissa näkyvät valmiin tien ja näkyvien rakenteiden osat. Siitä pyritään luomaan mahdollisimman realistinen, sillä esittelymallia käytetään hankkeen havainnollistamiseen esimerkiksi päätöksen teon tukena. Esittelymallin pohjana toimii yhdistelmämalli, johon lisätään esimerkiksi tekstureja, ympäröiviä rakennuksia ja kasvillisuutta. Esittelymallien tarkkuustaso, sisältö ja havainnollistamisaineisto kuten havainnekuvat ja videot sovitaan hankekohtaisesti. [5, s.33.] Kuva 7 on esimerkkikuva tiesuunnitelmavaiheen esittelymallista.



Kuva 7. Tiesuunnitelmavaiheen esittelymalli [5, s.33]

4 Visualisointi

Visualisointi tarkoittaa asioiden havainnollistamista ja selventämistä helposti ymmärrettävässä muodossa ja se yleensä käsitetään tietokoneen avulla tehtäväksi 3D-mallintamiseksi ja havainnollistamiseksi [2, s.68]. Yksi tietomallien käyttötarkoituksista on visualisointi, mitä käytetään suunnitteluprosessin aikana ratkaisuvaihtoehtojen analysointiin ja vertailuun [8, s.4] sekä kommunikointiin asiakkaan, suunnittelijan ja eri suunnittelualojen välillä [2, s.30]. Visualisoinnin etuja ovat esimerkiksi suunnitelmavaihtoehtojen vertailu, vuorovaikutus osapuolien välillä, suunnitelman laadunvarmistus, päätöksenteon tuki, virheiden havaitseminen sekä markkinoinnin, myynnin ja tiedottamisen apuvälineenä oleminen [8, s.14].

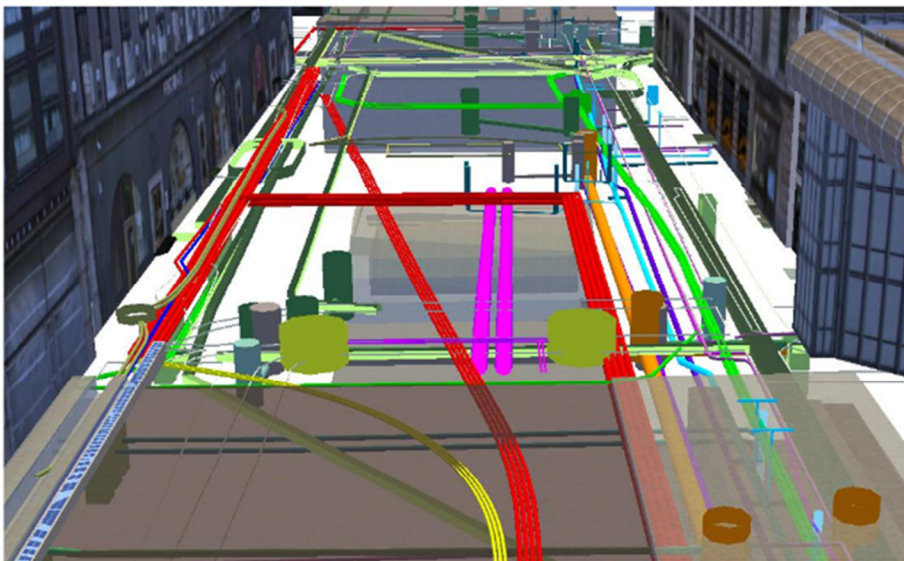
Tietotekniikan avulla voidaan tuottaa 3D-geometriaan perustuvia visualisointeja. Suunnitteluohjelmilla voidaan tuottaa esimerkiksi tien pintamalleja automaattisesti. Pintamallit perustuvat mitatuista 3D-hajapisteistä muodostettuun kolmiointiin, jolloin geometrialla ei ole tilavuutta. Tilavuusmalleja mallinnetaan kiinteistä kappaleista, kuten silloista ja tunneleista, jolloin niille voidaan tehdä analyysejä kuten lujuustarkasteluja. Pelkkä geometria ei riitä visualisointiin, vaan visualisointiohjelmilla määritellään tietynlainen ulkonäkö materiaalien ja valaistuksen avulla. Materiaaleilla on tietty tekstuuri tai pinta-kuvio, joka voi olla esimerkiksi valokuva materiaalista tai rakennuksen julkisivusta. Valaistus on yleensä yksinkertainen yhdistelmä hajavaloa ja auringonvaloa. [2, s.73-74.]

Suomessa infrasuunnittelussa käytetään monia eri ohjelmistotoimittajia ja -tuotteita, esimerkiksi Autodeskin AutoCAD ja Bentleyyn MicroStation -tuoteperheitä [2, s.31]. Suunnitteluohjelmat ovat kehittyneet paljon ja uusimmissa ohjelmissa suunnittelu tapahtuu 3D-mallin avulla, joissa visualisointi tapahtuu automaattisesti [2, s.76].

Infrasuunnittelussa korostuu nykyään yhä enemmän vuorovaikutus ja kommunikointi, jota visualisointi parantaa helpottamalla ymmärrystä ja tiedonkulkua. Tämä taas auttaa päätöksenteossa. [2, s.69.] Aina visualisoinnin ei tarvitse olla realistista, luonnosvaiheessa visualisointi voi olla luonnosmaista ja myöhemmässä vaiheessa aidompaa ja tarkempaa [2, s.72]. Visualisointi, josta voidaan käyttää myös nimitystä havainnollistaminen, jaetaan Yleiset Inframallivaatimuksien YIV 2015 osa 10 mukaan kahteen osaluueeseen: tekninen ja esittävä havainnollistaminen [8, s.4].

4.1 Tekninen havainnollistaminen

Tietomallin teknisellä havainnollistamisella tai visualisoinnilla tarkoitetaan ulkoasua, jossa eri rakenneosat voidaan erottaa toisistaan esimerkiksi värien avulla materiaalien sijasta [8, s.4]. Inframallien mallinnusosien havainnollistamistapa on geometrinen muoto, mutta muita tapoja ovat väri, väriasteet, läpinäkyvyys, rasteri, taso, ominaisuustieto, objektikoodi sekä symboliikka. Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015 osa 10 -ohjeen mukaisilla värisävyillä voidaan kuvata eri järjestelmiä ja rakennusosia, jotta niiden tunnistaminen olisi helppoa. [8, s.5.] Kuva 8 esittää teknistä havainnollistamista väreillä. Teknisen havainnollistamisen tavoitteena on erottaa visuaalisesti toisistaan hankkeen nykytila, suunniteltu tilanne ja sen rakenneosat, purettavat kohteet, toteutunut tilanne ja muut mahdolliset tiedot [8, s.5]. Se toimii kommunikaatiovälineenä suunnittelijalle sekä suunnitteluryhmälle, tilaajalle, hankkeen johdolle ja työmaalle [8, s.4].



Kuva 8. Tekninen havainnollistaminen väreillä [8, s.7].

4.2 Esittävä havainnollistaminen

Tietomallin esittävällä havainnollistamisella tai visualisoinnilla tarkoitetaan realistista, valokuvamaista ulkoasua, joka on suunnittelijan näkemys hankkeesta [8, s.4]. Tavoitteena on monimutkaisten ja teknisten lähtötietojen esittäminen ymmärrettävämmässä muodossa katsojalle sekä visualisoinnilla voidaan vielä varmistaa hankkeen toteutu-

vuus ympäristön, turvallisuuden ja estetiikan osalta [8, s.9-12]. Esittävä havainnollistaminen voi olla kuva- ja tai videomateriaalia, jota tehdään kommunikoinnin, näkemisen, ymmärtämisen ja selventämisen vuoksi [8, s.9] esimerkiksi hankkeiden yleisötilaisuuksiin ja median käyttöön. Hankkeen tarjouksessa ja sopimuksessa määritellään esittävän havainnollistamisen laajuus ja tarkkuus. [8, s.4.]

Esittävä havainnollistaminen perustuu 3D-geometriaan ja sen pohjana tulisi käyttää suunnittelijan tuottamaa tietomallia. Kuitenkin tämä vaatii lisätöitä, jotta tietomallista saadaan esittäviä havainnollistamismalleja. Valaistuksen ja materiaalien avulla kohde saa oikeanlaisen ulkonäön, joita voidaan määrittellä visualisointiohjelmissa. Kuitenkaan kaiken mallintamisen ei täydy olla täysin realistista, vaan joitakin rakenteita voidaan esittää luonnosmaisina kuten infrahankkeissa rakennusten ulkonäkö. [8, s.9-11.]

Vuorovaikutus ja kommunikointi korostuvat yhä enemmän infran suunnittelussa, sillä hankkeessa on mukana asiantuntijoita, virkamiehiä, päättäjiä ja kansalaisia. Kaikkien tulee ymmärtää toteutettavat ratkaisut ja se ei välttämättä onnistu teknisten piirustuksien tai tietomallien avulla. Esittävä havainnollistaminen antaa helpomman ymmärrettävän kuvan ja se sopii hankkeiden markkinointiin sekä tapahtumissa tai medioissa esitettäviin havainnekuviin tai animaatioihin. [8, s.12.] Kuva 9 on realistista esittävän havainnollistamisen materiaalia.



Kuva 9. Realistista esittävän havainnollistamisen kuvamateriaalia [8, s.9]

4.3 Esittävä havainnollistaminen hankkeen eri vaiheissa

Lähtötietomallin laadintavaiheessa lähtötietoa kerätään valo- ja videokuvaamalla esittävää havainnollistamista varten. Myös kohteen ympäristöä inventoidaan kuten kaupunkiympäristön materiaaleja, joita ovat esimerkiksi katujen pintamateriaalit, rakennusten julkisivut, kasvillisuus ja liikennemerkkit. Suositeltavaa on, että lähtötiedon valo- ja videokuva-aineisto on tarkka resoluutioista, jotta materiaalia voidaan käyttää myöhemmin havainnollistamismalliin. [8, s.15.]

Esi- ja yleissuunnitteluvaiheissa esittävä havainnollistaminen on tärkeää, sillä se helpottaa suunnitelmaratkaisujen ymmärtämistä sekä viestintää ja vuorovaikutusta. Lisäksi se mahdollistaa päätöksenteon lähes realistisen visualisoinnin perusteella, joten esittävää havainnollistamista käytetäänkin nykyään infrahankkeiden esittely- ja asukastilaisuuksissa sekä mediaviestinnässä. Yhdistelmämalli toimii esittävän havainnollistamisen lähtötietona, ja havainnollistamismalliin lisätään esimerkiksi rakennepintojen tekstuureja ja muita detaljeja. Visuaalinen tarkkuus riippuu hankkeen ja tilaajien laatuvaatimuksista. [8, s.17-18.]

Tie-, rata- ja rakennussuunnitteluvaiheissa hyödynnetään edellisten suunnitteluvaiheiden mallinnuksia ja visualisointeja, joista tuotetaan tarkempaa esittävää havainnollistamista. Havainnollistamisen hyödyt ovat samat kuin esi- ja yleissuunnitteluvaiheissa eli suunnitelmaratkaisujen ymmärtäminen, vuorovaikutuksen ja päätöksenteon helpottaminen. Käyttötarkoituksia ovat asukastilaisuuksien 3D-mallit, markkinointiin kuva- ja animaatiotuotokset, ratkaisujen vertailu, simuloinnit esimerkiksi 4D- ja 5D- sekä liikenteeseen ja tilavarauksiin liittyvät simuloinnit. [8, s.20.]

Rakentamisen aikaisen esittävän havainnollistamisen hyödyt ovat samat kuin muidenkin suunnitteluvaiheiden ja sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi työmaa aikaisten liikennejärjestelyiden havainnollistamisessa, kohteen käyttöönottoon liittyvissä opastusvideossa ja infotauluissa sekä pelastusviranomaisten koulutusmateriaalissa. [8, s.22-24.] Kuvassa 10 on visualisoitu rakentamisen aikaisia liikennejärjestelyitä. Havainnollistamista voidaan hyödyntää myös ylläpitomalleissa [8, s.22-24].



Kuva 10. Rakentamisen aikaisten liikennejärjestelyiden visualisointia [8, s.23]

4.4 3D-mallit, virtuaalimallit ja todellisuusmallit

Tietokoneella tarkasteltavasta kolmiulotteisesta mallista eli 3D-mallista (3D model) voidaan käyttää myös nimityksiä virtuaalimalli (virtual reality model) [9] tai todellisuusmalli (reality model) [10]. Virtuaalimalli nimitystä on käytetty 3D-mallista, jota voidaan katsella ja tarkastella 3D-kypärällä [9]. Todellisuusmalli nimitystä on käytetty 3D-mallista mikä on luotu valokuvista, jotka on otettu valmiiksi rakennetusta ympäristöstä. Tähän voidaan projisoida suunnitelmätietoja esimerkiksi tulevista rakennuksista tai rakenteista. [10.] Käytännössä termeillä ei ole juuri eroa, sillä kaikkia 3D-malleja voidaan tarkastella samalla tavalla tietokoneella ja 3D-kypärällä [9].

