

Opinnäytetyö AMK

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Insinööri AMK

2022

Lauri Salonen

# INFRAHANKKEEN MODERNIT SEURANTA- JA DOKUMENTOINTIKEINOT

2022

OPINNÄYTETYÖ AMK | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ohjaaja: Pirjo Oksanen

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

2022 | 39 sivua

Lauri Salonen

# INFRAHANKKEEN MODERNIT SEURANTA JA DOKUMENTOINTIKEINOT

2022

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on esitellä teknologiaa, joka mahdollistaa infrahankkeen visuaalisen dokumentoinnin sekä työmaan yleistilanteen tarkastelun digitaalisesti. Samalla pyritään madaltamaan lukijan kynnystä modernien työmaa-arkea helpottavien ja työturvallisuutta parantavien laitteiden käyttöönotossa.

Dronejen käyttö rakennustyömaan kuvauksessa ja valvonnan apuna on yleistynyt multikoptereiden tuomien hyötyjen vuoksi. Lennokkeihin voidaan asentaa erilaisia antureita kuten esimerkiksi laserkeilaimia, kameroita ja lämpökameroita. Dronella aikaansaatu materiaali toimii apuna sekä rakennuttajalle että tilaajaosapuolille.

Teknologian kehittyminen mahdollistaa työmaalta kuvatun materiaalin jakamisen verkon avulla käyttäjille. Näin rakentamisen yleiskuvaa voidaan tarkastella ilman työmaavierailuita. Ortokuvien käyttö taustakarttana sekä 360°-kuvien hyödyntäminen mallintamisen tukena mahdollistaa laajempien kokonaisuuksien hahmottamisen.

Rakennustyömaan edetessä vaaditaan säännöllisiä mittauksia. Toteumamittauksia voidaan suorittaa yksityiskohtaisesti eri dokumentointi menetelmillä. Laserkeilausta voidaan suorittaa useilla eri tekniikoilla, joista kohteeseen sopivin valitaan alueen ominaisuuksien perusteella. Tekniikan valintaan vaikuttavat esimerkiksi mitattavan pinta-alan laajuus ja maaston vaikeakulkuisuus. Keilauksen lisäksi toteumamalliin voidaan kasata pistepilviä esimerkiksi fotogrammetriaa tai syvyyskameroita hyödyntäen.

Tietomalleja hyödynnetään jo nyt monipuolisesti työmaalla ja sen ulkopuolella, mutta uusi teknologia lisää tietomalleille jatkuvasti uusia käyttötarkoituksia ja tuo tietomallit suunnittelutoimistosta työmaalle. Digitaalisten mallien lisääminen näkökenttään tulee lisäämään mallien käyttöä rakentamisessa monipuolisesti, ja toimii erinomaisena keinona suunnitelmien havainnollistamisessa hankkeeseen perehdyttäessä.

ASIASANAT:

tietomalli, drone, dokumentointi, infrarakentaminen, laserkeilaus, yhdistetty todellisuus, AR

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering

Instructor Pirjo Oksanen M. Sc. Eng.

2022 | 39 pages

Lauri Salonen

# MODERN SURVEILLANCE AND DOCUMENTATION METHODS IN INFRA PROJECTS

2022

The aim of this thesis is to introduce the reader to technology that enables visual documentation and remote monitoring in infrastructure projects. The thesis also aims to make devices and various methods more approachable for users with low experience.

Drones have become more common at worksites because of the benefits that drones provide in monitoring and documentation. Drones can be equipped with various sensors, for example LiDAR-scanners, cameras and thermal cameras. The data produced with drones is useful for all the parties in a construction project.

The developed technology enables worksite monitoring with remote access. While modeling, it is possible to return to the worksite via 360° photos to check details and use orthophotos as a background in plans.

Regular documentation is needed during the building process. Model-based tracking can be completed accurately with various documentation devices. Site machinery, laser scanning, photogrammetry and depth cameras can be used to collect point clouds. The most suitable scanning method is selected based on the characteristics of the area.

Digital models can already be used in a variety of ways on and off site, but new technology is constantly adding new uses to data models and bringing models from the office to the site. Adding digital models to the field of view will increase the usage of models as part of construction projects and it works already as an excellent way to demonstrate plans when orientating to a new project.

KEYWORDS:

Documentation, drone, infrastructure, AR

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>5</b>
<b>2 TIETOMALLIT</b>	<b>6</b>
2.1 Yleistä	6
2.2 Suunnitelmamalli	7
2.3 Toteutusmalli	7
2.4 Toteumamalli	8
2.5 Korkeusmalli	8
2.6 Maasto- ja pintamalli	8
<b>3 VALOKUVAUKSEEN PERUSTUVAT SEURANTA- JA DOKUMENTOINTIMENETELMÄT</b>	<b>10</b>
3.1 Drone-kuvaus yleisesti	10
3.2 Drone-kuvaus infratyömaalla	10
3.3 Drone-lainsäädännön muutos	12
3.4 360°-kuvaus	13
3.5 Työmaakamerat	15
3.6 Kameravalvonnan lainsäädäntö	16
<b>4 MALLINTAMISESSA HYÖDYNNETTÄVÄT SEURANTA- JA DOKUMENTOINTIMENETELMÄT</b>	<b>17</b>
4.1 Laserkeilaus yleisesti	17
4.2 Laserkeilaus rakennustyömaalla	18
4.3 Fotogrammetria	22
4.4 Matterport syvyyskamera	23
4.5 Infrakit	25
4.6 Trimble SiteVision	29
<b>5 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>34</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>37</b>

# 1 JOHDANTO

Teknologian hyödyntäminen lisääntyy jatkuvasti rakennustyömailla, mutta monelle digiloikka voi aiheuttaa ylimääräistä päänvaivaa. Droneja lennätetään taivaalla, erilaisten kameroiden määrä lisääntyy ja työnjohto pyörittelee erilaisia malleja tableteilla. Tietomallipohjainen suunnittelu on tuonut mukanaan oman lisänsä työmaan etenemisen seurannalle ja dokumentoinnille. Mahdollisuus monipuolisen datan keräämiseen lisääntyy osana rakentamista ja avaa uusia mahdollisuuksia koko hankkeen elinkaaren projektin suunnittelusta kunnossapitoon saakka.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on esitellä teknologiaa, joka mahdollistaa infrahankkeen visuaalisen dokumentoinnin sekä työmaan yleistilanteen tarkastelun digitaalisesti. Samalla pyritään madaltamaan lukijan kynnystä modernien työmaa-arkea helpottavien ja työturvallisuutta parantavien laitteiden käyttöönotossa.

Rakentamisessa tietomallilla tarkoitetaan rakennuskohteen ja sen ominasuustietojen digitaalista esittämistä kolmiulotteisesti. Hankkeissa tietomallintaminen parantaa sisäisen tiedon siirtymistä aina suunnittelusta hallintaan. Puutteellisen tiedonsiirron on todettu olevan rakennushankkeissa suurin yksittäinen syy dokumenttien katoamiseen. (Väylävirasto 2020)

Dokumentoinnin tavoitteena on tietojen tallentaminen luotettavasti, jotta niitä voidaan jakaa eri osapuolille ja sidosryhmille. Matti Vuori toteaa julkaisussaan: ”Dokumenttien arvo kuitenkin huomataan varsin usein silloin, kun niitä ei olekaan saatavilla tai niissä on puutteita.” Rakennusalalla dokumentointi toimii työskentelyn perustana. Dokumenteilla luodaan luottamusta, kun tehty työ voidaan osoittaa ja perustella mahdollistaen samalla tarkastamisen ja auditoinnin. (Vuori M. 2010)

Tietomallien sekä uusien dokumentointikeinojen lisääntyvä käyttö rakentamisessa vauhdittaa sovelluskehitystä ja lisää uusien menetelmien hyödyntämistä alalla. Digitalisaation tarkoitus ei ole se, että kaikki asiat hoidettaisiin jatkossa tietokoneella. Pikemminkin kyse on ajattelutapojen muutoksesta. Osa ennen digitalisaatiota syntyneistä työvaiheista tulee katoamaan tai korvautumaan uusilla vaihtoehdoilla. Useat toisteiset työvaiheet on mahdollista automatisoida ja esimerkiksi paperisota helpottuu. (Digitaalinen Helsinki 2022) Digitalisaation pohjimmainen tarkoitus on lopulta helpottaa arkea.

## 2 TIETOMALLIT

### 2.1 Yleistä

Infrakohteita koskevia tietomalleja kutsutaan inframalleiksi. Inframalleja voidaan hyödyntää rakentamisen aikana mittauksissa, työkonetoiminnassa sekä rakentamisen resurssoinnissa ja aikataulutuksessa. (YIV 2019).

Rakentamisessa tietomallilla tarkoitetaan rakennuskohteen ja sen ominaisuustietojen digitaalista esittämistä kolmiulotteisesti. Ihannetilanteessa samaa mallia hyödyntämällä voidaan hallinnoida koko hankkeen elinkaarta aina suunnitteluvaiheesta rakennuksen purkamiseen saakka. (Väylävirasto 2020). Tietomallien kehittymistä hankkeen edetessä on kuvattu kuviossa yksi.

Käyttäjän on mahdollista liikkua sekä suorittaa mittauksia kolmiulotteisessa suunnitelmassa ja tarkastella mallia eri leikkauksista sekä kuvakulmista. Infran tietomallintamisella pyritään hyödyntämään avoimia formaatteja tehokkaasti aina kun se on mahdollista. (Väylävirasto 2020)

Ominaisuustiedoilla tarkoitetaan tietomallissa käytettyjen yksittäisten objektien sisältämää tietoa, josta tulee selvittää osan sijainti, nimi, tyyppi ja geometria. Rakennussuunnittelussa hyödynnettävästä mallista on saatava selville objektien tilavuus, jotta määrälaskenta on mahdollista. (Siltojen tietomalliohje s.24).



Kuvio 1 Rakentamisessa hyödynnettävien mallien elinkaari osana hanketta (YIV 2019)

## 2.2 Suunnitelmamalli

Suunnitelmamalli on tietomalli, jossa esitetään suunnittelijoiden suunnitteluratkaisut. Suunnitelmamalli voidaan vaiheistaa rakennushankkeen edetessä esimerkiksi esi-, yleis- ja rakennussuunnitelmamalleiksi. Mallit voidaan kussakin suunnitteluvaiheessa jakaa esimerkiksi eri tekniikkalajien mukaan kuten väylä-, vesihuolto- ja taitorakenteisiin. (Serén K. 2014)

## 2.3 Toteutusmalli

Rakennussuunnitelmamallin sekä suunnitelmadokumenttien perusteella työmaaorganisaatio luo toteutusaineiston, joka sisältää toteutusmallin, koneohjausaineiston, paikalleenmittausaineiston, työtekniiset mallinnukset sekä työvaihemallinnukset. Toteutusmalli voi olla täysin sama aineisto kuin rakennussuunnitelmamalli, mutta rakentamisen aikana mallista käytetään termiä toteutusmalli. Työmaaorganisaatio voi lisätä toteutusmalliin tuote-, aika- sekä kustannustietoja. (YIV 2019)

## 2.4 Toteumamalli

Yleisissä inframallivaatimuksissa toteumamalli määritellään seuraavasti: ”Toteumamalli on inframalli, joka kuvaa infrarakenteen tai -järjestelmän sellaisena kuin se kohdekohtaisesti laatuvaatimukset huomioiden toteutettu. Voidaan tehdä täydentämällä ja päivittämällä rakennussuunnitelma- tai toteutusmallia rakenteen lopullisen toteuman mukaisesti. Jokainen yksittäinen rakennepinta on oma rakennusosan toteumamalli ja kaikki rakennepinnat yhdessä muodostavat rakennetun kohteen toteumamallin.” (YIV 2019)