Virtuaalimalleja käytetään koko suunnitteluprosessin ajan samoihin käyttökohteisiin kuin visualisointia yleensä, esimerkiksi yleisesittelyyn, suunnitelmien yhteensovittamiseen, nykyisen paikkatiedon visualisointiin ja maisemallisten vaikutusten arviointiin. Virtuaalimallit ovat tärkeitä suunnitelmien analysoinnin ja laadunvarmistuksen kannalta, sillä niillä voidaan tarkastella suunnitelmaa myös tienkäyttäjän perspektiivistä. Realistisia virtuaalimalleja hyödynnetään yhä enemmän myös hanke- ja esisuunnittelussa, joka mahdollistaa tarkempien hankesuunnitelmien ja kustannusennusteiden laatimisen yhä aikaisemmassa vaiheessa. [2, s.77-80.]





Infrasuunnittelun tietomallipohjaiset virtuaalimallit perustuvat tarkkaan suunnitelmätietoon [2, s.77] ja ne mahdollistavat 3D-karttojen esittämisen sekä tiedon visualisoinnin [11, s.28]. Virtuaalimallilla pyritään visualisoida nykytilanne ajantasaisena, valmiiksi rakennettuna ympäristönä [11, s.28-29]. Virtuaalimalleissa voidaan esittää rakennuksia tai alueita, joita yritykset, asukkaat ja muut sidosryhmät pystyvät tarkastelemaan. Esimerkiksi kaupungeista on tehty virtuaalimalleja, joita voidaan hyödyntää alue-, rakennus- ja arkkitehtisuunnittelussa. [11, s.30.] Myös väylä- ja ympäristösuunnittelussa tullaan hyödyntämään virtuaalimalleja pelkän havainnollistamisen sijasta [11, s.30].

Todellisuusmallinnuksen hyödyt ovat pitkälti samanlaisia kuin virtuaalimallinnuksen hyödyt. Todellisuusmallia voidaan tarkastella samalla tavalla kuin virtuaalimallia, mutta todellisuusmalli on luotu oikeasta ympäristöstä esimerkiksi valokuvien tai laserkeilauksen avulla, minkä jälkeen siihen voidaan projisoida suunnitelmätietoja. Todellisuusmallin avulla on helpompaa ymmärtää nykyolosuhteita, sekä arvioida riskejä, kun suunnitelmat voidaan näyttää yhdessä olemassa olevan infrastruktuurin kanssa. Työmaasta pystytään luomaan joka viikko todellisuusmalli, jonka avulla työmaatilannetta voidaan seurata sekä todeta muutokset. Todellisuusmallia voidaan hyödyntää myös oppimiseen ja simulaatioihin sekä kuntotarkastuksien tekoon. [10.]

4.5 Mallinnusmenetelmät

BIM-mallinnusteknologian ansiosta on entistä helpompaa tunnistaa suunnitteluvirheitä, määrälaskenta on tarkempaa, olosuhde- ja energiasimulaatioita voidaan laatia sekä suunnitelmat ovat havainnollisempia ja visuaalisempia. 3D-malleihin voidaan koota tietoa eri suunnittelualoilta kuten tie-, rakennus-, vesi- tai sähkösuunnittelusta sekä muilta sidosryhmiltä. BIM-mallinnusteknologiassa on myös omat ongelmansa, esimerkiksi yksi niistä on olemassa olevien rakennuksien ja infrastruktuurin kolmiulotteisen tiedon saaminen. Monesti olemassa olevia vanhoja rakenteita ei ole mallinnettu ja niitä on vaikea mallintaa niin, etteivät ne ole visuaalisesti heikkotasoisia ja epätarkkoja. Käsitövoittoisella tavalla tuotetut virtuaalimallit ovat kalliita ja hitaita tehdä sekä monesti valmistuessaan ei-ajantasaisia. Virtuaalimallilta halutaan lisäksi mittatarkkuutta ja vanhojen kohteiden mallinnus mittatarkasti on hankalaa. [11, s.29-30.]

Malli- ja kuvainformaation tuottamiseen on olemassa erilaisia välineitä, jotka ovat takymetri, laserkeilain, 3D-kamera sekä kamera ja fotogrammetria -teknologia, josta käytetään tässä työssä nimitystä valokuvamallinnus. Takymetrilla on suoritettu mittauksia jo pitkään ja sen edut ovat luotettavuus, yleisyys ja edullinen hinta. Rajoituksena on, että takymetrilla voidaan mitata vain etäisyyksiä ja kulmia, jolloin tuotetun tiedon arvo on alhainen eikä sen pohjalta voida tuottaa 3D-malleja. Suosituimmat keinot todellisuusmallinnukseen ovat laserkeilaus sekä kamera ja fotogrammetria -teknologia. Molemmat menetelmät ovat kehittyneet jatkuvasti. Fotogrammetriaperusteisen mittauksen etuja ovat helppokäyttöisyys ja edullisuus. Laserkeilaus on kalliimpaa laitteiston vuoksi sekä sen käyttö vaatii huomattavasti enemmän perehdytystä. [10.] Eri tekniikoita on vertailtu kuvassa 11.

| Solution | Advantages | Limitations | Value of information |
|--|--|---|---|
| Total Station  | Reliable – Widespread - Price | Only distance and angle measurement Work disruptive | Low: distances & angles |
| Laser Scanner  | 3D – High local precision – instantaneous | Monochromatic – Requires calibration & training – Limited density - Price | High: 3D point clouds |
| Depth field camera  | 3D – Real time – Price - Texture | Low precision – Indoor only – Proximity to the scene | Very High: colored point cloud (→textured mesh) |
| Camera / Photogrammetry  | 3D – Texture – Precision – Price – Widespread – No training – No calibration – highly portable | Not real time | Very high: georeferenced textured mesh (→ 3D colored point clouds, DSMs, Orthophotos) |

Kuva 11. Eri tekniikoiden vertailu [10]

4.5.1 Laserkeilain

Laserkeilaimia on ollut markkinoilla jo pitkään. Laserkeilain tuottaa 3D-pistepilven ympäristöstä [10] lähettämällä maahan laserpulsseja sekä mittaamalla pulssien heijastusta takaisin laitteeseen, jolloin niiden kulkuajan perusteella voidaan laskea etäisyys kohteesta [12]. Laserkeilauksen etuna onkin nopea 3D-infomaation tuottaminen korkealla tarkkuudella. Laserin rajoituksia ovat lähes monokromaattisen valon eli yhden aallonpituuden tuotto, jolloin taajuusjakauma on kapea. Laserkeilaimen huonoja puolia ovat myös kalibroinnin tarve, korkea hinta sekä sen käyttö edellyttää opetusta ja perehdytystä. [10.]

Laserkeilausta voidaan hyödyntää monessa asiassa esimerkiksi kaupunkisuunnittelussa, metsänhoidossa ja autonavigaattoreissa. Sillä pystytään tuottamaan kaupunkisuunnittelussa tarvittavat kartat, kuvat ja mallit rakennetusta ympäristöstä, metsänhoidossa tarvittavat tiedot puuston määrästä ja laadusta sekä autonavigaattoreihin tarvittavat tarkat tiekartat. Laserkeilausta voidaan suorittaa maanpinnalla käsin, liikkuvien ajoneuvojen, helikoptereiden, lentokoneiden sekä miehittämättömien helikoptereiden ja lennokkien avulla. Ilmasta voidaan suorittaa laserkeilaus ja ilmakuvaukset yhtä aikaa, jolloin laserpistepilvestä voidaan tuottaa valokuvamainen 3D-malli. Saadusta laserpisteistöstä erotellaan rakennusten julkisivut ja niihin lisätään yksityiskohdat valokuvista, jolloin saadaan aikaiseksi tarkka ja valokuvamainen 3D-malli. Satelliittikuvia voidaan käyttää laajojen alueiden kartoitukseen. [12.]

4.5.2 3D-kamera

3D-kamera tuottaa pistepilven. Tiedon arvo on korkea, sillä 3D-kamera tuottaa samalla teksturoidun pinnan. Etuja ovat myös edullinen hinta ja reaaliaikaisuus. 3D-kameran rajoituksia ovat vähäinen tarkkuus sekä se, että ne ovat tarkoitettu sisäkäyttöön ja mitattavan tai kuvattavan kohteen tulee olla lähellä. [10.]

4.5.3 Kamera ja fotogrammetria -teknologia

Kamera ja fotogrammetria -teknologian eli valokuvamallinnuksen ansiosta voidaan tuottaa lähes kaikenlaisista valokuvista tietokoneohjelman avulla tarkkoja 3D-malleja ja teksturoituja malleja. Tuotetun informaation arvo on korkea ja samalla kuvauskerralla saadaan tuotettua paikkaan sidottu teksturoitu pinta, 3D-pistepilvet, digitaaliset stereomallit ja ortokuvat. Mittauslaitteet ovat edullisia ja liikuteltavissa eivätkä vaadi kalibrointia. Teknologia on laajalle levinnyt sekä helppokäyttöinen. Rajoituksena on se, että valokuvamallinnus ei tuota reaaliaikaista mallia, vaan kerätty kuvamateriaali prosessoidaan myöhemmin mallinnusta varten. [10.] Nykyään 3D-mallinnus ohjelmia on markkinoilla useita kymmeniä eri käyttötarkoituksiin esimerkiksi yksittäisten kappaleiden tai laajempien alueiden 3D-mallinnukseen. Yksi näistä ohjelmista on Context Capture, jota tutkitaan tässä opinnäytetyössä.

Context Capture on muodostumassa standardi ratkaisuksi esimerkiksi 3D-kaupunkien mallintamiseen ja sen avulla on tuotettu monia 3D-kaupunkimalleja jopa suurkaupun-

geista kuten Pariisi, Tokio, Melbourne ja Tukholma. Pariisiin 1132 km² kokoisesta alueesta luotiin vuonna 2012 yksityiskohtainen 3D-malli ottamalla 14 000 pystykuvaa ja 128 000 viistokuvaa. Ilmakuvat otettiin lentokoneesta ja kuvien koko oli yhteensä 6500 gigapikseliä. [13.]

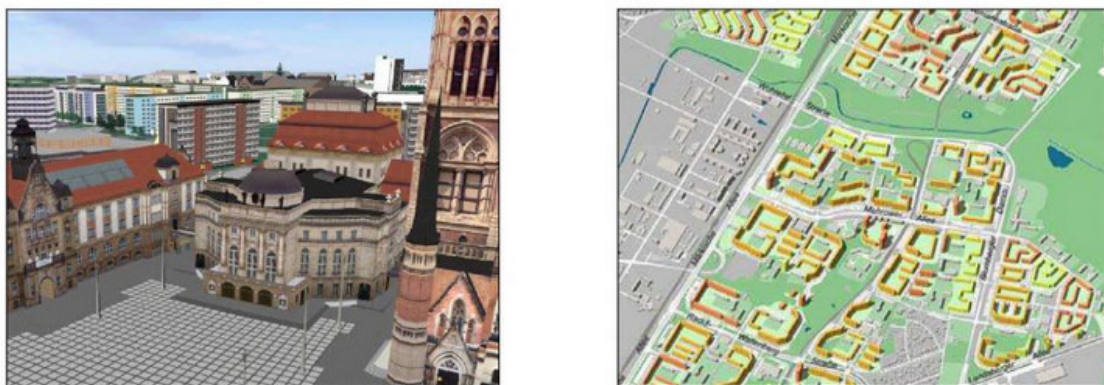
4.6 3D-kaupunkimallit

3D-kaupunkimalli on kolmiulotteinen malli kaupunkiympäristöstä [14], joka usein sisältää maastomalleja, rakennusmalleja, kasvillisuusmalleja sekä tiemalleja ja liikennemalleja [15, s.107]. 3D-kaupunkimalli voi olla vain kolmiulotteinen kuva todellisuudesta tai semanttinen 3D-malli, jolloin se sisältää geometrian lisäksi ominaisuustiedot eli topologian ja semantiikan, jolloin 3D-kaupunkimalleja voidaan hyödyntää paremmin suunnittelussa [14].

3D-kaupunkimalli luomiseen voidaan hyödyntää erilaisia tekniikoita kuten fotogrammetriaa ja laserkeilausta, SAR-tutkaa, arkkitehtonisia malleja ja piirustuksia, proseduraalia mallintamista ja geotietoja. Alun perin 3D-kaupunkimalleja tuotettiin visualisointiin. Kun teknologia on kehittynyt, 3D-kaupunkimalleista on tullut tärkeää muillekin käyttökohteille. [14.] 3D-kaupunkimalleja käytetään esittämiseen, tutkimiseen, analysointiin ja datan käsittelyyn. Niitä voidaan hyödyntää kaupunkien suunnittelussa ja saneerauksessa, toimitilapalveluissa, logistiikassa, turvallisuudessa, telekommunikaatiossa, katastrofien hallinnassa, paikkatietoon perustuvissa palveluissa, kiinteistöportaaleissa sekä kaupunkiin liittyvissä viihde ja koulutus tuotteissa. [15, s.107.]

Perinteisen visualisoinnin ja kaupunkisuunnittelun lisäksi 3D-kaupunkimalleja voidaan hyödyntää lukuisissa eri käyttökohteissa kuten erilaisissa tarkasteluissa ja arvioinneissa, joita ovat esimerkiksi: auringon säteilyn määrän arviointi, kotitalouksien energiantarpeiden arviointi, lattiapinta-alojen määrittäminen, rakennustyyppien määrittäminen, erilaiset reititykset ja näkyvyystarkastelut, rakennusten luomien varjojen tarkastelut, melutarkastelut (tuulivoimalat, liikenne), 3D maarekisteri, erilaiset valaistussimulaatiot, radioaaltojen etenemistarkastelut, ilmastoanalyysit kuten tuulivirtausten tarkastelut, väestönmäärän arviointi ja sen vaikutus esimerkiksi radiosignaalien kantavuuteen sekä hätätilanteisiin (avun toimitus ja evakuointi), luonnonkatastrofien arviointi (maanjäristykset, tulvat), metsänhoito ja arkeologia. [14.]