## 2.5 Korkeusmalli

Korkeusmallissa kuvataan maanpinnan muotoja numeerisesti korkeuspisteryhmien avulla. Mallissa esitetään tyypillisesti kolmioverkkona tai tasavälisinä korkeuskäyrinä. Korkeusmallit ovat vapauttaneet korkeustiedon kasaamisen perinteisistä korkeuskäyräesityksistä ja karttojen valmistuksessa apuna käytetyistä painolevyistä. Laserkeilauksen perusteella tuotettu korkeusmalliaineisto on yksityiskohtaisuudeltaan ja laadultaan erinomaista verrattuna aikaisempiin korkeusmalleihin. Niitä voidaan hyödyntää monipuolisesti useissa eri käyttötarkoituksissa. (Maanmittauslaitos 2022a)

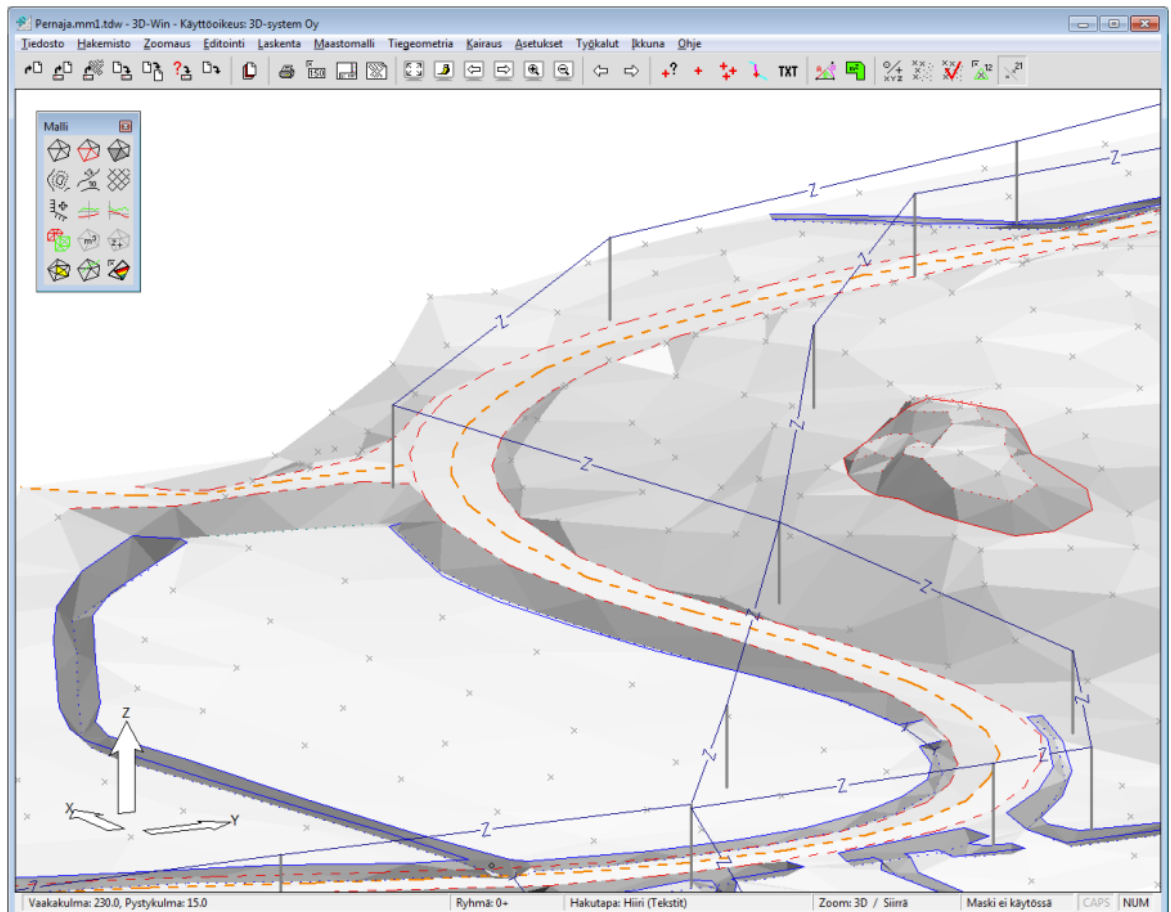
Suomessa maanmittauslaitokselta saatavilla olevat korkeusmallit ovat joko laserkeilaamalla tuotettu KM2 (Korkeusmalli 2 m) tai Maastotietokannan korkeuskäyriä ja muita korkeustietoja hyödyntävä KM10 (Korkeusmalli 10 m). Korkeusmallien nimessä olevalla numerolla kuvataan korkeusmallin ruutukokoa. Esimerkiksi Korkeusmallissa 2 ruutukoko on 2 m x 2 m. (Maanmittauslaitos 2022a)

## 2.6 Maasto- ja pintamalli

Korkeusmallien yhteydessä puhutaan yleensä myös maasto- ja pintamalleista. Maastomallilla tarkoitetaan mallia, joka sisältää korkeustiedon lisäksi muutakin tietoa alueesta kuten tietoa rinteiden kaltevuuksista ja viettosuunnista sekä maan peitteistä. (Maanmittauslaitos 2022a). Kuvassa yksi esitetään maastomalli 3D-Win ohjelmassa. 3D-Win on ohjelmisto, joka on tarkoitettu maastomittaustiedon tuottamiseen sekä käsittelyyn. (Novatron 2022)



Pintamalli-termillä tarkoitetaan ylimmällä korkeustasolla olevaa pintaa. Malli kuvaa maanpintaa vain avomaalla. Muualla ylin pinta kuvaa esimerkiksi kasvillisuutta, rakennusten kattoja tai puiden latvoja. Laserkeilauksen yleistyttyä pintamalli-termin käyttö on yleistynyt. Pintamalleja voidaan hyödyntää infra-alalla esimerkiksi osana lähtötietoaineistoa, massalaskennassa ja aikatauluseurannassa sekä käyttää perustana koneohjauksessa. (Maanmittauslaitos 2022a)



Kuva 1. Pistepilven perusteella luotu maastomalli kolmioituna 3D-Win ohjelmassa (3D-Win Maastomalliohje 65)

## **3 VALOKUVAUKSEEN PERUSTUVAT SEURANTA- JA DOKUMENTOINTIMENETELMÄT**

### **3.1 Drone-kuvaus yleisesti**

Drone on yleisesti käytetty termi miehittämättömälle ilma-alukselle, jota ohjataan joko itsenäisesti, automaattisesti tai kauko-ohjaimella. Droneja hyödynnetään monilla eri aloilla niin yksityisesti, kaupallisesti kuin eri viranomaisten toimesta. Valo- ja videokuvauksessa käytetään yleensä monimoottorista dronea, kun taas kartoituksessa, mittauksessa ja laajojen alueiden seuraamisessa käytetään kiinteäsiipistä dronea. Lennokkityypit toisistaan erottaa lentotapa, sillä monimoottorinen lennokki lentää kuten helikopteri ja kiinteäsiipinen kuin lentokone. Monimoottoriset kuvauksessa käytetyt dronet varustetaan yleensä kääntyvällä kameratelineellä kuvauksen helpottamiseksi. Dronea ohjataan radiolähtimellä, joka on jatkuvasti yhteydessä lennokkiin. Lähtimellä saadaan hallittua lennokin ohjaus- ja kameratoimintoja. (Traficom 2022)

Dronejen käyttö rakennustyömaan kuvauksessa ja valvonnan apuna on yleistynyt multikoptereiden tuomien hyötyjen vuoksi. Koptereiden avulla työmaasta saadaan laaja tilannekuva, sillä työmaan etenemistä voidaan seurata esimerkiksi kuvallisena aikajanaana ilmasta käsin. Kunnat ovat alkaneet hyödyntää droneja muun muassa rantojen, puistojen sekä teiden kuntotarkastuksissa. Lennokkeihin voidaan asentaa erilaisia antureita kuten esimerkiksi laserkeilaimia, kameroita ja lämpökameroita. (RakentajaPRO 2021)

### **3.2 Drone-kuvaus infratyömaalla**

Työmaan maarakennusvaiheen etenemistä päästään seuraamaan parhaiten, kun työmaa keilataan dronella rakennustöiden alkaessa ja kartoitusta jatketaan toistuvasti projektin loppuun saakka. Tyypillisesti kopterilla kuvataan ortokuvaa eli ilmakehän aineistoa, jota voidaan hyödyntää rakennushankkeissa monipuolisesti. Ortokuvien avulla saadaan suunniteltua liikennejärjestelyjä ja suunniteltua tulevia työvaiheita tarkemmin, kun käytössä toimii reaaliaikainen ja visuaalinen pohjakartta. Tämä nopeuttaa työmaan etenemistä, jonka lisäksi tiedon keruu lennokilla on ajallisesti tehokasta. (NCC 2020)

Reaaliaikainen ilmakeku toimii infratyömaalla apuna monipuolisesti projektin alusta loppuun saakka. Lennokkien hyötyjä infrahankkeen edetessä on kuvattu taulukossa yksi. Dronella aikaansaatua materiaali on hyödyksi sekä rakennuttajalle että tilaajaosapuolille. Aluesuunnitelman taustakarttana toimiva ilmakeku helpottaa alueen hahmottamista sitä ennestään tuntemattomille. Työmaalla harvemmin vierailevat saavat selkeämmän yleiskuvan rakentamisen kokonaistilanteesta, jos alueesta on saatavilla ajankohtainen ilmakeku. (PwC 2017)

Projektin alkaessa rakennustyömaa kannattaa kuvata huolellisesti, sillä ilmakekut toimivat todisteena riitatilanteissa. Mahdollisia riitatilanteita on esimerkiksi räjäytysten jälkeiset vahinkoilmoitukset ulkopuolisten toimesta tai erimielisyydet rakennustyömaan aiheuttamista vahingoista työmaa alueella tai sen läheisyydessä. (PwC 2017)

Rakennustyömaan säännöllinen kuvaus mahdollistaa työmaan etenemisen seurannan aikajamaisesti. Työmaat kuvataan Suomessa tyypillisesti kahden viikon välein. (NCC 2020, Skanska). Ilmakevistä on mahdollista havaita rakentamisen poikkeamia suunnitelmista, kun ortokuva ja suunnitelmat asetetaan päällekkäin suunnitteluohjelmassa. Poikkeamien havainnoiminen mahdollisimman nopeasti aiheuttaa säästöjä sekä ajallisesti että rahallisesti. (NCC 2020)

Ilmakevasta on mahdollista havaita työturvallisuutta vaarantavia asioita, kuten työmaa-aitojen ja kaivantojen tukien puutteita. Lintuperspektiivistä on helppo seurata työmaan siisteyttä ja varastointialueiden kuntoa. Työmaan siisteydellä taataan turvallinen työympäristö. (PwC 2017)

Rakentamisen valmistuttua hankkeessa alkaa kunnossapito. Kunnossapidossa dronet toimivat apuna kuntoarvioiden suorittamisessa. Lennokit mahdollistavat korkeajännitelinjojen sähköpylväiden, tuulivoimaloiden, telemastojen ja siltojen tarkastelun ennennäkemättömällä tavalla. Edellä mainittujen rakenteiden tarkastaminen voi olla silmin hankalaa ja vaarallista. Tavallisen kameran tilalle on mahdollista asentaa lämpökamera, joka lisää vaihtoehtoja huoltotöiden tarpeen kartoittamisessa. Esimerkiksi voimalinjan ruostuminen, vioittuneet kytkennät ja jännitehäiriöt aiheuttavat ylikuumentumista. Nämä vauriot on mahdollista huomata sähkölinjoilta sekä raidealueilta droneen kiinnitetyn lämpökameran avulla. Kauko-ohjattavalla voidaan oikeanlaisia sensoreita käyttämällä kuvata ja skannata tieverkkoa. Jos teistä kerätään rakentamisen aikana pintamallit talteen, voitaisiin tieverkoston yleiskuntoa ja muutoksia seurata esimerkiksi vuosittaisilla kuvauksilla kustannustehokkaasti. Säännöllinen seuranta on

tärkeässä osassa kunnossapitoa ja sillä mahdollistetaan vaurioiden havaitsemisen lisäksi vaurioihin johtaneiden syiden selvittäminen. (PwC 2017)

Taulukko 1. Dronejen hyödyt infrahankkeen jokaisessa vaiheessa (PwC 2017)

<b>Tarjousvaihe</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Maasto-olosuhteiden ja hankintojen riskien tunnistaminen</li><li>- Alueen olosuhteiden ennalta arviointi</li></ul>
<b>Suunnittelu</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Korkealaatuisen visuaalisen datan tuottaminen ja sen jatkojalostaminen pintamalleiksi ja ortokuviksi</li></ul>
<b>Rakennusvaihe</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Säännölliset raportit työn etenemisestä</li><li>- Mahdollisuus määrälaskentaan</li><li>- Työkalu työturvallisuuden seurantaan ja ennaltaehkäisyyn</li></ul>
<b>Rakentamisen jälkeen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Loppuraportissa yhteenveto suoritetuista tarkastuksista, poikkeamaraporteista sekä olosuhteista työtaturman sattuessa</li><li>- Luotettava dokumentaatio työmaasta mahdollisiin riitatilanteisiin</li></ul>

### 3.3 Drone-lainsäädännön muutos

Vuoden 2022 alussa voimaan astui dronejen lennättämistä koskeva EU-asetus, joka tiukensi lennokkitoiminnan määräyksiä aikaisemmasta selvästi. Tammikuusta alkaen ammattimaisesti drone-lentotoimintaa harjoittavat joutuvat hakemaan luvan toiminnan

jatkamiseen. Erityisen toiminnan luvan tarvitsee, jos lennättää dronea kaupunkialueella niin, että lennokkiin ei ole jatkuvaa näköyhteyttä. (RakentajaPRO 2021). Uuden asetuksen mukaan dronea voi lennättää ilman erillistä lupaa avoimen kategorian luokassa A2, jos seuraavat ehdot täyttyvät:

- lentokorkeus on alle 120 metriä maan tai merenpinnasta
- jatkuva näköyhteys lennokkiin säilyy
- drone painaa alle kaksi kiloa
- lennot suoritetaan turvallisella etäisyydellä toimintaan osallistumattomista ihmisistä
- ohjaaja on suorittanut verkkoteoriakokeen ja lisäteoriakokeen. (Traficom 2021)

Painavampaa A3 luokan dronea on mahdollista lennättää avoimen kategorian ehdoilla, jos työmaa sijaitsee vähintään 150 metrin päässä asuin-, liike-, teollisuus- tai virkistysalueilta ja jos kauko-ohjaaja kohtuudella olettaa, ettei toimintaan osallistumattomille aiheudu vaaraa. Tällöin lennokin maksimipaino on 25 kiloa. (Traficom 2021)

Erityisen toiminnan lupaa hakiessa liitteeksi vaaditaan riskiarviointi. Luvan hakija voi käyttää apunaan Euroopan lentoturvallisuusviraston (EASA) julkaisemaa ennakkoriskiarviota. Jos luvan hakeminen ennakkoriskiarvio lomakkeen kanssa ei onnistu tulee lennättäjän tehdä lennosta laajempia riskiarvioita. Traficom suosittelee ammattitoimijoita miettimään, olisiko omaa toimintaa mahdollista suorittaa avoimessa kategoriassa esimerkiksi dronikalustoa keventämällä alle kahden kilon painoluokkaan (A2). (RakentajaPRO 2021).

### 3.4 360°- kuvaus

Nykyaikaisilla 360°- kameroilla saadaan välitettyä realistinen kuva katsojalle ilman kohteessa käymistä. Jos tavoitteena on yleisesti esitellä aluetta tai dokumentoida rakentamisen edistymistä, 360°- kamerat ovat hyvä vaihtoehto, sillä tavallisella kameralla tehty työmaan taltiointi jää yleensä rajatun kuvakulman takia vajaaksi. Tyypillisessä 360°-kamerassa on vähintään kaksi laajakuvalinssiä, joiden kuvaama materiaali saadaan editoimalla liitettyä eli stichattua 360 astetta kattavaksi kuvaksi, joka ympäröi pisteen, josta kuva on otettu. Kamerat voidaan karkeasti jakaa video- ja still-kameroihin. (360cameras 2022)

Työmaan kuvaamisessa kameran tärkeimpiä ominaisuuksia ovat korkearesoluutioisen 360°- kuvan lisäksi helppokäyttöisyys sekä kestävyys. Esimerkiksi työmaakerrokset on mahdollista järjestää ennalta kuvatun videon avulla etänä, mutta osassa kameroista on ominaisuus suoraan verkkolähetykseen (engl. livestream). Tämä mahdollistaa sen että, työmaata voidaan tarkastella interaktiivisesti lähetyksen katsojan sijainnista riippumatta. (360cameras 2022)

Kameralla kuvattavaa materiaalia on mahdollista hyödyntää rakentamisessa monipuolisesti. Esimerkkejä lukuisista käyttökohteista löytyy taulukosta kaksi.

Taulukko 2. 360°-kuvauksen hyödyntäminen hankkeen eri osa-alueilla (Turunen J. 2019)

<p><b>Perehdytys</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hätäpoistumisreittien esittäminen</li> <li>- Ajankohtainen tilannekuva työmaalta ja sen helppo jakaminen ja tarkastelu</li> <li>- Etäperehdytyksissä mahdollisuus tutustua työmaahan itsenäisesti</li> <li>- 360°-kuva, jossa työturvallisuusriskit annotaatioitu, osallistaa perehdytettäviä</li> </ul>
<p><b>Työturvallisuus</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Työtaturmapaikkaa kuvatessa mitään ei jää kuvaamatta</li> <li>- Kameralla mahdollista kuvata tiloja, joihin meno hankalaa tai vaarallista</li> <li>- 360°-kuva turvallisuusmittauksissa kattavampi kuin perinteinen suppea dokumentointi</li> </ul>
<p><b>Rakentamisen tukena</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Työmaan kehityksen esittäminen palavereissa, ”etätyömaakerrokset”</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suunnitellessa mahdollisuus tarkastaa asioita ilman työmaavierailua</li> <li>- Riitatilanteissa dokumentointi kattaa laajan alueen, ei ”kuolleita kulmia”</li> </ul>
<b>Yhteydenpidossa projektin eri osapuoliin</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kolmansien osapuolien kanssa kommunikointi videon välityksellä</li> <li>- Havainnollistava keino markkinoinnissa, mainostamisessa ja uutisoinnissa</li> </ul>

### 3.5 Työmaakamerat

Työmaakamera on yksinkertaisimmillaan rakennustyömaata kuvaava kamera, joka mahdollistaa työmaan tapahtumien tarkastelun. Työmaakameroilla voidaan seurata, dokumentoida ja markkinoida rakennuskohteita ja niiden työvaiheita koko rakennushankkeen ajan. Teknologian kehittyminen mahdollistaa työmaalta kuvatun materiaalin jakamisen verkon avulla käyttäjille. Näin rakentamisen yleiskuvaa voidaan tarkastella ilman työmaavierailuita. Edullisimmillaan työmaakamera voi olla esimerkiksi riistakamera. (Poutvaara T. 2017)

Kuvaa lähettäviä työmaakameroita on saatavilla monipuolisesti useilta yksityisiltä palveluntarjoajilta. Palvelut ovat pääsääntöisesti suunnattu rakennuttajille ja urakoitsijoille. Tyypillisesti kamerat toimivat matkapuhelinverkossa, jolloin kameran käyttämiseen työmaalla riittää vain kameran kiinnittäminen ja virran kytkeminen. Kameran asentamisen jälkeen se tuottaa palvelimelle valokuvia jatkuvasti koko projektin ajan. Yleensä kamerat asennetaan ottamaan kuvia kerran minuutissa. (SokoPRO 2018)

Työmaakameroilla koostettua aineistoa voidaan hyödyntää myös yrityksen sekä työmaan markkinoinnissa. Kun kamera pysyy samassa asemassa koko projektin ajan, valokuvista saadaan muodostettua Timelapse-video. Timelapse-videolla voidaan esittää ikään kuin pikakelattuna videona koko työmaan kulku ja havainnollistaa tärkeimmät hetket katsojalle. (Raksakamera 2022)

### 3.6 Kameravalvonnan lainsäädäntö

Työmaakameroilla valvontaa suorittaessa tulee ottaa huomioon lainsäädäntö. Laissa yksityisyyden suojasta työelämässä viidennessä luvussa kerrotaan videovalvonnasta seuraavasti: ”Työnantaja saa toteuttaa jatkuvasti kuvaa välittävän tai kuvaa tallentavan teknisen laitteen käyttöön perustuvaa valvontaa (kameravalvonta) käytössään olevissa tiloissa työntekijöiden ja muiden tiloissa oleskelevien henkilökohtaisen turvallisuuden varmistamiseksi, omaisuuden suojaamiseksi tai tuotantoprosessien asianmukaisen toiminnan valvomiseksi sekä turvallisuutta, omaisuutta tai tuotantoprosessia vaarantavien tilanteiden ennaltaehkäisemiseksi tai selvittämiseksi. Kameravalvontaa ei kuitenkaan saa käyttää tietyn työntekijän tai tiettyjen työntekijöiden tarkkailuun työpaikalla.” (Laki yksityisyyden suojasta työelämässä 13.8.2004/759).

Urakoitsijan tulee määrittää työmaakameroiden käyttötarkoitus. Vastuu kameravalvonnan lainmukaisuudesta on kuvauksen harjoittajalla. Turvallisuuden ja omaisuuden suojaaminen, rikosten ennalta ehkäiseminen sekä tapahtuneiden rikosten selvittäminen ovat hyviä perusteita kameravalvonnalle. (Minilex 2022)



## 4 MALLINTAMISESSA HYÖDYNNETTÄVÄT SEURANTA- JA DOKUMENTOINTIMENETELMÄT

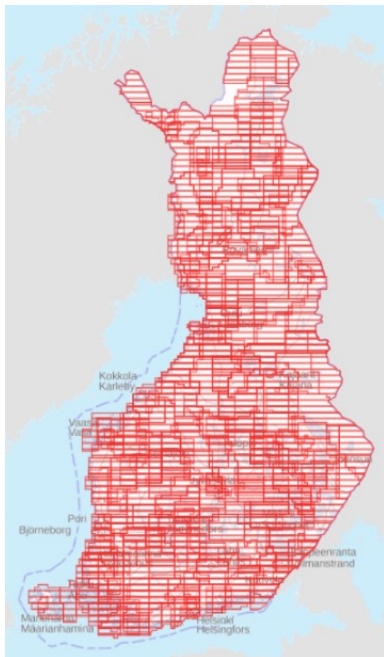
### 4.1 Laserkeilaus yleisesti

Laserkeilaus (englanniksi LiDAR eli Light Detection and Ranging) toimii samalla toimintaperiaatteella kuin yleisesti tunnetumpi tutka, mutta radioaaltojen sijaan valotutka hyödyntää valoaaltoja. (Elektroniikkalehti). Laserkeilain mittaa etäisyyden tiettyyn pisteeseen lähettämällä laservalopulssin ja mittaamalla kuinka kauan säteen takaisin heijastumisessa kestää (ToF, time-of-flight). Etäisyyden mittauksen lisäksi on tiedettävä mittalaitteen sijainti, kallistus sekä etäisyysmittauksen ulostulokulma. Kaikkien näiden tietojen perusteella voidaan selvittää yhden mittauspisteen koordinaattitieto. Yhden lähetetyn lasersäteen koko mitattavassa pinnassa ei ole kuitenkaan äärettömän pieni piste, vaan esimerkiksi ilmalaserkeilaus järjestelmissä laservalo valaisee noin 0,1–3,8 metrin alueen riippuen etäisyydestä. (Rönholm P. 2019).