Vaatimukset 3D-kaupunkimallille riippuvat käyttötarkoituksesta. Turismiin, viihdekäyttöön tai yleisölle laadituissa malleissa fotorealismi on tarpeellista toisin kuin analyttisissä ja tutkivissa malleissa rakennuksien visuaalinen ulkonäkö ei ole päätarkoitus. Rakennukset voidaan esittää neljällä eri tarkkuudella, joita kutsutaan detaljitasoiksi (levels of detail eli LOD). Yksityiskohtat tarkentuvat tasolta seuraavalle ja tasot ovat: LOD-1 kappalemallit LOD-2 geometriset mallit, LOD-3 arkkitehtoniset mallit ja LOD-4 yksityiskohtaiset sisätilamallit. [15, s.107.] Kuvassa 12 on kaksi eri 3D-kaupunkimallia eri tarkoituksiin.



Kuva 12. Erilaiset käyttötarkoitukset vaativat erilaisia 3D-kaupunkimalleja. Vasemmalla on fotorealistista visualisaatiota, joka havainnollistaa olemassa olevaa tai suunniteltua ympäristöä ja oikealla abstraktia visualisaatiota, joka havainnollistaa temaattista informaatiota. [14, s.107.]

3D-kaupunkimalleja on tehty monista Euroopan kaupungeista, mutta myös Suomessa on mallinnettu isompia kaupunkeja. Luultavasti 3D-kaupunkimalleja tullaan hyödyntämään enemmän tulevaisuudessa, jolloin käyttötarkoitukset liittyvät yhä pääasiassa rakennuksiin, mutta luultavasti malleja voidaan hyödyntää enemmän muiden osioiden kuten kasvillisuuden ja siltojen suunnittelussa [14]. Myös sisätilamallien käyttö tulee kasvamaan [14].

4.7 3D-esittämisen hyödyt

Kuvan 9 mukaisesti tietomallinnuksen 3D-esittäminen on eri toimijoiden mielestä hyödyllistä. Haittana nähtiin ainoastaan hankkeen ulkopuolisilla kustannusten kasvu ja 3D-esittämisen tulkintavirheet [1, s.76].

| Tietomalli | 3D-esittäminen | Kuka hyöttyy |
|--|--|---|
| Yleissuunnittelu | Hyödyt | |
| Lahtötiedot | Lahtötietomallin avulla nähdään helposti nykytilanne ja kokonaisuus sekä kriittiset kohdat hahmotetaan paremmin (maastomallin virheet, maanalaiset rakenteet, jne.). | tilaajat, konsultit |
| Vaikutusten arviointi | Saadaan keskustelulle yhteinen pohja. Jotkin vaikutukset helpommin hahmotettavissa, kuten maisemalliset vaikutukset, maankäyttö, tilantarve, ympäristövaikutukset, törmäystarkastelut. Vaikutukset voidaan esittää samassa mallissa. | asiantuntijaryhmät ja yhteistyöryhmät (esim. kunnat, maakunnat, yhteistyöfoorumit), hankkeen ulkopuoliset ihmiset |
| Vaihtoehtojen vertailu | Nopea ja monipuolinen vaihtoehtojen vertailu vaikutusten osalta, antaa varmuutta päätöksentekoon ja helpottaa sitä. | hankeryhmä, päättäjät, maanomistajat |
| Valitun vaihtoehdon valinta | Tulos helpommin ymmärrettävissä ja hyväksyttävissä. | päättäjät, lausunnonantajat |
| Kustannukset | | |
| Osallistuminen ja vuorovaikutus | Kaikki voivat ymmärtää asiat samalla tavalla, eikä tulkinnassa ole ristiriittaisuuksia. Helpompi ottaa kantaa suunnitelmiin, jolloin saadaan demokraattisempi ratkaisu. | asukkaat, päättäjät, konsultit, tilaajat |
| Dokumentointi | Mahdollistaa uudet dokumentointitavat. Saadaan havainnollisemmat kuvat raporttiin, voidaan tuottaa esittelymalli tai video. | päättäjät, lausunnonantajat |
| Arkistointi | Nykytilanne ja suunnittelun tulos helppo nähdä. | sidosryhmät, konsultit, tilaajat |

Kuva 13. Inframallinnuksen hyödyt 3D-esittämisen kannalta eri toimijoille [1, s.76]

5 Valokuvamallinnus

Realistisen 3D-mallin tekeminen voi olla hankalaa. Esimerkiksi laserkeilausta on käytetty 3D-mallintamiseen, mutta se on kallista, työlästä ja vaatii erikoisosaamista. Nykyään tarkan 3D-mallin tekeminen valokuvien pohjalta on mahdollista. Lisäksi valokuvamallinnus on nopeampaa, helpompaa ja edullisempaa kuin esimerkiksi laserkeilaus. Kuvauskalustona käytetään digitaalista kameraa, jopa matkapuhelimen tai tabletin kamera käy. Tietysti mitä parempi kamera on, sen tarkempi 3D-malli myös on. [16.] 3D-malli voidaan tehdä yksittäisestä esineestä tai ympäristöstä. Esineiden 3D-mallintamiseen voidaan käyttää valokuvamallintamisen sijasta myös 3D-skannereita.

Mikäli valokuvamalli tehdään ympäristöstä, otetaan ilmakuvat esimerkiksi lentokoneella, helikopterilla tai kauko-ohjatulla ilma-aluksella. Ilmakuvia voidaan ottaa myös monella kameralla samaan aikaan kuten viiden kameran monikamerajärjestelmällä. [17.] 3D-malli voidaan laittaa koordinaatistoon merkitsemällä maastoon kontrollipisteitä. Kontrollipisteiden koordinaatit syötetään valokuvamallinnusohjelmaan ja niiden paikat merkitään kuviin. Tämän jälkeen valokuvamallinnusohjelma osaa tuottaa 3D-mallin automaattisesti.

Valokuvamallinnusohjelmissa on yleensä automaattinen kuvien yhteisten pisteiden haku ja ilmakolmiointi sekä pistepilven laskenta. Valokuvamallinnusohjelma tuottaa lopuksi värjätyn pistepilven tai teksturoidun kolmioverkon, jotka ovat molemmat fotorealistic 3D-malleja. [17.]

5.1 Fotogrammetria

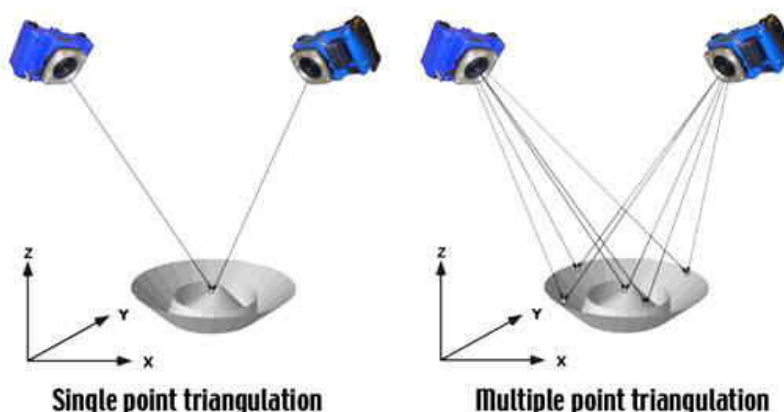
Valokuvamallinnus perustuu fotogrammetriaan eli kuvamittaukseen, mitä on käytetty esimerkiksi kartoittamiseen jo hyvin pitkään [16]. Fotogrammetria on yksi maanmittausopin osa-alue, johon perustuvissa mittauksissa kohteesta otetaan valokuvia ja suoritetaan mittaukset valokuvista eikä paikan päältä. Fotogrammetriaa käytetään karttojen lisäksi maastotiedon ja 3D-mallien tuotantoon. [18.]

Fotogrammetria sai alkunsa 1850-luvulla valokuvauksen keksimisen jälkeen [18]. Aluksi fotogrammetriapohjasta kartoitusta käytettiin sotilaallisiin tarkoituksiin kuten ilmaku-

vausta. Valokuvauksen siirryttyä digitaaliaikaan fotogrammetrian uudet innovaatiot kehittyivät. NASAn tutkijat kehittivät algoritmeja ja työkaluja, joiden avulla voitiin valokuvista tehdä 3D-malleja. Niitä käytettiin ensimmäisen kerran Marsin MER-kulkijassa navigoimiseen ja marsilaisen pinnan 3D-mallin luomiseen. Tämän jälkeen teknologiaa ovat muut ohjelmistokehittäjät käyttäneet hyväkseen ja nykyään tarjolla on monta eri tietokoneohjelmaa 3D-mallin tuottamiseen valokuvista. Myös 3D-mallinnus puhelimia ja tabletteja on kehitteillä. [16.]

Fotogrammetriaan kuuluu valokuvaus ja mittajärjestelmä eli metrologia. Valokuvauksessa tulee huomioida kuvausalan laajuus, fokuointi ja valotus. Valokuvausprosessissa muutetaan oikea 3D-maailma 2D-kuviksi. Kolmiulotteisuutta ei voi muuttaa täysin kaksiulotteiseksi, joten tässä prosessissa häviää joitakin tietoja, pääasiassa syvyydet. Fotogrammetriassa käännetään 2D-kuvat takaisin 3D-muotoon, joten sitä voidaan pitää käänteisenä prosessina valokuvaukselle. Yhdestä kuvasta ei saa rakennettua 3D-mallia, vaan kuvia pitää olla vähintään kaksi. Kuitenkaan kaksi kuvaa harvoin kattaa koko mallinnettavaa kohdetta, joten kuvia tarvitaan useampi. [19.]

Fotogrammetria käyttää kolmiomittauksen periaatetta tuottaakseen kolmiulotteisen pisteen mittaustuloksen kuvan 14 mukaisesti. Kolmiomittausta käytetään hyväksi myös teodoliiteissa. Pisteiden tarkka sijainti voidaan määrittää matemaattisesti yhdistämällä yhteneviä viivoja avaruudessa. Fotogrammetriaan perustuvissa sovelluksissa voidaan mitata samanaikaisesti lukematon määrä pisteitä. [19.]



Kuva 14. Kolmiomittauksen periaate. Teodoliitti on myös kolmiomittaukseen perustuva mittausmenetelmä, mutta siinä voidaan mitata vain yksi piste kerralla. Fotogrammetrian perustuvissa sovelluksissa voidaan mitata samanaikaisesti lukematon määrä pisteitä. [19.]

5.2 Tarkkuus

Valokuvamalli ei ole yhtä tarkka kuin perinteisten maanmittaustyökalut tai laserkeilaus, mutta tällä hetkellä tarkkuus riittää ainakin alkuvaiheen luonnossuunnitteluun [16]. Valokuvamallintamisen tarkkuudesta on tehty tutkimuksia, mutta ne käsittelevät lähinnä esineiden tai rakennuksien mittojen tarkkuuksia. Rakennuksien valokuvamallintamisessa on päästy parhaimmillaan vain 1-2mm heittoihin [20]. Ympäristöstä tehdyistä valokuvamallien tarkkuuksista ei löytynyt tutkimusta.