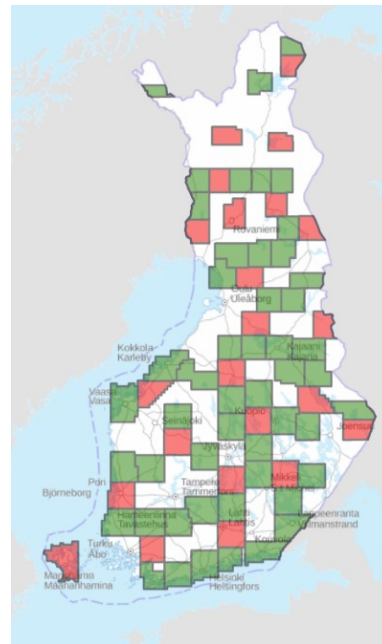
Laserkeilausaineisto koostuu pistepilvestä, jossa jokaisella pisteellä on x-, y- ja z-koordinaattitieto. Pistepilvi kuvaa maanpintaa ja maanpinnalla olevia kohteita kolmiulotteisesti. Laserkeilausaineistoa voidaan käyttää muun muassa maastomallien muodostamiseen. Aineisto ja siitä tuotettavat mallit soveltuvat esimerkiksi erilaisen rakennetun ympäristön kuvaukseen, kuten melumallinnukseen ja kaavoitukseen. Keilausaineistoa hyödynnetään myös luonnonympäristön muutoksia seurattaessa. (Maanmittauslaitos 2022b).

Maanmittauslaitos on kerännyt laserkeilausaineistoa vuodesta 2008 lähtien, ja vuonna 2019 koko Suomesta on saatavilla laserkeilausaineisto lukuun ottamatta pientä aluetta Inarin länsi puolella. Saatavilla olevan laserkeilausaineiston kattavuus Suomessa on esitetty kuvassa kaksi. 2008–2019 kuvattu aineisto (Laserkeilausaineisto 0,5p) on pistetiheydeltään eli tarkkuudeltaan 0,5 pistettä neliömetriltä. 2020 alkaneessa Kansallisessa laserkeilaus- ja ilmakuvausohjelmassa Suomi jaetaan alueisiin, jotka keilataan kuuden vuoden sykleissä. Ohjelmassa noudatetaan aikaisempaa suurempaa tarkkuutta, joka on viisi mittauspistettä neliömetriltä (Laserkeilausaineisto 5p). Laserkeilausaineisto 0,5p on Maanmittauslaitokselta kaikkien saatavissa olevaa avointa aineistoa, jonka saa käyttöönsä Maanmittauslaitoksen lisenssillä. Tarkemman

Laserkeilaus 5p-aineiston saa käyttöönsä maksullisella lisenssillä. Laserkeilausaineisto 5p-aineiston kattavuutta on esitetty kuvassa kolme. (Maanmittauslaitos 2022c).



Kuva 2. 2008–2019 Maanmittauslaitoksen laserkeilaamat 0,5p-alueet Suomessa (Maanmittauslaitos 2022d)



Kuva 3. 2020–2021 laserkeilatut Laserkeilausaineisto 5p-alueet vihreällä ja 2022 keilattavat alueet punaisella. (Maanmittauslaitos 2022d)

#### 4.2 Laserkeilaus rakennustyömaalla

Rakennustyömaan edistymisen seuranta vaatii säännöllisiä mittauksia, joten laserkeilausta hyödynnettäessä hankkeen organisaation tulee itse järjestää keilaukset. Jos hanke toimii mallipohjaisesti, laserkeilauksen avulla luotua toteutumamallia voidaan verrata suunnitelmamalliin. Laserkeilauksen hyödyntäminen infratyömaalla on kannattavaa, kun mitattava pinta-ala on laaja ja takymetri- ja GPS-mittaus olisi aikaa vievää tai kun mittaukset ovat toistuvia. Erityisen hyvin keilaus sopii pintojen ja tasojen dokumentointiin sekä seurantaan. Säännöllisellä keilauksella mahdollistetaan piiloon jäävien rakennepintojen tarkastelu jälkikäteen. (T. Pulkkinen 2021) Kun kohde on laserkeilattu, saadaan käyttöön mittatarkka pistepilviaineisto, 3D-malli sekä 360 astetta kattava valokuva-aineisto. Laserskanneri tyypillisesti valokuvaa ympäristönsä luotauksen yhteydessä. Näin vältetään aikaa vieviltä selvittely- sekä mallinnusvaiheilta, kun työmaalle ei enää tarvitse suorittaa tarkistusmittauskäyntejä. (P. Luokkala 2021)

Laserkeilauksella voidaan ehkäistä vahinkoja jo työmaan suunnitteluvaiheessa. Tiedot saadaan dokumentoitua heti tarkasti, ja tietoa on mahdollista jakaa saumattomasti urakoitsijan sekä muiden toimijoiden kesken. Maanalaisten laitteistojen tarkka sijainti ja syvyys on välittömästi hankkeen toteuttajien tiedossa esimerkiksi tieverkkoa tai uudisrakentamista suunnitellessa. (Maanmittauslaitos 2022e)

Laserkeilausta voidaan suorittaa useilla eri tekniikoilla, joista kohteeseen sopivin valitaan alueen ominaisuuksien perusteella. Tekniikan valintaan vaikuttavat esimerkiksi mitattavan pinta-alan laajuus ja maaston vaikeakulkuisuus. (T. Pulkkinen 2021)

Maalaserkeilaimia ovat kaikki jalustan päältä staattisesti luotaavat laitteet. Keilaimien käyttökohteita ovat teollisuus, rakentaminen ja maastonmittaus. (Heiska, N. 2010). Kuvassa neljä on esimerkki tyypillisestä maalaserkeilaimesta. Maan päältä suoritettussa keilauksessa on etuna ilmakuvaukseen verrattuna mahdollisuus kuvata huonommissa sääolosuhteissa kuten kovassa tuulessa ja sateessa. Maalaserkeilaus myös vaatii vähemmän kokemusta keilauksen suorittajalta kuin ilmalaserkeilaus. (Maanmittauslaitos 2022e)



Kuva 2. Maalaserkeilain kolmijalalla (Leica Geosystems 2022)

### **Mobiililaserkeilaus**

Mobiililaserkeilauksella tarkoitetaan laserkeilainta, joka on kiinnitetty johonkin helposti liikuteltavaan alustaan, kuten esimerkiksi droneen, ajoneuvoon, robottikoiraan tai reppuun. Kuvassa viisi esitellään erilaisia mobiililaserkeilauksessa hyödynnettäviä

laitteita. Dronejen avulla ilmalaserkeilattu aineisto on lentokoneella tehtyä aineistoa paljon tiheämpää. Tarkempi ja ajankohtainen aineisto helpottaa yksityiskohtien erottamista ja mahdollistaa pienienkin virheiden ja vaurioiden kartoittamisen. Lennokkikuvaus maanpäältä suoritettuun kuvaukseen verrattuna mahdollistaa pääsyn esteiden kuten aitojen, kaivausten ja rakenteiden taakse. Dronejen lintuperspektiivistä kuvaaman materiaalin katveeseen jäävät alueet voidaan täydentää maan pinnalla kulkevilla keilausmenetelmillä. (Maanmittauslaitos 2022e)

Erilaisiin ajoneuvoihin kiinnitetyillä keilaimilla saadaan kerättyä katu- ja ympäristönäkymiä vaadituilta alueilta. Mobiilikeilauksella saadaan kuvattua nopeasti muun muassa korttelin sisätilat, virkistysalueet, leikkikentät sekä puistot. Keilauksen perusteella saadaan tuotettua yksityiskohtaista tietoa kävelyteistä, käytävistä sekä niihin liittyvästä infrastruktuurista. Nykyaikaista laserkeilausta voidaan hyödyntää osana infrastruktuurin ylläpitoa. Esimerkiksi maanalaisten järjestelmien sijainti ja syvyys voidaan selvittää ilman, että työntekijän täytyy laskeutua kaivannon pohjalle. Näin saadaan lisättyä työturvallisuutta ja varmistetaan siitä, että yhdellä mittauskerralla saadaan kohteesta tarvittavat tiedot talteen. (Maanmittauslaitos 2022e)

Mobiililaserkeilauksella helpotetaan myös työmaan dokumentointia. Kun kolmiulotteiset tiedot tallennetaan ominaisuustietokantaan, saadaan niistä selville muun muassa asennuksen nykytila, teknisten komponenttien sijainti sekä varusteiden malli. Maanmittauslaitoksen artikkelissa Liikkuvalla laserkeilauksella huipputarkkaa tietoa kaupungeista todetaan: ”Liikkuva laserkeilaus voi siis auttaa meitä varmistamaan, että tärkeimmät infrastruktuurit toimivat oikein kaupungeissa. Sähkön ja veden saanti on turvattu, lämmitys toimii ilman käyttökatkoja, liikenne sujuu häiriöttä ja tietoliikenneyhteydetkin ovat kunnossa.” (Maanmittauslaitos 2022e)



Kuva 3. Mobiilikeilauksessa vain mielikuvitus on rajana. 1. Laserkeilausta kumiveneellä sekä dronella. (Maanmittauslaitos 2022f) 2. Spot-robottikoira skannerin alustana. (Wired 2020) 3. Leica Pegasus-laserkeilausreppu. (Scan survey 2022) 4. Laserkeilain lava-auton katolla. (Scan survey 2022)

### Kämmenlaserkeilaus

Kämmenlaserkeilain on kädessä kannettava pienikokoinen laite, joka mahdollistaa monipuolisesti erilaisten ympäristöjen laserkeilauksen. Esimerkki laitteesta on kuvassa kuusi. Erityisen hyvin laite sopii monimutkaisiin ympäristöihin, joita mitatessa saadaan paljon ominaisuustietoja. Laserkeilaukseen verrattuna mittausten suorittaminen perinteisillä menetelmillä on hitaampaa. (Geotrim 2022a). Keilain ei vaadi toimiakseen satelliittipaikannusta, jonka takia kämmenkeilainta hyödynnetään yleensä sisätiloissa kuten parkkihalleissa sekä tunneleissa ja kalliolouhoksissa. Helposti kuljetettavalla kämmenkeilaimella voidaan kartoittaa esimerkiksi pintoja ja seinälinjoja tai tarkkailla mahdollisia pinnan muutoksia kallioiloissa. Takymetriä ja tarkepisteitä hyödyntämällä voidaan varmistua keilaimen mittatarkkuudesta ja georeferoida kuvattu pistepilvi globaaliin koordinaatistoon. (T. Pulkkinen 2021)



Kuva 4. GeoSLAM käsiskanneri (Geotrim 2022a)