Valokuvamallin tarkkuuteen vaikuttaa monet eri tekijät kuten valokuvien riittävä valoisuus, tarkkuus ja kattavuus [16]. Myös kameran ominaisuudet, eritoten kyky ottaa korkea resoluutioisia kuvia, vaikuttavat syntyvän mallin tarkkuuteen. Suurempi pikselimäärä saa aikaiseksi tarkempia kuvia, jotka soveltuvat paremmin 3D-mallin tuottamiseen. X, y ja z tarkkuudet heikkenevät lineaarisesti pikselikoon mukaan. Mikäli valokuvamallia halutaan tarkemmaksi, voidaan kuvia ottaa monikamerajärjestelmällä tai yhdistää valokuvamalli laserkeilauksen kanssa. 3D-kaupunkimallien ilmakuvat ovat yleensä otettu monikamerajärjestelmällä, missä viistokamerat näkevät seinäpinnat. Tällöin saadaan tarkempi valokuvamalli kun monessa kuvassa näkyy sama kohta. Valokuvamallinnusta käytetään monesti laserkeilauksen kanssa, varsinkin kun halutaan enemmän tarkkuutta. Laserin ja valokuvamallintamisen hyviä ja huonoja puolia on esitetty kuvassa 15. [17.]

| | Kuvaus | Laser |
|-----------------|--|--|
| Hyvää Huonoa | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Parempi resoluutio ✓ Visuaalinen ymmärrettävyys ✗ Vaatii optimisään ✓ Ilmakolmiointi tuottaa hyvää sijaintia ✗ Vaatii tekstuuriin ja monikuvapeiton ✗ Ei toimi yhdellä lentolinjalla ✗ Ei näe maanpintaa kasvillisuuden alla ✓ Parempi xy tarkkuus ✗ Heikompi z tarkkuus | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Suurempi pisteväli ✓ Suoraan 3D ✓ Ei vaadi optimisäättä ✗ Ei yhtä hyvä sovitettavuus ✓ Ei vaadi tekstuuria ✓ Yksikin lentolinja toimii ✓ Näkee useimmiten maanpinnan ✗ Heikompi xy tarkkuus ✓ Parempi z tarkkuus |
| Xy tarkkuus | Heikkenee lineaarisesti pikselikoon mukaan (tai hieman enemmän) | Heikkenee lineaarisesti lentokorkeuden mukaan |
| Z tarkkuus | Heikkenee lineaarisesti pikselikoon mukaan (tai hieman enemmän) | Heikkenee vähän lentokorkeuden mukaan |

Kuva 15. Valokuvamallin ja laserkeilauksella tuotetun 3D-mallin hyvät ja huonot puolet [17]

5.3 Käyttökohteet

Valokuvamallinnusta voidaan käyttää hyvin moneen käyttötarkoitukseen. Sitä on käytetty tapaturma- ja rikospaikkojen mallintamiseen, arkeologiassa esineiden ja kaivausten mallintamiseen, biologiassa eläimien ja luurankojen mallintamiseen, geologiassa maanpintojen ja kallionpintojen mallintamiseen sekä kaivosteollisuuteen ja arkkitehtuurissa esimerkiksi vanhojen rakennuksien mallintamiseen. Vanhojen rakennusten valokuvamalleja voidaan hyödyntää dokumentointi, mittaus ja visualisointi tarkoituksissa. Tekniikan alalla valokuvamallinnusta voidaan hyödyntää esimerkiksi koneenrakennus-, rakennus- tai kemiantekniikan aloilla suunnittelussa, mutta myös esimerkiksi mittaus ja mitoitus tarkoituksiin. Valokuvamallinnusta voidaan käyttää myös animaatio ja elokuva-tuotannossa sekä peliteollisuudessa. [21.]

Valokuvamallista voidaan laskea pisteiden koordinaatteja, mikäli se on sijoitettu koordinaatistoon, sekä mitata etäisyyksiä, korkeuseroja, tilavuuksia, pinnan ympärysmittoja ja pinta-alaa. Esimerkiksi rakennus- tai kaivosteollisuudessa voidaan käyttää valokuvamallia maa-aines tai puutavaran varastoalueiden tilavuuden määrittämiseen sekä työnkulun seurantaan. [21.] Valokuvamallinnus on nopeaa ja halpaa, joten sitä on hyödynnetty jo paljon esimerkiksi 3D-kaupunkimallinnuksessa. 3D-kaupunkimallien käyttö-tarkoituksia on käsitelty kohdassa 4.6 3D-kaupunkimallit.

5.4 Ilmakuvaus

Gaspar Tournachon sai jo vuonna 1855 idean hyödyntää ilmakuvausta kartan tekemiseen ja maanmittaamiseen, mutta ensimmäisen tunnetun ilmakuvan hän otti vuonna 1858 kuumailmapallosta 80 metrin korkeudesta. Valokuvausprosessi vaati tuolloin kannettavan pimiön kuumailmapallon koriin. Valokuvausteknologian kehittyttyä vuosisadan vaiheessa, ilmakuvaukseen käytettiin myös leijoja, kyyhkyjä ja raketteja. Ensimmäisen lentokoneesta otetun ilmakuvan otti Wilbur Wright Italiassa vuonna 1909. [22.]

Ensimmäisen maailmansodan aikana lentokoneesta suoritettavaa ilmakuvausta hyödynnettiin paljon ja kuvauskalusto kehittyi. Ilmakuvausta käytettiin esimerkiksi sotakarttojen laatimiseen ja eturintaman kulun seuraamiseen. Samalla kuvauskalustoa kehitet-

tiin lentokoneeseen sopiviksi ja esimerkiksi lämpökamera kehitettiin. Kuvien vakaus ja valotusaika oli ongelmanna, joten Sherman Fairchild kehitti linssin sulkimen, joka paransi kuvien laatua. Sodan päätyttyä ilmakuvausta hyödynnettiin ei-sotilaalliseen käyttöön. Fairchild otti päällekkäisiä ilmakuvia ja teki kartan New Yorkin Manhattanista. Tästä ilmakuvakartasta tuli kaupallinen menestys, jolloin ilmakuvia alettiin käyttää maanmittauksessa ja kartoituksessa. Maanmittaus ilmasta on lisäksi nopeampaa ja halvempaa kuin maasta käsin suoritettuna. [22.]

Nykyään ilmakuvaukseen käytettävät kamerat ovat digitaalisia ja hyvin korkea resoluutioisia. Ilmakuvaus on laajalle levinnyt ja sillä on monta eri käyttötarkoitusta. [22.] Ilmakuvausta hyödynnetään Pohjois-Amerikassa muun muassa karttojen tekemiseen, liikenteen ja infrastruktuurin suunnitteluun, tulvasankojen kartoitukseen, kaivosteollisuudessa volyymien ja ympäristön kartoitukseen, uusiutuvien ja perinteisten energiaformaattien suunnitteluun, julkisen sektorin kartoitukseen, maankäytön maksimointiin yleisillä ja yksityisillä alueilla sekä vapaa-ajan toiminnan kehittämiseen [23]. Ilmakuvausta käytetään myös valokuvamallintamisessa.

Nykyään kartan tekeminen alkaa ilmakuvauksesta. Ilmakuvista lasketaan mittatarkkoja ortokuvia, joiden geometria vastaa karttaa. Ortokuvasta voidaan mitata etäisyyksiä ja pinta-aloja. Laserkeilausta käytetään lisäksi alueilla, joissa tarvitaan tarkkaa tietoa maanpinnan muodoista ja korkeuseroista. Suomessa Maanmittauslaitos huolehtii Maastotietokannan päivityksestä, jossa on koko Suomen kattava maastoa kuvaava aineisto. Ilmakuvaus on tehokas tapa kerätä tietoa laajoilta alueilta, joten Maanmittauslaitos hyödyntää sitä myös tuho- ja tulvailmakuvauksissa tulvan peittämän alueen laajuuden tai myrskyn aiheuttamien metsätuhojen määrän kartoittamisessa. [24.]

5.4.1 Kauko-ohjatut ilma-alukset

Nykyään kauko-ohjatut ilma-alukset ovat suosittuja ilmakuvauksikäytössä. Menetelmä on kustannustehokas kun kohdealue on liian pieni lentokoneesta tai helikopterista tehtävälle laserkeilaukselle ja ilmakuvaukselle. [25, s.33.] Ilmakuvaukseen voidaan käyttää kopteria (kuvassa 16) tai lennokkia. Lennokki nimitystä käytetään myös ilmailusääntöjen mukaan harrastustoiminnassa käytettävästä kauko-ohjatusta, autopilotilla varustetusta tai vapaasti lentävästä lentokoneesta tai kopterista. Kauko-ohjattu ilma-alus tarkoittaa ammattilaiskäytössä olevia miehittämättömiä lentäviä laitteita. Kauko-ohjatuista

ilma-aluksista voidaan käyttää nimityksiä UAS eli Unmanned Aerial System tai UAV eli Unmanned Aerial Vehicle tai RPAS eli Remotely Piloted Aircraft System. [26, s.4-7.]



Kuva 16. Koptereiden etu on, että niille riittää pieni alue nousuun ja laskeutumiseen. Kuvassa DJI Inspire, josta jalustat saa nostettua ylös pois kameran tieltä kun kopteri on noussut ilmaan. [26, s.32.]

UAV-lennokit ja -kopterit soveltuvat pienten alueiden tarkkaan kuvaukseen, maisemakuvaukseen sekä videokuvaukseen. Kartoitukseen voidaan käyttää satelliittikuvia, lentokoneesta otettuja ilmakuvia sekä UAV-lennokilla otettuja kuvia. Satelliittikuvien tarkkuus on luokkaa 20-50cm/pikseli, lentokoneesta otettujen ilmakuvien tarkkuus on 10cm/pikseli ja UAV-lennokilla otettujen ilmakuvien tarkkuus on 1-4cm/pikseli. [26, s.8-9.] Kartoitukseen riittää vähempi tarkkuus, mutta UAV-lennokilla otettujen ilmakuvien hyvää tarkkuutta voidaan hyödyntää tutkimuksiin, mittauksiin [26, s.8-9] ja valokuvamallintamiseen.

Lenkkikartoitusmenetelmiä on käytetty ortokuvien tuotantoon sekä maainesvarastojen ja maamassojen tilavuuden laskentaan. Tulevaisuudessa ilmakuvauksista voidaan soveltaa esimerkiksi infrarähtämiseen, teollisuuteen ja kaupunkisuunnitte-

luun, sillä yksityiskohtaiset kuvat antavat suunnittelijalle hyvän tilannekuvan projektin käynnistyessä ja sen edetessä. [25, s.35.]

Suomessa miehittämätöntä ilmailua koskevat säädökset Ilmailulaki 864/2014 ja Trafimääräys OPS M1-32, joita jokaisen lennokin tai kauko-ohjatun ilma-aluksen ohjaajan tulee noudattaa. Määräys säätelee esimerkiksi minkä painoisella lennokilla tai kauko-ohjatulla ilma-aluksella saa lentää, alueelliset maksimilentokorkeudet ja millä alueilla ei saa lennättää ilman erityislupia [26, s.15-18].

5.4.2 Kamera

Kauko-ohjattuun ilma-alukseen sopivalla kameralla on paljon vaatimuksia. Kamera tulee olla lujarakenteinen ja kevyt sekä sen pitää pystyä laukaisemaan kauko-ohjauksella, kuvakennon koon tulee olla mahdollisimman iso, valotuksen ja etäisyyden mittaukset tulee onnistua nopeasti sekä tarkennus pitää voida asettaa äärettömään. [26, s.43-45.]

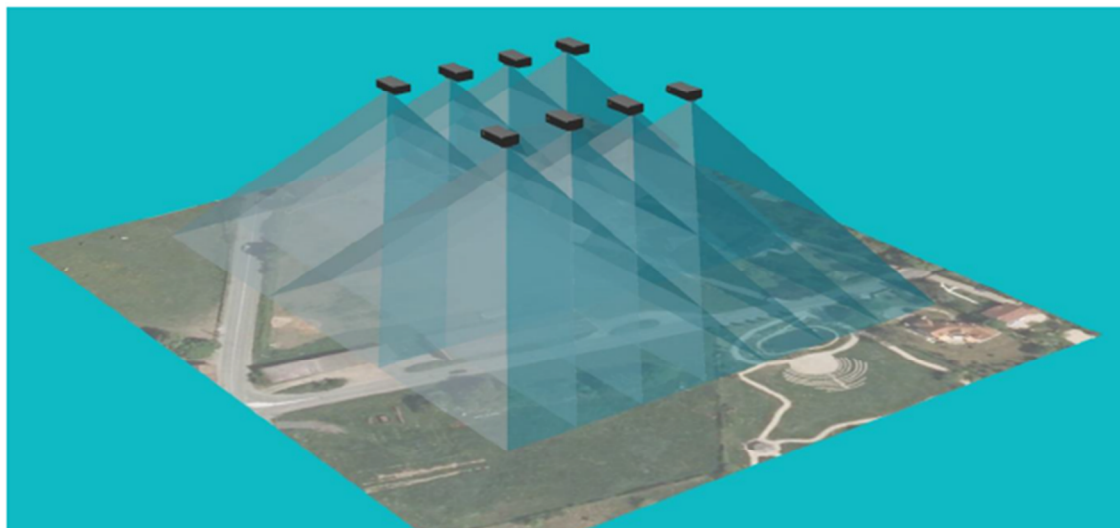
Kameran lisäksi linssin tulee olla laadukas ja täyttää tietyt kriteerit. Suositeltu linssi on valovoimainen, jotta valotusaika on lyhyt, piirtokyky korkea sekä polttovälialue pieni. Kuvakennon koko ja linssistön laatu vaikuttavat kuvien laatuun enemmän kuin kameran megapikseli määrä. Kamerassa on hyvä olla mahdollisuus tallentaa sekä jpg- että RAW-kuvia. Uusimmissa kameroissa on myös sisäänrakennettu GPS, joka tallentaa kuvauspaikkojen koordinaatit. [26, s.43-45.] GPS-tietoja tarvitaan valokuvamallintamiseen. Muistikortin tulee myös olla riittävän iso ja nopea [26, s.43].

5.4.3 Suoritustapa

3D-malli voidaan tehdä yksittäisestä esineestä tai ympäristöstä. Valokuvausohjeet ovat hieman erilaiset esineiden, ihmisten, rakennusten, sisätilojen tai maaston mallintamiseen. Periaatteena on, että valokuvia tulee olla kuvauskohteesta riittävästi ja jokainen kohta tulee esiintyä vähintään 2 eri kuvassa. Läpinäkyvien, heijastavien ja tasaväristen pintojen mallintaminen ohjelmalle on hankalaa, joten niitä kannattaa välttää. [27, s.3-9.]