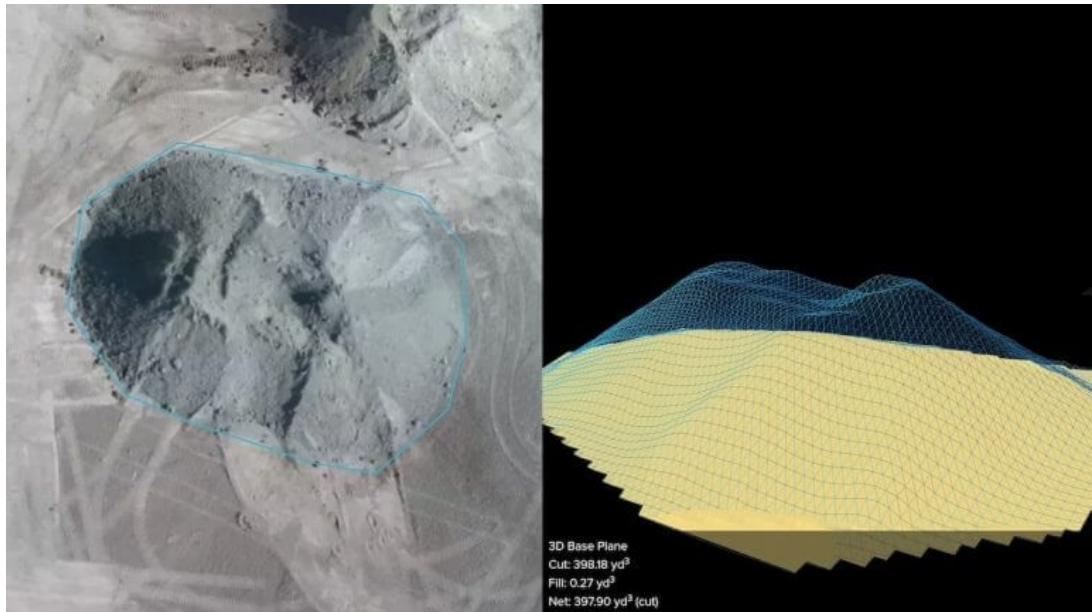
### 4.3 Fotogrammetria

Dronen avulla on mahdollista fotogrammetrisesti keilaamalla mitata maastoa senttien tarkkuudella. (NCC 2020) Fotogrammetriassa lennokin ottamaa valokuva-aineistoa käytetään apuna kartoituksessa. Menetelmä perustuu samojen pisteiden toistumiseen eri kuvissa. Tietokone vertailee pisteitä eri kuvakulmista, jotta pisteen sijainti saadaan määritettyä kolmiulotteisesti. Pisteistä muodostuu kuvatun alueen kattava pistepilvi, joka voidaan kolmioida suunnittelussa hyödynnettävän 3D-mallin aikaansaamiseksi. (A. Phan 2018, Autodesk)

Lopputuotteena saatava 3D-malli sisältää korkeustiedon lisäksi tekstuuri-, muoto- ja väritiedon kartan joka pisteestä. Saadut lisätiedot helpottavat mallin tulkitsemista. (G.Torres 2021. Wingtra)

Fotogrammetriaa on mahdollista hyödyntää rakennusalalla esimerkiksi maanrakennusvaiheessa massalaskentaan sekä töiden seurantaan ja suunnitteluun. Menetelmän avulla voidaan esimerkiksi kartoittaa ja todentaa maanrakentajan urakan jälkeen ilmoittamien määrien paikkansapitävyyttä. Kuvausmenetelmää hyödyntämällä

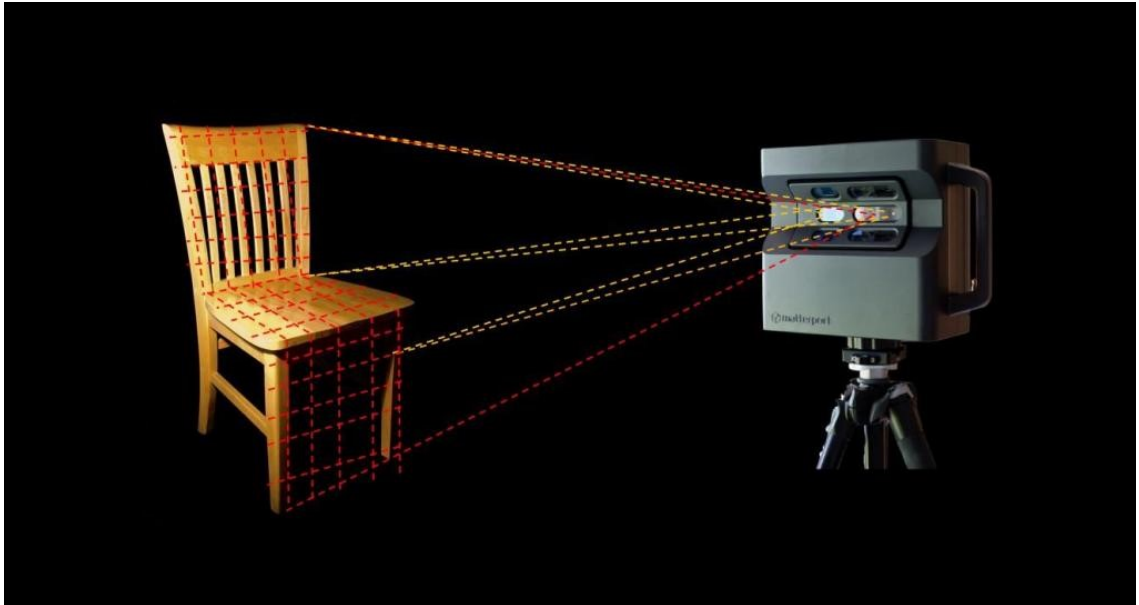
voidaan myös laskea varastoitujen massojen ja penkereiden tilavuuksia, kuten kuvassa seitsemän on tehty. (NCC 2020)



Kuva 5. Fotogrammetrian avulla voidaan laskea esimerkiksi varastoitujen massojen tilavuuksia. (G.Torres 2021. Wingtra)

#### 4.4 Matterport-syvyyskamera

Sisätiloja sekä maanalaisia tiloja on mahdollista mallintaa kolmiulotteisesti myös syvyyskameroiden avulla. Laserkeilauksen tavoin syvyyskameralla luodaan ympäristöstä pistepilvi, josta saadaan muodostettua pintamalli. Kamera lähettää valokuviota, joka mukautuu kohteen pinnan mukaisesti. Valokuvion muutosten pohjalta laite kykenee muodostamaan pistehavaintoja, joista lopulta muodostetaan aluetta kuvaava pistepilvi. Kuvausmenetelmän toimintaa on esitetty kuvassa kahdeksan. (A. Keitaanniemi, Geotrim 2022b)



Kuva 6. Matterport-syvyyskameran toimintaperiaate. Punaiset katkoviivat kuvastavat lähetettyä valokuvioita. (A. Keitaanniemi, Geotrim 2022b)

Syvyyskameran heikkoutena on ehdottomasti sen soveltumattomuus ulkokuvaukseen. Kameran heijastama valokuvio on samalla aallonpituudella auringonvalon kanssa. Kuvaus ulkona on kuitenkin mahdollista auringonlaskun jälkeen. Kämmenlaserkeilaimen verrattuna syvyyskameralla kuvaus on huomattavasti hitaampaa. Tilojen mallintamismenetelmää valittaessa tulee huomioida alueen ominaisuudet sekä tuotettavan aineiston käyttötarkoitus. (A. Keitaanniemi, Geotrim 2022b). Matterport Pro2 -syvyyskameran enimmäismittausetäisyydeksi valmistaja on ilmoittanut 4,5 metriä. (Matterport 2022).

Matterport-syvyyskameran etuna on kuitenkin menetelmän helppokäyttöisyys. Laserkeilaimen verrattuna Matterport toteuttaa pistepilven automaattisesti, kun taas laserkeilain vaatii tähän käyttäjältä apua. Syvyyskameraa käyttäessä käyttäjä lataa aineiston tablettilta Matterportin omaan pilvipalveluun, joka tuottaa aineiston valmiiksi automaattisesti ja lähettää käyttövalmiista aineistosta ilmoituksen käyttäjälle sähköpostiin. Pilvipalvelusta käyttäjä saa ladattua MatterPak-tiedoston, joka sisältää pistepilven värillisenä xyz-formaattina. (A. Keitaanniemi, Geotrim 2022b)

Matterportin tuottamaa materiaalia on mahdollista tarkastella myös valmistajan omassa pilvipalvelussa. Palvelussa käyttäjän katsottavissa on kuvattu kolmiulotteinen malli, jonka sisällä katsojan on mahdollista liikkua, suorittaa mittauksia sekä jättää merkintöjä. (Kameraliike.fi 2022)



Rakentamisessa mallinnuksen tukena syvyyskameroita hyödynnetään suunnittelun apuna. Kuvaustapa mahdollistaa mittausten tekemisen mallista ja vähentää näin tarkastuskäyntien määrää. Kameraa voidaan hyödyntää esimerkiksi raudoitusten, putkilinjastojen sekä pumppaamoiden dokumentoinnissa sekä suljettujen tilojen mallintamisen pohjana. (Geotrim 2022c)

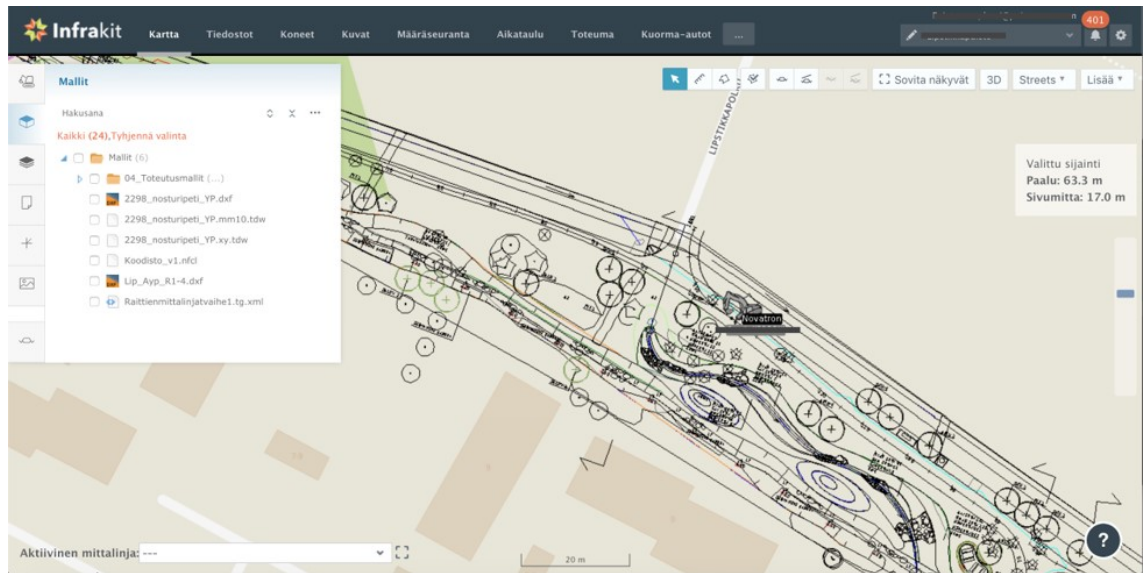


Kuva 7. Matterport-kameralla tuotettu kuva lattialämmityspotkien asennuksen jälkeen (Geotrim 2022c)

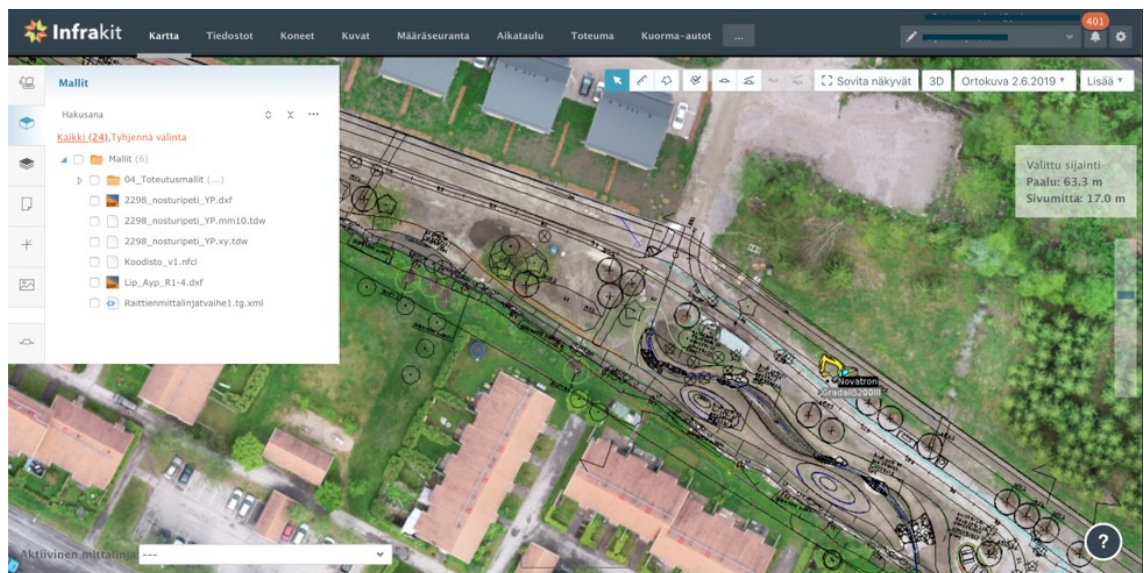
#### 4.5 Infrakit

Infrakit on tiedonhallintajärjestelmä, joka mahdollistaa työmaan reaaliaikaisen seurannan etänä. Ohjelmassa rakennustyömaan suunnitelma- ja paikkatiedot ovat käyttäjän saatavilla selkeästi visuaalisesti kartalla ja 3D-näkymässä. Palvelu mahdollistaa drone-, suunnittelu- sekä paikkatietojen tarkastelun samassa näkymässä. Projektin työryhmä sekä muut sidosryhmät voivat vastaanottaa ja jakaa tietoa hankkeen

laadusta ja edistymisestä. (Infrakit 2022a) Kuvissa 10 ja 11 kuvataan mitä kaikkea karttanäkymässä on mahdollista esittää. Ajantasaisen ortokuvan käyttö taustakarttana havainnollistaa käyttäjälle, mistä alueesta on kyse ja mikä on rakentamisen tilanne.



Kuva 8. Kuvakaappaus Infrakit-sovelluksesta. Toteumamalli, pohjakartta ja työkonen paikkatieto ovat kaikki samassa näkymässä. Kuvassa näkyy myös työkonen esitystapa palvelussa. Koneiden sijaintia on mahdollista seurata reaaliaikaisesti (Pointscene. 2020)



Kuva 9. Saman alueen kuvakaappaus Infrakit-sovelluksesta. Kuvassa Dronella otettu ortokuva toimii toteutusmallin taustakarttana. Ortokuva helpottaa toteutusmallin ja suunnitelmien hahmottamista. (Pointscene. 2020)

Laatuasiakirjojen ja muun luovutusaineistoa varten kasattavan datan kerääminen ja tallentaminen onnistuu Infrakitilla työmaalta. Työkoneilla sekä muilla kenttälaitteilla saadaan laadittua toteumamittauksia, valokuvia sekä PDF-raportteja. (Infrakit 2022a). Infrakit on riippumaton laitteisto, joten se voidaan liittää mihin tahansa hankkeessa käytössä olevaan konevalvontajärjestelmien jakelijaan. Tämä mahdollistaa useiden eri tuotevalmistajien ohjelmien käyttämisen työmaalla samanaikaisesti taaten samalla jatkuvan tiedonkeruun. (Infrakit käyttöopas). Palvelun avulla toteutusmallit ja koneohjausaineisto voidaan siirtää suoraan työkoneisiin, jonka lisäksi Infrakit kerää työkoneista automaattisesti toteumatietoa. Jatkuva tiedon keruu mahdollistaa hankkeen etenemisen aikataulutuksen seurannan. (3D-KOPPI 2022)

Infrakit mahdollistaa koneohjausmallien ja niiden toimivuuden tarkastamisen sovelluksessa. (3D-KOPPI 2022). Koneohjaukseen tuotetut kolmiulotteiset suunnitelmat on mahdollista visualisoida mobiililaitteilla. Tällä tavoin kaikilla projektin toteuttajilla kuten asentajilla, työnjohtajilla, mittamiehillä sekä valvojilla on käytössään ajantasaiset mallit työn helpottamiseksi. (D. Rathore, Infrakit 2022b) Poikkileikkaustyökalun avulla toteutusaineistosta voidaan tuottaa poikkileikkauskuva halutusta kohdasta mallia. (3D-KOPPI 2022)

Infrakit lisää työmaan tehokkuutta mahdollistamalla pääsyn selkeästi hallittuun digitaaliseen projektitietoon ja välittämällä reaaliaikaista tilannekuvaa projektista. Palvelun avulla voidaan vähentää paperitulosteiden määrää, kun ajantasaiset suunnitelmat ovat saatavilla mobiililaitteisiin ajasta ja paikasta riippumatta. Ohjelman hyödyntämä paikkatietopohjainen tiedonhallinta mahdollistaa nopean pääsyn tiedostoihin, jotka sijoittuvat lähelle käyttäjän sijaintia. Työmaalta valokuvia lisätessä kuviin saadaan kommentoitua tarkentava selite. Paikkatiedolla varustetut valokuvat ovat helposti löydettävissä jälkikäteen, kun niitä tarvitaan esimerkiksi projektikokouksissa tai luovutusaineistoa kasatessa. Valokuvien kansioinnissa yleisenä ongelmana on, että valokuvia ei nimetä, joten niiden hakeminen tyypillisestä kansiorakenteesta on hankalaa. (D. Rathore, Infrakit 2022b)

Ohjelma mahdollistaa eri suunnittelualojen mallien tarkastelun yhdistelmämallina. Yhdistelmämallin avulla Infrakitissä lopputuotetta voidaan tarkastella, havainnoida ja ratkaista ongelmia ennen rakentamisen alkamista. Yhdistelmämallissa saadaan tarkastettua suunnitelmien yhteensopivuus eli tehtyä törmäystarkastelua. (Infrakit 2022a) Infrakitin hyötyjä rakennusprosessin aikana on esitelty taulukossa kolme.

Taulukko 3. Infrakitin hyödyt rakennusprosessin aikana eri toimijoille (Infrakit käyttöopas)

<p><b>Suunnittelijat</b></p>	<p>Mahdollistaa tietomallipohjaisen aineiston:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Varastoinnin</li> <li>- Havainnollistamisen</li> <li>- Hallinnoinnin</li> <li>- Jakamisen</li> </ul>
<p><b>Urakoitsijat</b></p>	<p>Apuna raportoinnissa ja tiedonkeruussa monipuolisesti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Varastoi kuvia, raportteja sekä huomautuksia</li> <li>- Jakaa aineiston kaikille toimijoille</li> <li>- Raportoii mahdolliset suunnitteluvirheet</li> </ul> <p>Näyttää taustakartat ja suunnitelmat mobiili- ja tabletilaitteilla yhdessä käyttäjän ketjutuspaikan kanssa.</p> <p>Työkoneiden seuranta työmaalla:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Raportoii koneen käytöstä, työhistoriasta ja tehokkuudesta</li> <li>- Ylläpitää valvontajärjestelmän työtiedostoja ja kalibrointia</li> </ul> <p>Koneohjausmallien tarkastelu ja langaton jakaminen</p>
<p><b>Tilaaajat ja konsultit</b></p>	<p>Tilaaajan mahdollisuus seurata esisuunnittelua, suunnitteluprosessia ja työn toteutusta työmaalla reaaliaikaisesti.</p> <p>Laatudokumentaation seuranta etänä</p> <p>Suunnitelmien laatua voidaan monitoroida</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Työmaa muuttuu läpinäkyväksi</li> </ul> <p>Mallipohjainen laadunvalvonta.</p>

- |  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Laadunvalvonnan mittaukset näkyvät kartalla ja ovat verrattavissa pintamalleihin.</li></ul> Poikkeamien ylitykset korostetaan. |
|--|--|

#### 4.6 Trimble SiteVision

Trimble SiteVision on ohjelma, jonka avulla voidaan tarkastella tietomallien sijoittumista tilaan. Puhelin ja siihen kiinnitetty GNSS-vastaanotin muodostavat järjestelmän, joilla virtuaalinäkymä sijoitetaan luontoon. SiteVision siis lisää kännykän takakameran kautta saatavan livekuvan päälle valitun 3D-datan, kuten esimerkiksi tietomallin, jotta digitaaliset suunnitelmat ovat nähtävissä osana käytäntöä. Kuvassa 12 on GNSS-vastaanotin ja siihen kytketty puhelin. Ohjelma hyödyntää satelliittipaikannusta, jonka avulla käyttäjän sijainti ja laitteen suunta saadaan selvitettyä. Tällä tavoin malli saadaan georeferoitua eli sijoitettua oikeisiin koordinaatteihin senttimetrien tarkkuudella, joka mahdollistaa kohteen tarkastelun lisättyä todellisuutena (Augmented Reality, lyh. AR). Ohjelma toimii Trimblen suunnitteluohjelmien kanssa sekä yleisimpien avoimien tiedonsiirtoformaattien kanssa mukaan lukien SKP-, VCL-, TTM-, TRB-, IFC-, LandXML-, DWG-, SHP-, Geodatabase- ja PNG-tiedostot. Tämä mahdollistaa ohjelman hyödyntämisen suunnitteluohjelmasta huolimatta. (Trimble 2022). Kuvassa 13 sovelluksessa on esillä toteutusmalli ja taustalla näkyy alueella jo olemassa olevaa infrastruktuuria.



Kuva 10. Trimble Catalyst™-vastaanotin kytkettynä matkapuhelimeen (Geotrim 2022d)

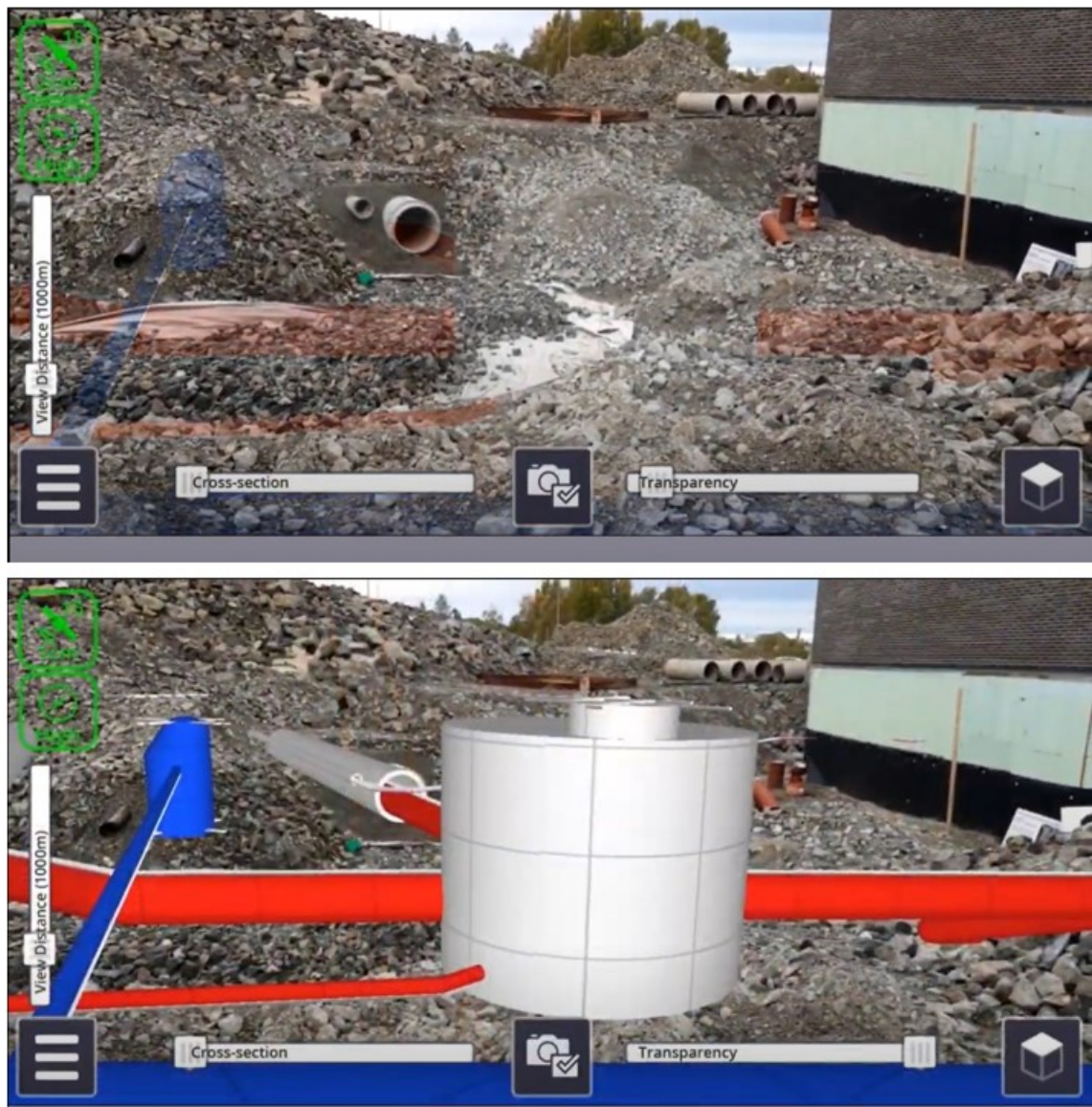


Kuva 11. Näyttökaappaus Trimble SiteVision -sovelluksesta (Trimble 2022)