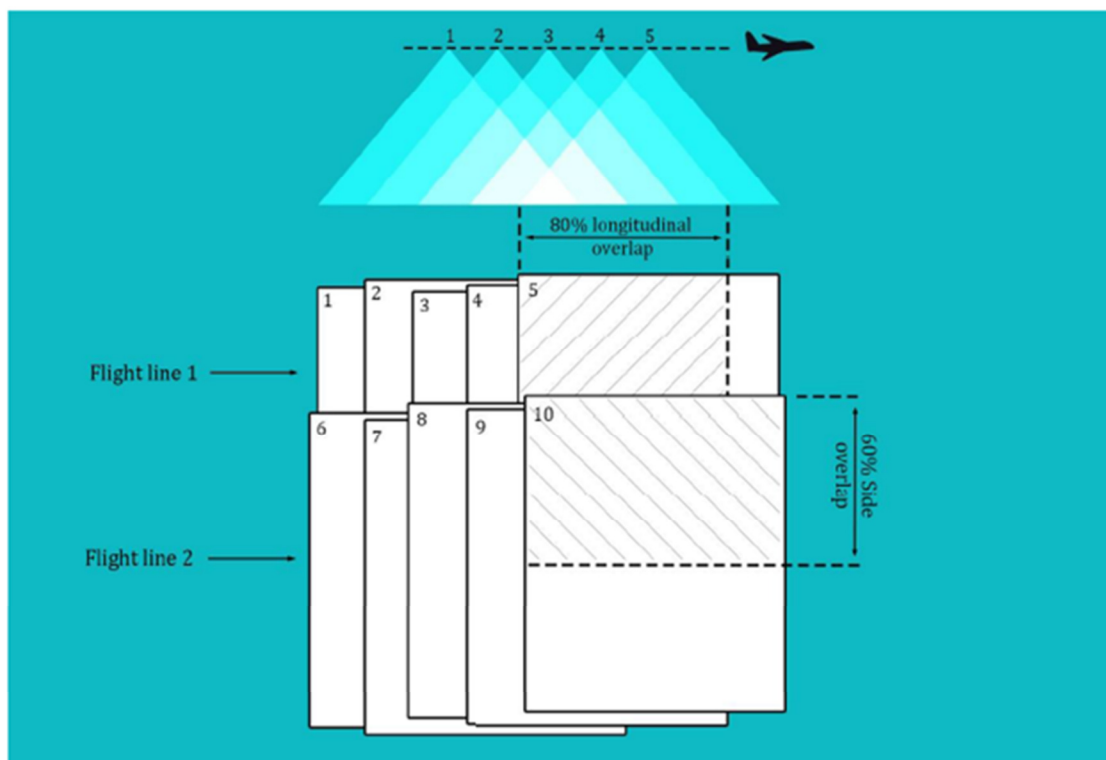
Maastoa mallintaessa ilmakuvauksessa tulee ottaa huomioon sopiva sää ja kuvauskausto. Mikäli mallin halutaan olevan oikeassa koordinaatistossa, maastoon merkitään

kontrollipisteet, jotka mitataan. Valokuvamallinnusohjelmaan syötetään saadut koordinaattitiedot sekä kuviin merkitään kontrollipisteiden sijainti. Yleensä ilmakuvauksessa otetaan nadiiri- eli pystykuvia samalta kuvauskorkeudelta kuvan 17 mukaisesti [27, s.10].



Kuva 17. Ilmakuvauksessa kuvat otetaan samalta kuvauskorkeudelta. Kuvien pitää olla limittäisiä sekä pitkittäin että sivuttain. [27, s.10.]

Ilmakuvauksissa suositeltu kuvien päällekkäisyys on pitkittäin 80% ja sivuttain 60% kuvan 18 mukaisesti [27, s.15]. Sopiva kuvauskorkeus ja kuvien ottoväli riippuvat kamerasta ja objektiivista sekä halutusta 3D-mallin tarkkuudesta [27, s.14]. Kuvauskorkeus ja kuvienottovälin voi laskea Smart3DCapture valokuvausohjeen mukaisilla laskukaavoilla ja näistä tehtiin oma ilmakuvauksen kuvauskorkeuden ja kuvanottovälien laskeminen -Excel-taulukko. Mitä matalammalta kuvia ottaa, sen tarkempi malli on, mutta kuvia joutuu tällöin ottamaan hyvin tiheästi. Korkeammalta kuvattaessa kuvia otetaan harvemmin, mutta se vaikuttaa 3D-mallin tarkkuuteen negatiivisesti.



Kuva 18. Suositeltu kuvien päällekkäisyys on pitkittäin 80% ja sivuttain 60% [27, s.15]

Parhaimman tuloksen saavuttamiseksi kuvat tulee ottaa samalta korkeudelta, kuvausvälin tulee olla tasainen sekä kuvien päällekkäisyys pitää olla riittävä. Mikäli kuvien päällekkäisyys on liian vähäistä, on yhdistäviä pisteitä kuvissa liian vähän ja se aiheuttaa virheitä valokuvamallin teossa. Mikäli kuvien päällekkäisyys on suurta, voi sekin johtaa virheisiin. [28.] Osana opinnäytetyötä yritykselle laadittiin ohje ilmakuvauksien suorittamiseen. Ohjeesta kerrotaan enemmän kohdassa 6.2 Yritykselle laaditut ohjeet.

Tarkan 3D-mallin tekoon voidaan käyttää monikamerajärjestelmää, jossa yksi kamera ottaa nadiiri- eli pystykuvan ja 4 kameraa ottaa jokaiselta sivulta viistokuvan. Viistokuvien kuvauskulma on alle 45° . Esimerkiksi mallinnettavien kaupunkien, joissa on korkeita rakennuksia ja kapeita katuja, viistokuvien suositeltu kuvauskulma on noin 30° . Monikamerajärjestelmällä kuvaamalla saa mallinnettua varsinkin tällaisten kaupunkien rakennuksien alaosaat paremmin, sillä pelkästään ottamalla nadiirikuvia 3D-mallinnusohjelma ei pysty rakennusten alaosaia hyvin mallintamaan. [27, s.12.]

5.5 Ohjelmisto ContextCapture

Bentley Systemsin ContextCapture on valokuvamallinnusohjelma, joka käyttää hyväksien fotogrammetriaa, tietokonenäköä ja laskennallisia geometria algoritmeja. ContextCaptureen ladataan digitaalisia kuvia, jotka on otettu eri kuvakulmista. Jokaisen kohdan tulisi esiintyä vähintään kahdessa eri kuvassa. [29, s.4-6.] Kuitenkin täysin samasta kohdasta otettujen kuvien syöttämistä valokuvamallinnusohjelmaan tulisi välttää.

ContextCaptureen syötettävien kuvien määrä riippuu mallinnettavan esineen tai alueen koosta, mutta kuvia voi olla muutamasta kymmenestä kuvasta useaan tuhanteen. Kuvien määrä ja laatu sekä kuvaustapa vaikuttavat syntyvän valokuvamallin laatuun. Joidakin tietoja pitää syöttää ohjelmaan kuten kameran ja objektiivin tiedot. Mikäli mallin halutaan olevan oikeassa koordinaatistossa, kuviin tulee tallentua sijaintitiedot sekä maastoon merkitään kontrollipisteet. Kontrollipisteet mittaautetaan, jonka jälkeen kontrollipisteiden koordinaatit syötetään ContextCaptureen ja jokaisen kontrollipisteiden paikka merkitään vähintään kolmeen kuvaan.

ContextCapture muodostaa kuvista korkearesoluutioisen teksturoidun kolmioverkon ja teksturoidun kolmioverkon muodostamisessa kestää syötetyn datan koosta riippuen minuuteista tunteihin. 3D-malli voidaan muodostaa liikkumattomista kohteista, esineistä, mutta myös rakennuksista, maastosta ja kasvillisuudesta. Liikkuvat kohteet ohjelma osaa yleensä poistaa. Pinnat missä ei ole väri vaihtuvuutta, kuten yksiväriset seinät tai lattiat, sekä heijastavia pinnat, kuten lasi tai vesi, voivat aiheuttaa malliin aukkoja, kumuja tai häiriötä. [29, s.7.]

Kuvassa 19 on Lempäälän hankkeiden 1 ja 2 valokuvamalli. Hankkeet 1 ja 2 sijaitsevat aivan vierekkäin, joten niistä tehtiin yksi valokuvamalli. Kuvat otettiin ilmakehämalla ja ContextCapture muodosti niistä valokuvamallin.



Kuva 19. Lempäälän hankkeiden 1 ja 2 valokuvamalli

6 Tulokset

Finnmap Infra Oy:ssa on seurattu valokuvamallinnuksen kehittymistä muutaman vuoden ajan ja mallinnuskokeiluja on tehty parin vuoden ajan. Valokuvamalleja on käytetty todellisissa hankkeissa syksystä 2015 asti tien- ja ratasuunnittelussa pienten kohteiden, kuten siltojen ja liittymien, esittelymallien teossa. Isoista infrahankkeista, kuten pitkistä tiehankkeista, syntyvät valokuvamallit olisivat liian raskaita käyttää. Valokuvamallintaminen on helppo tapa tuottaa pienistä hankkeista esittelymalleja ja on todettu, että ne ovat lieventäneet hyvin alueella elävien asukkaiden vastustusta hankkeita kohtaan. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mahdolliset valokuvamallinnuksen käyttökohteet infrasuunnittelussa sekä miten saadaan tuotettua mahdollisimman hyvä valokuvamalli ympäristöstä.

Opinnäytetyöhön kuului valokuvamallien tuottaminen ContextCapture -ohjelmistolla. Valokuvamallinnuskokemusta hyödynnettiin yritykselle tehtävien ohjeiden teossa. Valokuvamallit tuotettiin Lempäälän neljästä hankkeesta, joista tehtiin kolme valokuvamallia. Lempäälä valittiin opinnäytetyön valokuvamallintamisen kohteeksi, koska se oli seuraava suunnitteluun tuleva hanke ja sopivan pieni kohde. Valokuvamalleja ei vielä opinnäytetyöprojektin aikana ehditty käyttämään suunnittelutyössä eikä opinnäytetyöprojektiin kuulunut sen tarkempi Lempäälän valokuvamallien hyödyntäminen tai muokaus. Lempäälän valokuvamalleja tullaan käyttämään suunnitteluhankkeen esittelymallien teossa.

6.1 Lempäälän valokuvamallit

Lempäälän suunnitteluhankkeeseen kuuluu yhteensä neljä liittymän parannusta, jotka sijaitsevat eri puolilla Lempäälää. Suunnitteilla on kaksi liittymän parannusta ja kaksi risteyksen muuttamista kiertoliittymäksi. Lempäälän suunnitteluhanke jakautuu kahteen osa-alueeseen, jotka ovat maantie 130 liittymien parantaminen välillä Kuljun kartano - Kiimakalliontie ja maantien 3003 parantaminen välillä Keskuskatu - Pysäkkitie. Lempäälän neljästä liittymänparantamisesta hankkeet 1 ja 2 kuuluvat osa-alueeseen maantie 130 liittymien parantaminen välillä Kuljun kartano - Kiimakalliontie ja hankkeet 3 ja 4 osa-alueeseen maantien 3003 parantaminen välillä Keskuskatu - Pysäkkitie. Kohteesta

tehtiin kuitenkin kolme valokuvamallia, sillä kaksi liittymää eli hankkeet 1 ja 2 sijaitsevat vierekkäin.

Ennen ilmakuvauksen suoritusta laadittiin kuvaussuunnitelma eli suunnitellaan miten alueen kuvaus tulisi suorittaa, lasketaan sopiva kuvauskorkeus ja kuvanottovälit sekä suunnitellaan kontrollipisteiden sijoituspaikat. Ilmakuvauksen sopiva kuvauskorkeus ja kuvanottovälit riippuvat käytettävästä kamerasta ja objektiivista sekä halutusta 3D-mallin tarkkuudesta. Valokuvamallinnusohjelman mukana tuli Smart3DCapture valokuvausohje, jossa oli laskukaavoja valokuvamallin tarkkuuden sekä ilmakuvauksien kuvauskorkeuden ja kuvanottovälien laskemiseen. Tämän pohjalta tehtiin ilmakuvauksia varten Excel-taulukko kuvauskorkeuden ja kuvanottovälien laskemiseen ja taulukon pohjalta laskettiin sopiva kuvauskorkeus ja kuvanottovälit. Ennen ilmakuvausta kontrollipisteet merkittiin maastoon ja niiden koordinaatit mitatautettiin myöhemmin. Kuvassa 20 näkyy kaksi kontrollipistettä saarekkeiden lähistöllä.



Kuva 20. Lempäälän kontrollipisteinä toimi pinkki asfalttiin maalattu ympyrä, jonka keskellä oli piste. Kuvasta erottaa haalealla alimman saarekkeen alareunasta sekä ylimmän saarekkeen yläreunasta kontrollipisteet. Kontrollipisteenä voi toimia myös puusta tehty rasti maastossa, mikäli kontrollipisteitä ei voi maalata.

Ilmakuvauskoopterina käytettiin UAV-koopteria DJI Inspire, mikä on hyvin moderni, pieni ja kevyt koopteri. DJI Inspire koopteriin kuuluu X3 4K kamera, jolla voidaan kuvata 4K videota sekä ottaa 12Mpix kuvia. Kuvia voi tallentaa JPEG- ja RAW-muodoissa. Kameran polttoväli 20mm, joka vastaa 35mm polttoväliä eli se on melko laaja. DJI Inspiressä on sisäänrakennettu GPS ja sen kauko-ohjaimessa on näyttö, mistä näkyy kartta lennettävästä alueesta. Kauko-ohjaimesta myös näkee missä kohdassa koopteri lentää sekä karttaan piirtyy lennetyt lentoradat. Näin kuvausrivejä ja mallinnettavan alueen rajaa on helppo seurata, jotta valokuvamallista tulisi mahdollisimman hyvä. DJI Inspire on kuvassa 16.

Valokuvamallien haluttiin olevan tarkkoja. Tämän vuoksi ilmakuvauskuvauskorkeus ja kuvanottovälit laskettiin tehdyllä Excel-taulukolla ”Kuvauskorkeuden ja kuvanottovälien laskeminen”. Excel-taulukossa halutuksi valokuvamallin tarkkuudeksi valittiin 4cm, mikä on jo hyvin tarkka valokuvamalli. Tämä tarkoitti sitä, että käytössä olleella kalustolla ilmakuvaus suoritettiin kaikissa hankkeissa 85m korkeudesta, kuvia otettiin noin 9m välein ja kuvausrivien väli oli 25m. Esimerkiksi hankkeen 4 mallinnettavan alueen koko oli 1200m x 200m, jolloin laskettuja arvoja noudattamalla hankkeesta 4 otettiin yhteensä noin 1066 nadiirikuvaa ja lisäksi otettiin myös viistokuvia, sillä viistokuvien avulla esimerkiksi rakennusten julkisivut mallintuvat paremmin. Ilmakuvaus pyrittiin suorittamaan laskettujen arvojen mukaan ja tällöin valokuvamallien tarkkuuksien pitäisi olla haluttu 4cm.

Kuvauspäivänä sää oli aamulla pilvinen ja päivän mittaa pilvipeite alkoi rakoilla. Sää pysyi kuitenkin kohtalaisen vakaana eikä isoja varjoja syntynyt. Myös ilmakuvaus pystyttiin suorittamaan ohjeiden mukaisesti. Kun ilmakuvaus oli suoritettu, kuvat ladattiin kohteittain ContextCapture -valokuvamallinnusohjelmaan sekä syötettiin kontrollipisteiden koordinaatit ja merkittiin jokaisen kontrollipisteen paikka vähintään viiteen kuvaan. Tämän jälkeen ohjelma osasi automaattisesti tuottaa valokuvamallit. Kuvissa 21, 22 ja 23 on kuvankaappaus hankkeiden valokuvamallista liittymien parantamisen kohdasta. Kuvassa 21 näkyy hanke 1 ja 2, kuvassa 22 hanke 3 ja kuvassa 23 hanke 4.



Kuva 21. Maantie 130 liittymien parantaminen välillä Kuljun kartano – Kiimakalliontie. Hanke 1 ja 2, kaksi liittymän parannusta. Kuvassa vasemmalla olevan risteyksen kohdalle tulee kiertoliittymä ja oikealla olevaa liittymää parannetaan.



Kuva 22. Maantien 3003 parantaminen välillä Keskuskatu - Pysäkkitie. Hanke 3, liittymän parantaminen. Risteyksen tilalle tulee kiertoliittymä.



Kuva 23. Maantien 3003 parantaminen välillä Keskuskatu - Pysäkkitie. Hanke 4, liittymää parannetaan.

Valokuvamalleista syntyi ainakin visuaalisesti hyviä ja niihin oltiin tyytyväisiä. Valokuvamalleja ei kuitenkaan vielä opinnäytetyöprojektin aikana ehditty käyttämään suunnittelutyössä, mutta niitä tullaan käyttämään ainakin suunnitteluhankkeen esittelymallien teossa. Opinnäytetyöprojektiin kuului Lempäälän valokuvamallien tuottaminen, mutta ei sen tarkempi hyödyntäminen tai muokkaus.

6.2 Yritykselle laaditut ohjeet

Työn tuloksena saatiin tuotettua yrityksen käyttöön valokuvamallien lisäksi ilmakuvauksien suoritusohje, toimintaohjeistus ja turvallisuusarviointi -lomake, valokuvamallin ja suunnittelumallien yhdistäminen ja vieminen LumenRT:hen -ohje sekä ilmakuvauksen kuvauskorkeuden ja kuvanottovälien laskeminen -Excel-tilukko. Ohjeita tai Excel-tilukkoa ei tulla liittämään opinnäytetyön liitteeksi, sillä ne ovat vain yrityksen käyttöön laadittuja.

Ilmakuvauksien suoritusohjeessa kerrotaan kuinka ilmakuvaukset tulee suorittaa, jotta syntyvästä valokuvamallista tulisi mahdollisimman tarkka. Siinä on kerrottu asioita, jotka ilmakuvauksissa tulee ottaa huomioon kuten sopiva sää, kuvauskalusto, kuvaustapa ja kontrollipisteet. Ilmakuvauksien suoritusohje pohjautuu Smart3DCapture valokuvauksiohjeeseen. Näistä asioita on käsitelty luvussa 5.4.3 Suoritustapa.

Ilmakuvauksien toimintaohjeistus ja ilmakuvauksien turvallisuusarviointi -lomake pohjautuvat Trafimääräykseen OPS M1-32, jonka mukaan tällaiset ohjeistukset ja lomakkeet pitää olla olemassa, kun suoritetaan ilmakuvauksia asuttujen alueiden yläpuolella. Ilmakuvauksien toimintaohjeistus ja turvallisuusarviointi -lomake käsittelevät määräyksen vaatimia asioita. Toimintaohjeistus käsittelee ilmakuvauksien suorittamista normaalitoimintatilanteessa ja häiriötilanteessa. Turvallisuusarviointilomake käsittelee ilmakuvauksien mahdollisia riskejä ja niiden vähentämistä.

Valokuvamallin ja suunnittelumallien yhdistäminen ja vieminen LumenRT:hen -ohjeessa kerrotaan miten valokuvamallin ja suunnittelumallit saa yhdistettyä MicroStation Connect Editionilla ja miten lopputuloksen saa vietyä LumenRT:hen. LumenRT:ssä voidaan tehdä mallille lopullista visualisointia kuten lisätä aidon näköistä kasvillisuutta ja liikennettä. Ohje käsittelee kuitenkin vain Connect Editionin käyttöä, sillä selkeää vastaavaa ohjetta ei löytynyt valmiina.

Kuvauskorkeuden ja kuvanottovälien laskeminen -Excel-tilukko pohjautuu valokuvamallinnusohjelman ContextCapture mukana tulleeseen Smart3DCapture valokuvausohjeeseen, jossa on laskukaavoja valokuvamallin tarkkuuden sekä ilmakuvauksien kuvauskorkeuden ja kuvanottovälien laskemiseen. Ilmakuvauksen sopiva kuvauskorkeus ja kuvanottovälit riippuvat käytettävästä kamerasta ja objektiivista sekä halutusta valokuvamallin tarkkuudesta. Taulukkoon voidaan syöttää käytetyn kameran ja objektiivin tiedot, jonka jälkeen valokuvamallin halutun tarkkuuden mukaan lasketaan kuvauskorkeus ja kuvanottovälit. Taulukon avulla voidaan laskea myös kuvauskorkeuden vaikutus resoluutioon. Oikealla kuvauskorkeudella ja kuvanottovälillä kuvaamalla ilmakuvat ovat tarpeeksi limittäisiä sekä pitkittäin että sivuttain tarkan valokuvamallin muodostamiseen. Mikäli ilmakuvat eivät ole tarpeeksi limittäisiä, ContextCapture ei välttämättä pysty muodostamaan kuvista valokuvamallia.

6.3 Valokuvamallinnuksen käyttö infrasuunnittelussa

Valokuvamallinnusta voidaan käyttää hyvin moneen eri käyttötarkoitukseen. Lempäälän valokuvamallinnuskohteet antoivat hyvin kuvaa siitä, miten nopeasti ja helposti saadaan valokuvamallinnettua ympäristöä. Valokuvamalleista tuli ainakin visuaalisesti tarkkoja.

Infrasuunnittelussa valokuvamallinnusta voidaan hyödyntää tien-, rata- kuin katusuunnittelussa. Finnmap Infra Oy:ssa on hyödynnetty valokuvamallinnusta näiden suunnitteluosa-alueiden esittelymallien teossa. Vesiväylien suunnitteluun valokuvamallinnus ei sovellu, sillä ohjelmisto ei osaa mallintaa vesialueita hyvin. Myös muissa infrasuunnittelukohteissa, esimerkiksi lentoasemien ja kaatopaikkojen suunnittelussa, valokuvamallinnusta voitaisiin käyttää. Sen avulla voidaan hahmotella mitä alueelle mahtuu rakentamaan ja sekä erilaiset ratkaisuvaihtoehdot.

Varsinkin olemassa olevien rakennusten ja ympäristön mallintamiseen valokuvamallinnus on parhaita keinoja. BIM-mallinnusteknologian ongelmista yksi on olemassa olevien rakennuksien ja infrastruktuurin kolmiulotteisen tiedon saaminen. Monesti olemassa olevia vanhoja rakenteita ei ole mallinnettu ja niitä on vaikea mallintaa niin, etteivät ne ole visuaalisesti heikkotasoisia ja epätarkkoja. Käsityövoittoisella tavalla tuotetut virtuaalimallit ovat kalliita ja hitaita tehdä sekä monesti valmistuessaan ei-ajantasaisia. Virtuaalimallilta halutaan lisäksi mittatarkkuutta ja vanhojen kohteiden mallinnus mittatarkasti on hankalaa. Tähän ongelmaan valokuvamallintaminen on hyvä ratkaisu. Rakennusten ja ympäristön mallintamista pystytään hyödyntämään varsinkin täydennysrakentamisessa. Kuva 24 on Ruotsissa tehdystä täydennysrakentamisen valokuvamallipohjaisesta suunnittelusta.



Kuva 24. Täydennysrakentamisen valokuvamallipohjaista suunnittelua Ruotsissa [10]

Mallintamisen hyötyjä eri hankevaiheissa on käyty läpi luvussa 3.3 Mallintaminen eri hankevaiheissa. Kuvan 4 mukaan mallintamisesta on hyötyä hyvinkin monessa hankevaiheessa, joten valokuvamallinnusta voitaisiin hyödyntää myös muuhun kuin esittelymallien tekoon. Varsinkin esisuunnittelussa valokuvamallintamista voitaisiin hyödyntää

enemmän. Esimerkiksi monesti suunnittelijat eivät tutustu rakennushankkeeseen paikanpäällä etukäteen, joka voi vaikeuttaa alueen suunnittelua. Alueelta voi löytyä esimerkiksi kasvillisuutta kuten isoja puita tien vierestä mitä ei ole otettu huomioon. Valokuvamallin avulla voidaan tarkastella suunniteltavaa ympäristöä ilman, että paikanpäälle tarvitsee matkustaa ja näin saadaan tehtyä entistä parempia suunnitteluratkaisuja.

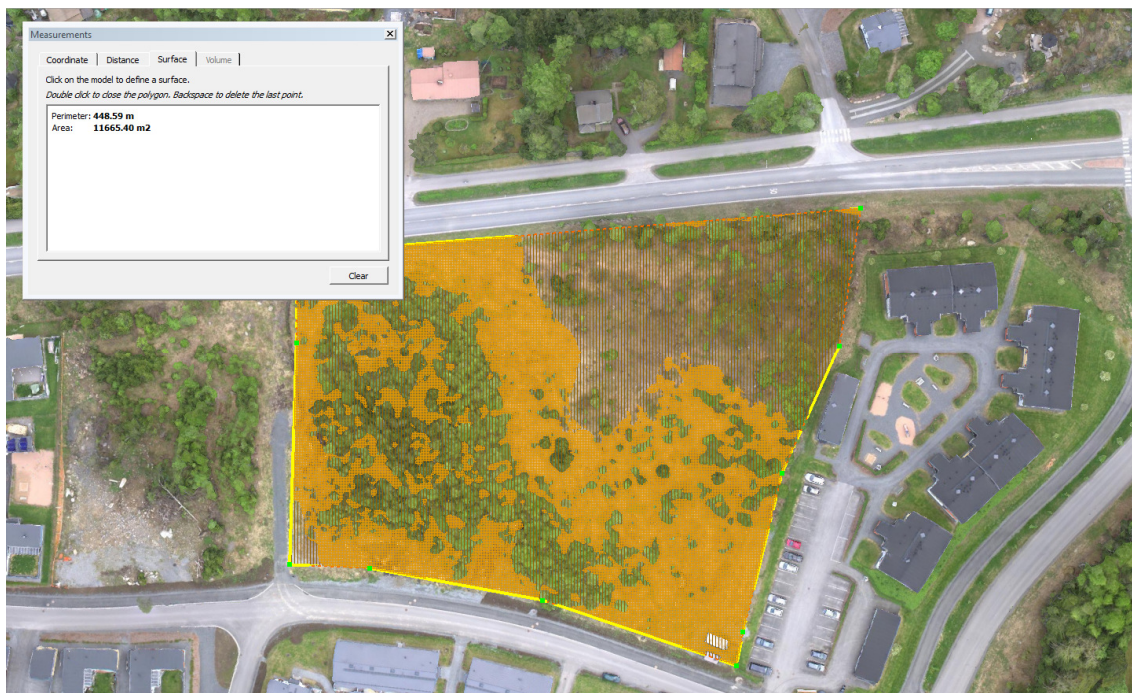
Valokuvamallinnusta voitaisiin hyödyntää eri mallityypeissä. Kuitenkin ongelmana on, että inframallit vaativat suurta tarkkuutta ja valokuvamallien tarkkuus ei välttämättä vielä täytä vaadittua tarkkuutta. Lisäksi resoluutioltaan hyvin tarkka valokuvamalli on raskas koneelle. Ohjelmat eivät ole vielä tarpeeksi hyvin tehtyjä, että tietokoneet jaksavat pyörittää niitä ilman ongelmia. Tämän vuoksi valokuvamallinnusta on käytetty lähinnä pienten hankkeiden esittelymallien teossa, sillä niiden tarvitsee vain näyttää realistiselta. Tietokoneet jaksavat pyörittää pieniä esittelymalleja tarpeeksi hyvin eikä esittelymallin tarvitse olla täysin tarkka mitoiltaan tai koordinaateiltaan.