Järjestelmää on mahdollista hyödyntää monipuolisesti infratyömaalla hankkeen aikana. Käytäntöön tuodusta mallista voidaan tarkistaa työmaa-alueen rajat. Kun rakenteet on mallinnettu ja mallit voidaan sijoittaa mittatarkasti ympäristöön, maanalaiset ja seinien sisään jääneet rakenteet voidaan paikantaa. Tämä mahdollistaa esimerkiksi varusteiden

ja pohjarakenteiden huomioimisen ja törmäystarkastelun ennen rakennustöiden aloittamista. Törmäystarkastelua ja suunnitelmien vaikutusten arviointia alueen ympäristöön on havainnollisempaa tehdä kohteesta käsin visuaalisesti. Myös valmiin toteumamallin paikkansapitävyyttä voidaan tarkastella sijoittamalla luotu malli käytäntöön ja vertaamalla yhteneväisyyttä. (Trimble SiteVision 2020)

Laitteiston visuaalisuuden vuoksi sitä voidaan hyödyntää osana perehdytyksiä sekä apukeinona työmaalla vähemmän vieraileville. Mallien esittäminen käytännössä antaa työmaalla olevalle selkeän käsityksen siitä, mitä alueelle on suunniteltu. Mallien läpinäkyvyyttä (transparency) on mahdollista säätää liukusäätimellä, jotta kokonaisuus on helpompi hahmottaa. Käyttäjä saa myös helposti liukusäätimen avulla luotua mallista poikkileikkauksen halutulta etäisyydeltä, jolloin esimerkiksi suunnitellun tien rakennekerroksia on helpompi tarkastella. (Trimble SiteVision 2020). Kuvassa 14 havainnollistetaan ohjelman toimintaa käytännössä. Ylempänä malli on liki läpinäkyvä ja katsoja näkee työmaan nykykunnan. Alempana tietomalli on voimakkaasti esillä ja käyttäjä voi nähdä maan sisällä kulkevan betonisen rumpuputken sekä rakenteilla olevat varusteet.



Kuva 12. Suunniteltujen kokonaisuuksien hahmottaminen helpottuu järjestelmää käyttämällä (Trimble SiteVision 2020)

EDM-toimintoa (Electronic Distance Measurement, elektroninen etäisyysmittaus) hyödyntämällä käyttäjän on mahdollista tehdä mittauksia ja merkintöjä tietomalliin maastossa. Mittauksia voidaan suorittaa etäämpää esimerkiksi autotien toiselta puolelta mittaustuloksen laatua heikentämättä. Käytännössä laitteen näytöllä olevalla hiusristikolla osoitetaan haluttua kohtaa maastossa ja ohjelma laskee tallennettujen pisteiden etäisyyksiä. Pisteiden sijaintitietojen avulla voidaan muun muassa laskea etäisyyksiä, pinta-aloja ja korkeuseroja. Menetelmällä esimerkiksi kaivannon pohjalla olevan putken sijainnin tarkemittaus onnistuu kaivantoon itse laskeutumatta. EDM:n



avulla maanpinnan korkeutta voidaan seurata ja verrata tietomalliin sekä tasaisilla että luiskatuilla pinnoilla. (Trimble 2020a)

SiteVision helpottaa kommunikointia työmaan ja toimiston välillä. Ohjelmalla saadaan Infrakitin tavoin otettua kuvia, joihin on tarkkojen sijaintitietojen lisäksi mahdollista lisätä muistiinpanoja. Näyttöä langattomasti jakamalla SiteVision toimii työkaluna, jolla voidaan esittää mallinnettujen suunnitelmien sijoittumista käytäntöön livekuvana esimerkiksi kun:

- halutaan helpottaa näkymän esittämistä useille katsojille
- näkymä jaetaan työmaalta työmaatoimistoon
- näkymä jaetaan sidosryhmille työmaan ulkopuolelle. (Trimble 2020b)

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tietomallien hyödyntäminen osana rakentamista on yleistynyt ja Väylävirasto sekä suuret kaupungit edellyttävät suunnittelu- ja toteutushankkeista mallipohjaista luovutusaineistoa. Se, että tietomalleja kannustetaan käyttämään osana rakentamista, mahdollistaa siirtymisen tehokkaaseen ja yksityiskohtaisesti dokumentoituun rakentamiseen. Kun toteumamalliin saadaan kasattua rakennepintoja useilla eri skannausmenetelmillä ja työkoneilla työn ohessa, on aineiston kasaaminen helppoa. Tietomalleja voidaan jo nyt hyödyntää monipuolisesti työmaalla ja sen ulkopuolella, mutta uusi teknologia lisää tietomalleille jatkuvasti uusia käyttötarkoituksia ja tuo tietomallit suunnittelutoimistosta työmaalle.

Mallien hyödyntäminen työmaalla voidaan nähdä positiivisena asiana visuaalisuutensa vuoksi. Kolmiulotteinen malli mahdollistaa kohteen tarkastelun monipuolisesti eri suunnista sekä rakentamisen aikana että kunnossapidon jo alettua. Lisäksi mahdollisuus mittauksen suorittamiseen, poikkileikkausten tekemiseen ja törmäystarkasteluun antaa huomattavan edun paperisuunnitelmiin verrattuna. Ortokuvien käyttö taustakarttana sekä 360°-kuvien hyödyntäminen mallintamisen tukena helpottavat kokonaisuuksien hahmottamista. Kuvauksilla aikaansaadaan kattava dokumentaatio työmaan tilasta kuvaushetkellä, jonka lisäksi 360°-kuvaus ja laserkeilaus mahdollistavat työmaalla uudelleenvierailun etänä, jos jotain on jäänyt tarkistamatta. 360°-kuvausta tulisi hyödyntää työmailla enemmän, sillä perinteisesti valokuvaamalla jotain jää yleensä kuvaamatta.

Digitaalisten mallien lisääminen näkökenttään tulee lisäämään mallien käyttöä rakentamisessa monipuolisesti, ja toimii jo nyt erinomaisena keinona suunnitelmien havainnollistamisessa hankkeeseen perehdyttäessä. SiteVisionin lisätyn todellisuuden (AR) lisäksi Trimble on tuonut markkinoille yhdistetyn todellisuuden (MR, Mixed Reality). Tulevaisuudessa työmaakierroksella on siis mahdollista tarkastella työmaata Hololens-lasien läpi niin, että työmaa ja digitaaliset mallit ovat nähtävissä yhtä aikaa. Työkoneohjausjärjestelmät hyödyntävät tietomalleista erotettavia rakennepintoja rakentamisen tukena tehokkaasti jo nyt, mutta yksittäisille rakennusmiehille tietomallit eivät vielä ole tulleet osaksi arkea.

Maanmittauslaitoksen artikkelissa (Maanmittauslaitos 2022e) todetaan: ”Kolmiulotteisen tiedon määrä tulee kasvamaan valtavasti tällä vuosikymmenellä. Tietoa hankitaan ja

käytetään yhä enemmän automaattisesti. Se vaikuttaa yhä enemmän myös meidän jokapäiväiseen elämäämme. Tässä muutoksessa liikkuvalla laserkeilauksella on paikkansa.”

Kolmiulotteista tietoa tullaan tulevaisuudessa keräämään jatkuvasti enemmän ja tiedon kerääminen tulee helpottumaan. Osassa uusimmista puhelimista löytyy jo LiDAR-skanneri eli laserkeilain, joka mahdollistaa kolmiulotteisen tiedon keräämisen. Kyseisillä puhelimilla on mahdollista luoda yksinkertaisia pintamalleja ja ottaa valokuvia, joista on mahdollista suorittaa mittauksia. Tiedonsiirron nopeutuessa ja tallennustilan lisääntyessä ei ole syytä, miksi tulevaisuudessa esimerkiksi puhelimilla luotavat mallit jossain muodossa eivät syrjäyttäisi valokuvia työmaan tapahtumia dokumentoidessa. Puhelimella otettuja malleja voitaisiin esimerkiksi tallentaa liitteenä osaksi poikkeamaraportteja tai helpottaa viestimistä urakoitsijan ja suunnittelijoiden välillä.

Työmaan tilanteen tarkastelussa voidaan käyttää apuna erinäköisiä valokuvaukseen perustuvia keinoja. Kun työmaalta saatava tieto on säännöllisesti päivittyvää ja laadukasta, voidaan kustannustehokkaasti seurata työmaan etenemistä. Sopiva kuvaukseen perustuva menetelmä tulee valita rakennuskohteen erityisominaisuuksien mukaan. Yleensä työmaata seuraava saa sitä tarkemman tilannetiedon mitä useammasta tietolähteestä tietoa on saatavilla. Mahdollisuus työmaan tarkasteluun etänä säästää aikaa ja lisää työturvallisuutta. Valvonnan helpottuminen vaikuttaa työturvallisuuteen, kun voidaan varmistua siitä, että työmaalla on turvallinen työympäristö. Vaarallisiin paikkoihin ei tarvitse mennä itse vaan apuna voidaan käyttää 360 °-kameraa, keilainta tai dronea. Koronan aiheuttaman poikkeustilan aikana työmailla on suoritettu 360°-kameralla etätyömaakäyntejä, ja projektissa mukana olevat ovat vierailleet työmaalla turvallisesti ja tehokkaasti etänä. Menetelmän avulla mahdollistetaan kaikkien halukkaiden pääsy työmaalle sijainnista riippumatta.

Opinnäytetyötä tehdessä kävi ilmi, että rakennusalalla kuvauksessa käytettävistä laitteista on hankala saada yksityiskohtaista tietoa, sillä todella moni laitteista on osa jotain kaupallista palvelua. Alan pienten tekijöiden tulisi miettiä, kannattaisiko rakennustyömaan kuvaus, kartoitus tai työmaakamerat hankkia kolmannelta osapuolelta, joka hoitaa laitteiston ylläpidon ja muokkaa datan työmaalle käyttövalmiiksi. Palvelut pienentävät yksittäisiä hankintakustannuksia ja tarjoavat urakoitsijalle mahdollisuuden kokeilla uutta teknologiaa työmaalla. Kun palvelu hankitaan kolmannelta osapuolelta, voi urakoitsija keskittyä rakentamiseen mutta kuitenkin nauttia digitalisaation aikaansaamista hyödyistä. Myös kynnys rakennusalalla uuden

teknologian kokeilemiseen pienenee, jos joku muu hoitaa laitteistot käyttökuntoon. Teknologia voidaan kokea kuormittavana, jos käyttäjällä ei ole riittäviä taitoja sen käyttämiseen. Teknologian käyttö on kuitenkin lisääntynyt arjessa paljon, joten tulevaisuudessa käyttäjät todennäköisesti omaksuvat uudet menetelmät helpommin.