Valokuvamallinnusta on käytetty ulkomailla muun muassa arkeologiassa ja 3D-kaupunkimallintamisessa, josta kerrotaan luvussa 4.6. 3D-kaupunkimallit. 3D-kaupunkimalleilla on monia eri käyttötarkoituksia, joten 3D-kaupunkimallinnus olisi varmasti hyödyllistä myös Suomessa. Esimerkiksi energiateollisuudessa, uusiutuvien energialähteiden suunnittelussa, valokuvamallintamisesta olisi varmasti hyötyä. Kaupunkien suurentuessa 3D-kaupunkimalleja on helppo hyödyntää niin täydennysrakentamisessa kuin infrastruktuurin suunnittelussa. 3D-kaupunkimalleja voidaan hyödyntää esimerkiksi melutarkasteluissa, korkeiden rakennusten luomien varjojen tarkastelussa, reittien näkyvyystarkastelussa ja valaistussimulaatioissa.

Valokuvamallinnusta voitaisiin kuitenkin hyödyntää enemmän työmaalla. Sen avulla on helppo seurata työmaan edistymistä, kun esimerkiksi viikoittain tai kuukausittain työmaasta tehtäisiin valokuvamalli. Tästä voisi olla hyötyä myös suunnittelijoille ja tilaajille.

Valokuvamallista voidaan myös ottaa erilaisia mittoja, tilavuuksia, ympärysmittoja ja pinta-aloja, jota voidaan hyödyntää sekä suunnittelussa että työmaalla. Käytössämme olleella valokuvamallin katseluohjelmalla Acute3D viewerillä pystyy tarkastelemaan valokuvamallista valittujen pisteiden koordinaatteja sekä mitata etäisyyksiä, korkeuseroja, tilavuuksia, pinnan ympärysmittoja ja pinta-alaa, josta kuvassa 25 on mitattu pelon ympärysmitta ja pinta-ala. Valokuvamallista voidaan esimerkiksi laskea maa-

ainesvarastojen kuten sorakasojen sekä maamassojen tilavuuksia. Myös leikattavan kallion tai kaadettujen puiden pinon tilavuus voidaan laskea.



Kuva 25. Valokuvamallin katseluohjelmalla Acute3D viewerillä pystyy tarkastelemaan valokuvamallista valittujen pisteiden koordinaatteja sekä mitata etäisyyksiä, korkeuseroja, tilavuuksia, pinnan ympärysmittoja ja neliömääriä. Kuvassa on mitattu pellon ympärysmitta ja pinta-ala.

6.3.1 Valokuvamallinnus verrattuna laserkeilaukseen

Laserkeilauksen ja valokuvamallintamisen hyviä ja huonoja puolia on käsitelty kohdassa 5.2 tarkkuus kuvassa 15. Valokuvamallinnuksen huonoja puolia ovat muun muassa, ettei valokuvamallinnus näe maanpintaa kasvillisuuden alla ja näin z tarkkuus on huonompi kuin laserkeilauksessa. Sen vuoksi valokuvamallinnusta ei oikein voida käyttää metsänhoidossa. Lempäälän valokuvamallien suhteen koordinaatit olivat suhteellisen tarkkoja, mutta z tarkkuus heitti joissakin valokuvamallin kohdissa. Valokuvamallinnuksen hyviä puolia ovat kuitenkin parempi resoluutio ja xy tarkkuus sekä visuaalinen ymmärrettävyys.

Laserkeilausta on käytetty kaupunkisuunnittelussa, metsänhoidossa ja autonavigaattoreissa ja se on todennäköisesti parempi vaihtoehto metsänhoidon työkalu kuin valokuvamallinnus. Laserkeilausta on käytetty yhdessä ilmakuvauksen kanssa metsätalou-

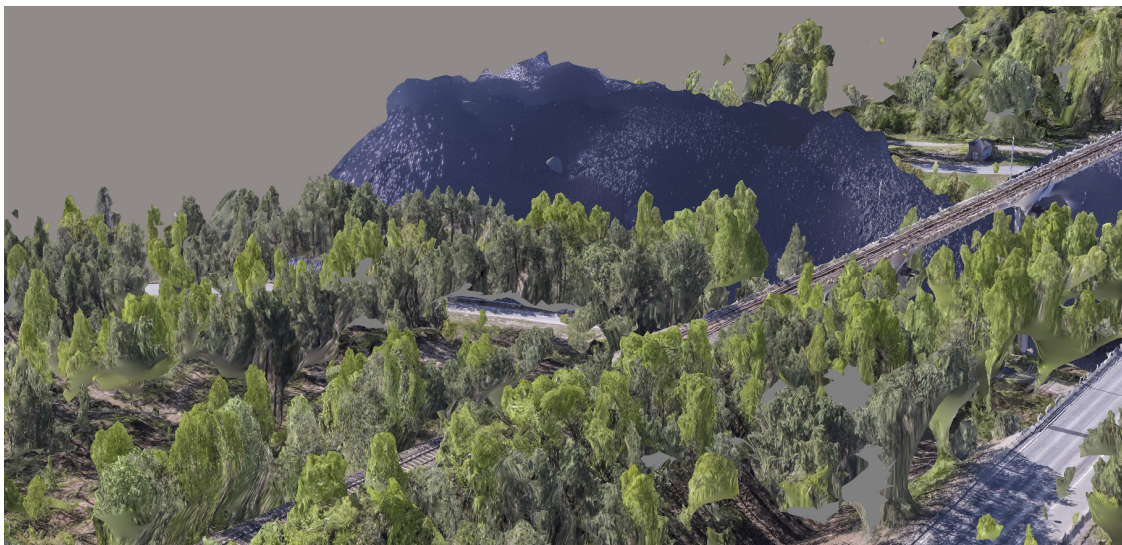
dessa puuston määrän, peittämän alueen ja korkeuden määrittämiseen, mutta tälläkään tavalla ei voida mitata metsää yhden puun tarkkuudella.

Ilmasta voidaan suorittaa laserkeilaus ja ilmakuvaus yhtä aikaa, jolloin saadusta laserpistepilvestä voidaan tuottaa valokuvamainen 3D-malli. Tällä tavalla Suomessa on tehty joitakin 3D-kaupunkimalleja. Laserkeilaus on tarkempaa kuin valokuvamallinnus, mutta sen huonoja puolia ovat korkea hinta sekä kalibroinnin ja koulutuksen tarve. Tutkimusten mukaan valokuvamallinnuksellakin on päästy tarkkoihin tarkkuuksiin, ainakin rakennuksia mallinnettaessa, parhaimmillaan vain puolen sentin heittoihin. Ympäristön mallintaminen ilman laserkeilausta ei välttämättä onnistu niin tarkasti. Tällä hetkellä laserkeilauksen etuna on suurempi tarkkuus kuin valokuvamallinnuksella, mutta valokuvamallinnuksen hyvänä puolena on helppo käytettävyys, nopeus ja edullisuus. Molemmilla keinoilla on omat hyvät ja huonot puolensa, joten paras vaihtoehto voi olla juurikin laserkeilausaineiston yhdistäminen valokuvamallin kanssa.

6.3.2 Haasteet

Opinnäytetyön valokuvamalleja sekä ohjeistuksia tehdessä tuli joitakin ongelmia ja haasteita vastaan. Varmasti epäkohtia olisi enemmänkin, mikäli valokuvamallinnukseen perehtyy vielä syvällisemmin. Opinnäytetyötä tehdessä käytettiin pääasiassa Bentley Systems Inc:n suunnitteluohjelmia PowerCivil for Finland V8i SS4 ja MicroStation Connect Edition sekä valokuvamallinnusohjelmaa ContextCapture, joten ongelmat ja haasteet liittyvät käytettyihin ohjelmiin.

ContextCapture ei pysty tekemään valokuvamallia pinnoista, mitkä heijastavat tai ovat yksivärisiä. Näin ollen valokuvamallinnus ei sovellu vesiväylien suunnitteluun, sillä veden mallintaminen on valokuvamallinnusohjelmalle hankalaa. Myös metsäiset alueet ovat ohjelmalle vaikeita mallintaa hyvin. Kuvassa 26 on vertailun vuoksi Saimaan kanavan valokuvamallista kuvankaappaus, vaikka tämä suunnittelukohde ei liity opinnäytetyöhön. Kuvasta huomaa miten huonosti ohjelma saattaa metsän ja veden mallintaa. Kuvassa 27 on Lempäälän valokuvamallista kuvankaappaus, jossa metsä sekä vesi on paremmin mallinnettu.



Kuva 26. Saimaan kanava. Valokuvamallinnusohjelma ei osaa mallintaa isoja vesialueita hyvin, jonka vuoksi vesi näyttää kohoavan kanavasta ylös. Metsäalueet, varsinkin harvasta ja ohuista puista koostuvat alueet, ovat myös mallinnusohjelmalle vaikeita mallintaa. Tästä johtuen 3D-mallissa esiintyy aukkoja tai puiden latvat näyttävät leijuvan maanpinnan yläpuolella.



Kuva 27. Lempäälä. Valokuvamallinnusohjelma osaa mallintaa pienet vesialueet ja tiheähköt metsäalueet paremmin.

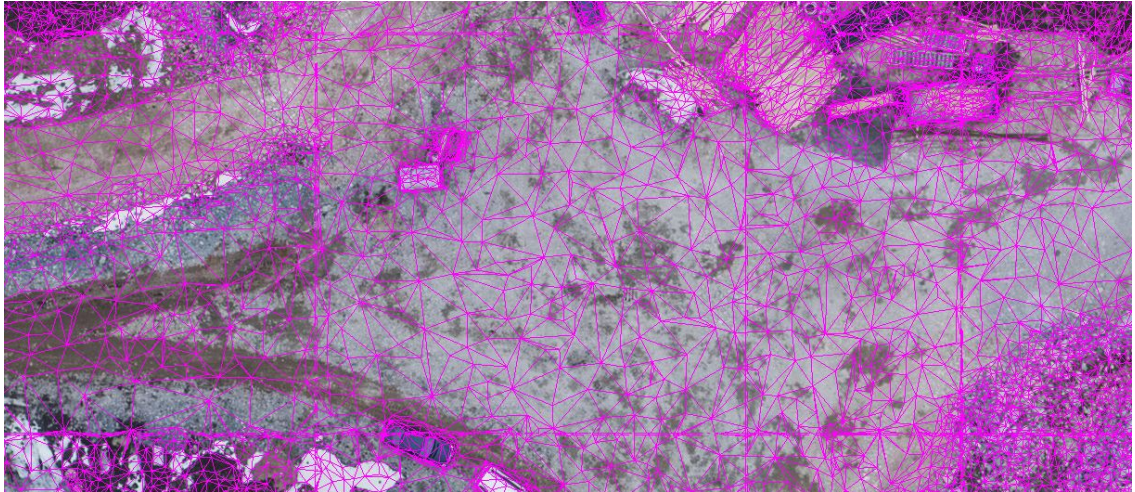
Lopputuloksen parantamiseksi voi auttaa se, että metsäiset alueet ilmakuvataan vielä tiheämmin kuin muut alueet. Kohteet, joissa käytettiin valokuvamallinnusta, kuvattiin aika alhaalta ja tiheästi ja silti puusto saattoi olla aika huonosti mallinnettua. Valokuvamallista saa jälkikäteen leikattua huonosti mallinnettuja alueita pois, mutta se ei aina onnistu helposti. Esimerkiksi mikäli valokuvamallinnusohjelma on mallintanut siltojen

alla olevan veden huonosti, sitä ei voi poistaa kokonaan valokuvamallista. Myös kontrollipisteiden lisääminen metsäisille alueille auttaa siihen, että valokuvamalli on xyz tarkkuudeltaan parempi. Mikäli kontrollipisteitä laittaa vain osalle aluetta, eikä koko valokuvamallin alueelle, valokuvamalli voi heittää varsinkin z tarkkuudeltaan paljon.