# LÄHTEET

Osa 13. Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012.  
Viitattu 17.1.2022 [buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_13\\_rakentaminen.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_13_rakentaminen.pdf)

Vuori M. 2010. 125 pointtia dokumentoinnista  
Viitattu 27.4.2022 [www.mattivuori.net/julkaisuluettelo/liitteet/satavartti\\_pointtia\\_dokumentoinnista.pdf](http://www.mattivuori.net/julkaisuluettelo/liitteet/satavartti_pointtia_dokumentoinnista.pdf)

Digitaalinen Helsinki 2022. Mitä digitalisaatio tarkoittaa?  
Viitattu 27.4.2022 [digi.hel.fi/esittely/mika-digi/](https://digi.hel.fi/esittely/mika-digi/)

Väylävirasto 2020. Mikä on tietomalli?  
Viitattu 17.1.2022 [vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli](https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli)

Serén K. 2014. InfraBIM-sanasto  
Viitattu 27.2.2022 [buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2013/10/InfraBIM\\_Sanasto\\_0-7.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2013/10/InfraBIM_Sanasto_0-7.pdf)

Liikennevirasto 2014. Siltojen tietomalliohje  
Viitattu 27.2.2022 [julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2014-06\\_siltojen\\_tietomalliohje\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-06_siltojen_tietomalliohje_web.pdf)

Novatron 2022. 3D-win perusohjelma  
Viitattu 21.4.2022 <https://3d-system.fi/ohjelmisto/>

3D-Win Maastomalliohje 65. Versio 6.8  
Viitattu 21.4.2022

Traficom. Droneinfo 2021. Drone ja sen toiminnot.  
<https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/drone-ja-sen-toiminnot-miehittamattomien-ilma-alusjarjestelmien-yleistuntemus> Viitattu 17.1.2022

RakentajaPRO 2021. Drone lentää yhä useamman työmaan yläpuolella: 3D-malli voi paljastaa työmaan etenemisen ongelmat.  
Viitattu 31.1.2022 [https://www.rakentaja.fi/pro/artikkelit/17839/pro\\_dronet\\_rakentamisessa.htm](https://www.rakentaja.fi/pro/artikkelit/17839/pro_dronet_rakentamisessa.htm)

NCC 2020. Dronejen käyttöä sovelletaan ja kehitetään nyt ahkerasti palvelemaan työmaan tarpeita  
Viitattu 10.3.2022 [ncc.fi/media/ajankohtaista/dronejen-kayttoa-sovelletaan-ja-kehitetaan-nyt-ahkerasti-palvelemaan-tyomaan-tarpeita/](https://ncc.fi/media/ajankohtaista/dronejen-kayttoa-sovelletaan-ja-kehitetaan-nyt-ahkerasti-palvelemaan-tyomaan-tarpeita/)

Rönholm P. 2019. Geoinformation in Environmental Modeling, Luento 4b: Laserkeilaus  
Viitattu 31.1.2022. [https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/898346/mod\\_resource/content/2/L4b\\_laserkeilaus\\_2019.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/898346/mod_resource/content/2/L4b_laserkeilaus_2019.pdf)

Poutvaara T. 2017 Työmaaseuranta yleistyy  
Viitattu 20.4.2022 <https://www.poutvaara.fi/Kirjoitettua/index>

SokoPRO 2018. Työmaakamera taltioi rakennusprojektin etenemisen  
Viitattu 20.4.2022 <https://www.sokopro.com/708/>

Raksakamera 2022. Avaa ikkuna työmaallesi.  
Viitattu 20.4.2022 <https://www.raksakamera.fi/site/index.html#top>

Finlex. 2022

Viitattu 2.2.2022 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20040759#L5P16>

Minilex 2022. Rikoslaki ja kameravalvonta

Viitattu 19.4.2022 <https://www.minilex.fi/a/rikoslaki-ja-kameravalvonta>

Maanmittauslaitos 2022a. Korkeusmallit

Viitattu 13.3.2022 <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/korkeusmallit>

Maanmittauslaitos 2022b. Tuotekuvaukset

Viitattu 31.1.2022 <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset>

Maanmittauslaitos 2022c. Näin hankit laserkeilausaineistoja

Viitattu 2.2.2022 <https://www.maanmittauslaitos.fi/laserkeilausaineistot/>

Maanmittauslaitos 2022d. Laserkeilaus ja ilmakuvaus

Viitattu 31.1.2022 [www.maanmittauslaitos.fi/laserkeilaus-ja-ilmakuvaus](http://www.maanmittauslaitos.fi/laserkeilaus-ja-ilmakuvaus)

Maanmittauslaitos 2022e. Kukko A., Kaartinen H., Hyyppä H. Liikuvalla laserkeilauksella huipputarkkaa tietoa kaupungeista

<https://www.maanmittauslaitos.fi/tietoa-maanmittauslaitoksesta/organisaatio/lehdet-ja-julkaisut/positio/liikuvalla-laserkeilauksella-huipputarkkaa-tietoa-kaupungeista>

360cameras 2022. What's the Best 360 Camera for The Construction Industry?

Viitattu 15.4.2022 <https://www.threesixtycameras.com/whats-the-best-360-camera-for-the-construction-industry/>

Turunen J. 2019 Mestarityö. 360-videon ja LiveSYNC:in hyödyntäminen rakennusalalla

Viitattu 15.4.2022 [www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/262340/Turunen\\_Julius.docx.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/262340/Turunen_Julius.docx.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Leica Geosystems 2022. Leica ScanStation

Valokuva: [leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-p40--p30](http://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-p40--p30)

Wired 2020. Boston Dynamics' Robots Won't Take Our Jobs ... Yet

Valokuva: [www.wired.com/story/get-wired-podcast-14-boston-dynamics/](http://www.wired.com/story/get-wired-podcast-14-boston-dynamics/)

Maanmittauslaitos 2022f. Liikkuva kartoitus ja laserkeilaus

Valokuva: [www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/liikkuva-kartoitus-ja-laserkeilaus](http://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/liikkuva-kartoitus-ja-laserkeilaus)

Scan survey 2022. Among the First

Valokuva: [www.scansurvey.no/en/services/mobile-mapping/](http://www.scansurvey.no/en/services/mobile-mapping/)

Geotrim 2022a GeoSLAM käsiskannerit

Viitattu 24.3.2022 [geotrim.fi/tuotteet/laserkeilaus/kasiskannerit/](http://geotrim.fi/tuotteet/laserkeilaus/kasiskannerit/)

Pulkkinen T. 2021. AFRY: Laserkeilaus infrahankkeessa. Julkaistu 23.9.2021

Viitattu 22.3.2022 YouTube video, [www.youtube.com/watch?v=w-aXGgV0ZPK](http://www.youtube.com/watch?v=w-aXGgV0ZPK)

Heiska, N. 2010 Maalaserkeilaimet ovat kehittyneet geodeettisiksi mittauslaitteiksi.

Viitattu 24.3.2022 [maankaytto.fi/arkisto/mk410/mk410\\_1415\\_heiska.pdf](http://maankaytto.fi/arkisto/mk410/mk410_1415_heiska.pdf)

Autodesk, Annie Phan 2018. 4 Reality Capture Technologies

Viitattu 11.4.2022 [bim360resources.autodesk.com/connect-construct/4-reality-capture-technologies-construction-managers-need-to-know](http://bim360resources.autodesk.com/connect-construct/4-reality-capture-technologies-construction-managers-need-to-know)

Wingtra, Gabriel Torres 2021. Drone photogrammetry vs. LIDAR

Viitattu 10.4.2022 [wingtra.com/drone-photogrammetry-vs-lidar/](http://wingtra.com/drone-photogrammetry-vs-lidar/)

PwC. 2017 Clarity from above: transport infrastructure

Viitattu 9.4.2022 [pwc.com/gr/en/publications/assets/clarity-from-above-transport-infrastructure.pdf](http://pwc.com/gr/en/publications/assets/clarity-from-above-transport-infrastructure.pdf)

P. Luukkala 2021. Rejlers. Laserkeilaus mahdollistaa tehokkaan ja nopean tietojen hankinnan

Viitattu 11.4.2022 <https://www.rejlersindustry.fi/blog/laserkeilaus-mahdollistaa-tehokkaan-ja-nopean-tietojen-hankinnan/>

Geotrim 2022b, Aino Keitaanniemi. (Syvyyskamera vs. laserkeilain)

Viitattu 12.4.2022 [geotrim.fi/yritys/blogi/blog-tima/mika-erottaa-laserkeilaimen-syvyyskamerasta/](http://geotrim.fi/yritys/blogi/blog-tima/mika-erottaa-laserkeilaimen-syvyyskamerasta/)

Matterport 2022. Pro2 3D Camera

Viitattu 13.4.2022 [matterport.com/cameras/pro2-3D-camera](http://matterport.com/cameras/pro2-3D-camera)

Geotrim 2022c. (Syvyyskamera) Aino Keitaanniemi. Työmaadokumentointi ilman suurta kuvakansiota

Viitattu 16.4.2022 [3d-malli.fi/tyomaadokumentointi-ilman-suurta-kuvakansiota/](http://3d-malli.fi/tyomaadokumentointi-ilman-suurta-kuvakansiota/)

Kameraliike.fi 2022. Matterport Pro2

Viitattu 16.4.2022 [kameraliike.fi/fi/product/matterport-pro2-3d-kamera/11611](http://kameraliike.fi/fi/product/matterport-pro2-3d-kamera/11611)

Infrakit 2022a. Contractor – Supercharge your construction

Viitattu 18.4.2022 [infrakit.com/product/contractor/](http://infrakit.com/product/contractor/)

Infrakit 2022b. Damyanti Rathore. 2022. Infrakit enabling worksite efficiency

Viitattu 17.4.2022 [infrakit.com/infrakit-enabling-worksite-efficiency-watch-the-video/](http://infrakit.com/infrakit-enabling-worksite-efficiency-watch-the-video/)

Pointscene. 2020. Drone Mapping in Infra Construction – Extending Infrakit with Pointscene

Viitattu 18.4.2022 [pointscene.com/extending-infrakit-with-pointscene/](http://pointscene.com/extending-infrakit-with-pointscene/)

3D-KOPPI 2022. Infrakit -palvelu

Viitattu 18.4.2022 [3dkoppi.fi/infrakit-palvelu/](http://3dkoppi.fi/infrakit-palvelu/)

Infrakit käyttöopas. Infrakit\_manual\_109\_fi

Viitattu 18.4.2022 [s3-eu-west-1.amazonaws.com/infrakit.com/manual/Infrakit\\_manual\\_109\\_fi.pdf](https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/infrakit.com/manual/Infrakit_manual_109_fi.pdf)

Trimble 2022. Bring geospatial data to life

Viitattu 25.4.2022 [sitevision.trimble.com/surveying-and-mapping/](http://sitevision.trimble.com/surveying-and-mapping/)

Geotrim. 2022d. Augmentoitu todellisuus mahdollistaa näkemään piilossa olevia asioita

Viitattu 25.4.2022 [geotrim.fi/tuotteet/gnss/gnss-kammenlaitteet/trimble-sitevision/](http://geotrim.fi/tuotteet/gnss/gnss-kammenlaitteet/trimble-sitevision/)

Trimble SiteVision 2020. Trimble SiteVision for Civil Construction Version 2.0. Julkaistu 25.6.2020

Viitattu 25.4.2022 YouTube video: <https://www.youtube.com/watch?v=taLnzffDJT8&t=50s>

Trimble 2020a. 8 Must-have Features You Need in a Construction AR Solution

<https://sitevision.trimble.com/blog/8-must-have-features-you-need-in-a-construction-ar-solution/>

Trimble 2020b. Sharing your screen with Trimble SiteVision

Viitattu 22.4.2022 [sitevision.trimble.com/blog/sharing-your-screen-with-trimble-sitevision/](http://sitevision.trimble.com/blog/sharing-your-screen-with-trimble-sitevision/)