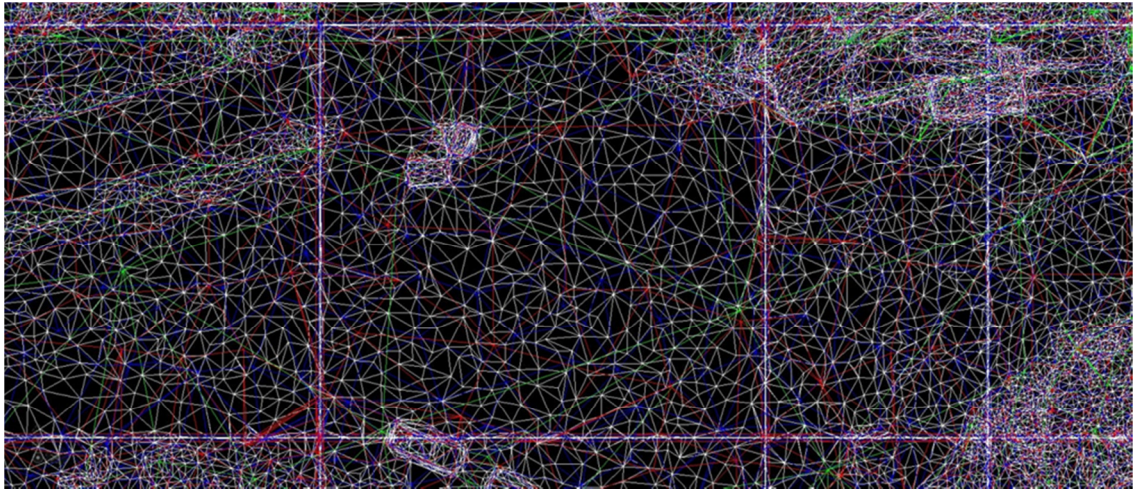
Valokuvamalli näyttää hyvin realistiselta kun se oli tehty ja sitä tarkastellaan Acute3D:n katseluohjelmalla. Mikäli valokuvamalliin halutaan istuttaa muut infrasuunnitelmat, valokuvamalli pitää avata Microstation Connect Edition versiolla. Kun valokuvamalli on yhdistetty muihin suunnitelmiin Connect Editionissa, sen voi viedä LumenRT:hen. Ongelmana oli, että mikäli valokuvamallin halutaan olevan hyvin tarkka, pitää export resolutionia asettaa pieneksi esimerkiksi 0.1m. Oletus export resolution voi olla hyvin suurikin kuten 0.8m. Mitä pienemmäksi export resolutionia asettaa, sitä raskaampi malli on tietokoneelle pyörittää. Monesti ongelmana oli, että tietokone kaatui, mikäli export resolutionin asetti hyvin pieneksi ja yritti sen jälkeen viedä valokuvamallin ja suunnittelumallien yhdistelmään LumenRT:hen. Ohjelmistot eivät ole vielä täysin kehittyneitä tarkkojen valokuvamallien esittämiseen.

Jos valokuvamallia halutaan toimivan ConnectEditionin sijaan PowerCivilissa, pitää se hajottaa "Drop Element" -työkalulla. Tämä aiheuttaa sen, että Microstation Connect Edition kolmioi valokuvamallin pinnan uudelleen ja syntyvä kolmiointi ei ole samanlainen kuin alkuperäinen. Eniten tämä haittaa pintojen tarkastelua, sillä uusi kolmiointi poikkeaa vanhasta ja näin ollen tarkkuustarkastelu ei ole välttämättä täysin oikea.

Kuvassa 28 on valokuvamallin alkuperäinen kolmiointi ja kuvassa 29 on "Drop Element" -työkalun jälkeen syntyvät kolmiointi, jonka tarkkuus riippuu siitä, mikä asetettu export resolution on. Mitä pienempi export resolution on, sitä tarkempi syntyvä kolmiointi on. Kuitenkin export resolutionia ei kannata asettaa alle 0.1m, koska tietokone ei tällöin jaksa pyörittää valokuvamallia. Export resolution on parasta asettaa 0.1m, jolloin tietokone jaksaa pyörittää mallia ja kolmiointi on mahdollisimman tarkka, mutta tällöinkään valokuvamalli ei aina toimi.



Kuva 28. Valokuvamallin alkuperäinen kolmiointi



Kuva 29. Kaikki 4 eri export resolutionin droppauksen jälkeen syntyvät kolmioinnit. Oletus export resolution 0.8902m kolmiointi on merkattu punaisella, export resolution 0.2m kolmiointi vihreällä, export resolution 0.1m kolmiointi sinisellä ja export resolution 0.01m kolmiointi valkoisella.

7 Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet

Opinnäytetyöprojektin aikana saatiin tuotettua varsin vaivattomasti Lempäälän kolme valokuvamallia. Tutkimustyön tuloksena oli, että valokuvamallinnusta voidaan hyödyntää varsin monipuolisesti. Valokuvamallinnus on helppo keino ympäristön sekä valmiiden rakenteiden mallintamiseen, joten sitä kannattaa hyödyntää suunnittelussa sekä rakentamisessa. Valokuvamallinnusta voidaan hyödyntää varmasti myös ylläpidossa kuten teiden kunnon kartoittamisessa, mutta tähän opinnäytetyössä ei keskitytty. Valokuvamallinnuksen hyödyntämistä ylläpidossa kannattaisi tutkia tulevaisuudessa.

Kuitenkin suunnitteluohjelmissa on vielä paljon kehitettävää, jotta valokuvamalleja voidaan käyttää entistä enemmän. Valokuvamalli näyttää hyvin realistiselta kun sitä tarkastellaan Acute3D:n katseluohjelmalla, mutta ongelmana on valokuvamallin käytettävyys suunnitteluohjelmissa. Mikäli valokuvamalliin halutaan yhdistää suunnitelmamalleja, valokuvamallin laatu huononee kun se tuodaan suunnitteluohjelmaan tai sen tarkkuutta pitää asettaa huonommaksi, sillä liian tarkkaa valokuvamallia eivät suunnitteluohjelmat jaksa esittää. Hyvin monesti kävi niin, että tietokone kaatui. Jotta valokuvamallinnusta voitaisiin käyttää paremmin, pitäisi suunnitteluohjelmia myös parantaa. Suunnitteluohjelmia ei ole vielä kehitetty sille tasolle, että valokuvamallia olisi helppo hyödyntää.

Oikein tarkan 3D-mallin tekoon voitaisiin käyttää monikamerajärjestelmää, jossa yksi kamera ottaa nadiiri- eli pystykuvan ja 4 kameraa ottaa jokaiselta sivulta viistokuvan. Käytössä ei ollut monikamerajärjestelmää, mutta otimme mallinnettavasta alueesta sekä nadiirikuvia ja viistokuvia, jolloin 3D-mallin laatu näyttäisi parantuvan. Esimerkiksi siltojen alaosat valokuvamallinnusohjelma osaa mallintaa paljon paremmin, kun otetaan viistokuvia nadiirikuvien lisäksi. Kokeilimme myös kuvata joitakin valokuvamallinnuskohteita maan tasalta. Maan tasalta otetuista kuvista voidaan tehdä myös valokuvamalli, joka yhdistetään ilmakuvista tehtyyn valokuvamalliin. Emme kuitenkaan onnistuneet tässä vielä opinnäytetyöprojektin aikana.

Valokuvamallinnusta pitäisi vielä tutkia tarkemmin. Vielä on tutkittavaa millä tavalla saataisiin tuotettua entistä tarkempia ympäristön valokuvamalleja. Esimerkiksi kuvaus-tapa, kalusto tai sää vaikuttavat varmasti syntyvän valokuvamallin laatuun ja tarkkuu-

teen. Tekniikka tulee tulevaisuudessa kehittymään, joten uskoisin, että se edesauttaa valokuvamallinnuksen käyttöä infrasuunnittelun tukena.

Lähteet

- 1 Kylmä A. Liikennevirasto. 2015. Tietomallien hyödyntäminen tien yleissuunnittelussa. Luettu 8.4.2016. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2015-03_tietomallien_hyodyntaminen_web.pdf
- 2 Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy. 2009. Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu. Sastamala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- 3 RIL, Tietomallinnus. Luettu 10.3.2016. <http://www.ril.fi/fi/alan-kehittaminen/tietomallinnus.html>
- 4 Tekla, Mitä on BIM? Luettu 10.3.2016. <http://www.tekla.com/fi/tietoa-meist%C3%A4/mit%C3%A4-bim>
- 5 Liikennevirasto. 2014. Tiehankkeiden mallipohjaisen suunnittelun hankinta. Luettu 14.4.2016. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-20_tiehankkeiden_mallipohjaisen_web.pdf
- 6 Niskanen, J. / WSP Finland Oy. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015. Osa 1, Tietomallipohjainen hanke. Luettu 14.4.2016. http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA1_Tietomallipohjainen_hanke_V_1_0.pdf
- 7 InfraBIM. 2015. Infra FINBIM vauhditti inframallintamisen läpimurtoa. Luettu 11.3.2016. <http://www.infrabim.fi/infra-finbim-vauhditti-inframallintamisen-lapimurtoa/>
- 8 Luoma S. / Viasys VDC Oy. 2016. Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015. Osa 10, Havainnollistaminen. Luettu 14.4.2016. http://www.infrabim.fi/wp-content/uploads/2016/02/YIV2015_OSA_10_Havainnollistaminen_250216.pdf
- 9 Worth T. 2015. What are the tools for creating virtual reality models? Luettu 15.4.2016. <https://www.quora.com/What-are-the-tools-for-creating-virtual-reality-models>
- 10 Tuukkanen T. / Bentley Systems. 2016. Todellisuusmalli tietomallinnuksen tukena. Katsottu 20.4.2016. <https://www.youtube.com/watch?v=igZcDY7N0u4>
- 11 Maankäyttö 3/2013. Rakennetun ympäristön suunnitteluun mittatarkkaa virtuaalisuutta. Luettu 19.4.2016. http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk313/mk313_1666_virtanen_et_al.pdf
- 12 MML Paikkatietokeskus FGI. Ympäristön 3D-mallinnus. Luettu 20.4.2016. <http://www.fgi.fi/fgi/fi/teemat/ymp%C3%A4rist%C3%B6n-3d-mallinnus>

- 13 Acute 3D. Paris in 3D by Ubick. Luettu 6.5.2016. <https://www.acute3d.com/city-mapping/>
- 14 ISPRS. 2015. Applications of 3D City Models: State of the Art Review. Luettu 6.5.2016. <http://www.mdpi.com/2220-9964/4/4/2842/htm>
- 15 Döllner J. Baumann K. Buchholz H. 2006. Virtual 3D City Models as Foundation of Complex Urban Information Spaces.
- 16 Ball M. / Line/Shape/Space. 2014. Thanks to NASA, Photo-Based 3D Modeling Is Set to Explode. Luettu 1.6.2016. <https://lineshapespace.com/photo-based-3d-modeling-photogrammetry/>
- 17 Soininen A / Terra solid. 2015. Kaupunkimallit Power Point -esitys. Luettu 1.7.2016. ftp://terrasolid.com/pub/Vantaan_seminaari/kaupunkimallit.pdf
- 18 Vinni P. 2003. Kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa – Mitä on fotogrammetria? Luettu 1.7.2016. <http://www.kotikone.fi/faryan/Teksteja/JatkokurssiB.htm>
- 19 Geodetic Systems. The Basics of Photogrammetry. Luettu 1.7.2016. <http://www.geodetic.com/v-stars/what-is-photogrammetry.aspx>
- 20 Shashi M., Jain K. / ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2007. Use of Photogrammetry in 3D Modeling and Visualization of Buildings. Luettu 1.7.2016. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.114.849&rep=rep1&type=pdf>
- 21 Photomodeler / Eos Systems Inc. 2016. Overview. Luettu 5.7.2016. <http://www.photomodeler.com/applications/default.html>
- 22 PAPA International. History of Aerial Photography. Luettu 27.5.2016. http://professionalairialphotographers.com/content.aspx?page_id=22&club_id=808138&module_id=158950
- 23 Cooper Aerial Surveys CO. Luettu 30.5.2016. <http://cooperaerial.com/>
- 24 MML maanmittauslaitos. Kartan tekeminen alkaa ilmakuvausella. Luettu 30.5.2016. <http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/kaukokartoitus/kartan-tekeminen-alkaa-ilmakuvausella>
- 25 Sippo M. Maankäyttö 2/2013. Lennokkikartoitus – uusia näkymiä ilmasta. Luettu 30.5.2016. http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk213/mk213_1647_sippo.pdf

- 26 Hassinen A. 2016. UAV-lennokit ja -kopterit. Kokemuksia UAV- ja RPAS-laitteista. Luettu 30.5.2016. <http://mekri.uef.fi/uav/UAV-lennokit.pdf>
- 27 Acute3D. 2015. Smart3DCapture – Guide for photo acquisition.
- 28 Pix4D. 2014. Pix4D Webinar 1: Introduction to Modern Photogrammetry and Optimal Flight Plans. Katsottu 31.5.2016. <https://www.youtube.com/watch?v=NGdZ8O2cWks>
- 29 ContextCapture User Manual

Ohjeluetelo

Työn tuloksena tuotettiin seuraavat ohjeet, lomakkeet ja taulukot:

- Ilmakuvauksien suoritus -ohje
- Ilmakuvauksien toimintaohjeistus
- Valokuvamallin ja suunnittelumallin yhdistäminen sekä vieminen Lu-
menRT:hen -ohje
- Ilmakuvauksien turvallisuusarviointi -lomake
- Ilmakuvauksien kuvauskorkeuden ja kuvanottovälien laskeminen -Excel-
taulukko

Ohjeita, lomaketta tai Excel-taulukkoa ei tulla liittämään opinnäytetyön liitteeksi, sillä niiden sisältö on salainen.