Tampereen yliopisto

Leevi Nevala

FOTOGRAMMETRIAN HYÖDYNTÄMINEN SUUNNITTELUN OHJAUKSESSA JA TYÖMAAVALVONNASSA

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastaja: Taija Puolitaival
Joulukuu 2023

TIIVISTELMÄ

Leevi Nevala: Fotogrammetrian hyödyntäminen suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa. (Utilization of photogrammetry in design management and construction site supervision)
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan tekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Joulukuu 2023

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan fotogrammetrian hyödyntämismahdollisuuksia suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää fotogrammetrian käyttömuodot suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa, sen tuomat edut ja siihen liittyvät haasteet.

Suunnittelun ohjaus ja työmaavalvonta ovat avainasemassa rakennushankkeen onnistumisen kannalta. Suunnittelun ohjauksella varmistetaan, että suunnitelmat valmistuvat asetettujen aikataulu- ja kustannustavoitteiden mukaisesti. Työmaavalvonnan avulla varmistetaan, että rakentaminen tapahtuu suunnitelmien mukaisesti ja se täyttää sille asetetut vaatimukset. Fotogrammetria käyttää valokuvia mittaus- ja paikkatiedon tuottamiseen. Valokuvien limittämisen avulla voidaan luoda halutusta kohteesta 3D-pintamalli tietokoneohjelman avulla, mikä mahdollistaa mittatietojen tarkastelun. Fotogrammetriaa käytetään rakennusalalla esimerkiksi lähtötietojen keräämisessä, visualisoinnissa ja dokumentoinnissa.

Työn alussa tutkimusta pohjustetaan kirjallisuustutkimuksella, jossa esitellään suunnitteluprosessin kulkua, suunnittelun ohjauksen pääpiirteitä, työmaavalvontaa, fotogrammetriaa ja sen käyttöä kyseisillä tutkimusaiheen osa-alueilla. Tutkimuksen empiirisenä osa-alueena toimii haastattelututkimus. Haastateltavat työskentelevät suomalaisen rakennusalan konsulttiyrityksen palveluksessa. Haastattelututkimuksen tarkoituksena oli tutkia fotogrammetrian käytön laajuutta suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa Suomessa. Kirjallisuustutkimuksesta kerätty teoria ja empiirisestä tutkimuksesta saadut tutkimustulokset analysoitiin ja niistä kerättiin yhteneväisyyksiä sekä eroja.

Tutkimuksen perusteella fotogrammetrian käyttökohteet ovat lähtötieto- ja toteumamallin tuottaminen, dokumentaatio ja visualisointi. Tutkimuksessa havaitaan fotogrammetrian parantavan suunnittelun ohjauksen tehokkuutta kommunikaation ja päätöksenteon oikea-aikaisuuden parantuessa. Työmaavalvonnassa fotogrammetrialla saavutetaan selkeyttä dokumentaatiossa ja virheiden sekä puutteiden esittämistavassa. Fotogrammetrian käytössä havaitaan myös ongelmia, jotka erityisesti painottuvat mallien tuottamiseen. Fotogrammetrian hyödyntämistä suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa tulisi tutkia lisää. Jatkotutkimuksissa olisi hyvä perehtyä esimerkiksi käytön yleisyyden vaihteluihin eri maiden välillä.

Avainsanat: suunnittelun ohjaus, työmaavalvonta, fotogrammetria

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
1.1 Työn tausta 1
1.2 Tutkimuksen tavoite ja rajaukset 2
1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne 2
2. KIRJALLISUUSTUTKIMUS 4
2.1 Suunnittelun ohjaus 4
2.1.1 Rakennushankkeen suunnitteluprosessi 4
2.1.2 Suunnittelun ohjauksen keskeiset periaatteet 5
2.2 Työmaavalvonta 6
2.3 Fotogrammetria 8
2.3.1 Fotogrammetrian käyttö rakennusalalla 10
2.3.2 Fotogrammetrian käyttö suunnittelun ohjauksessa 11
2.3.3 Fotogrammetrian käyttö työmaavalvonnassa 13
3. HAASTATTELU TUTKIMUSMENETELMÄNÄ 16
4. HAASTATTELUIDEN TULOKSET 18
4.1 Fotogrammetrian käyttökohteet ja käyttömuodot 18
4.2 Kokemukset fotogrammetrian käytöstä 19
5. HAASTATTELUTUTKIMUKSEN JA KIRJALLISUUDEN YHTEYS 21
5.1 Fotogrammetria osana suunnittelun ohjausta 21
5.2 Fotogrammetria osana työmaavalvontaa 22
6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET 24
LÄHTEET 26
LIITE A: HAASTATTELUKYSYMYKSET 29

1. JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Rakennusalalla suunnittelun ohjaus ja työmaavalvonta ovat kriittisiä osa-alueita rakennushankkeen onnistumisen edellytykseksi. Suunnittelun ohjauksella pyritään saavuttamaan suunnittelulle asetetut tavoitteet, jotka koostuvat tilaajan tavoitteista ja rakentamiseen asetetuista määräyksistä. Suunnittelun ohjauksen avulla varmistetaan, että suunnitteluprosessi johtaa asetettuihin tavoitteisiin. (RT 103018 2018) Työmaavalvonnalla puolestaan varmistetaan suunnitelmia vastaava toteutus ja täten hankkeessa toimivan rakennuttajan edun valvominen. (RT 103132 2019)

Nykyiset menetelmät eivät ole pysyneet kehittyvän teknologian tahdissa. Teknologian kehitys näkyy rakennusalalla pääsääntöisesti tietomallien käyttönä. (Chen et al. 2022) Tietomallintamisen avulla voidaan muodostaa rakennuksesta virtuaalinen malli, joka simuloi rakentamisen etenemistä. Tietomallintamisen yhteyteen tarvitaan kuitenkin muita menetelmiä, joiden tuella reaalimaailman rakentamista voidaan verratta suunniteltuun, simuloituun tai virtuaaliseen malliin. Tietomalli ei itsessään huomioi esimerkiksi työmaalla tulleita suunnitelma- tai aikataulumuutoksia. Reaalimaailman rakentamisen vertailua voidaan tehdä esimerkiksi fotogrammetriaan perustuvalla pintamallilla.

Fotogrammetrialla tuotetaan mitta- ja paikkatietoa valokuvien avulla. Valokuvien limityksen avulla saadaan halutusta kohteesta tehtyä tietokoneohjelman avulla 3D-pintamalli, josta voidaan tarkastella mittaustietoja. Tämän 3D-mallin toteuttaminen on merkittävästi nopeampaa perinteiseen tietomalliin verrattuna, mutta samalla se sisältää huomattavasti vähemmän tietoa kuin perinteinen tietomalli. (Pieskä 2016)

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan fotogrammetrian hyödyntämistä rakennushankkeen suunnittelun ohjauksessa ja valvonnassa. Tutkimuksessa analysoidaan fotogrammetrian hyödyntämistä ja sen tuomia etuja tehokkuuden, taloudellisuuden ja aikataulutuksen näkökulmasta. Teknologian mahdollistaman jatkuvan kehityksen edellytyksenä on sen täysimääräisen käyttöpotentiaalin selvittäminen.

1.2 Tutkimuksen tavoite ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, kuinka fotogrammetriaa voidaan hyödyntää suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa. Tutkimuksessa kartoitetaan fotogrammetrian käyttökohteet suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa, sekä mitä hyötyjä fotogrammetrian käyttö tuo. Lisäksi tutkitaan mahdollisia ongelmia sekä haasteita fotogrammetrian käyttöön liittyen suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa. Tutkimuksessa ei kuitenkaan syvällisemmin tutkita mahdollisia ratkaisuja haasteiden ja ongelmatilanteiden suhteen. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää suunnittelijoiden, valvojien ja muiden aiheeseen liittyvien sidosryhmien toiminnan kehittämisessä.

Tutkimuksessa pyritään vastaamaan seuraavaan kysymykseen:

Kuinka fotogrammetriaa voidaan hyödyntää suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa?

Pääkysymys on edelleen jaettu seuraaviin alakysymyksiin:

- Mitkä ovat fotogrammetrian käyttökohteet suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa?
- Mitä hyötyä fotogrammetrian käyttö tuo?
- Mitä ongelmia sekä haasteita fotogrammetrian käyttöön liittyy suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa?

Tutkimus rajataan koskemaan vain talonrakennushankkeita. Tutkimuksessa työmaavalvonta rajataan koskemaan tilaajan valvontaa.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne

Tutkimuksen toteutusmenetelmänä käytetään kirjallisuuskatsausta ja empiiristä tutkimusta. Kirjallisuustutkimus keskittyy suunnittelun ohjaukseen ja työmaavalvontaan liittyviin tehtäviin, sekä fotogrammetrian määrittelyyn ja sen käyttöön rakentamisessa. Kirjallisuustutkimuksen aineisto on kerätty Rakennustiedon RT- ja Ratu-aineistoista, Google Scholar ja Tampereen Yliopiston Andor-hakupalveluista.

Aineiston etsimisessä käytettiin suomenkielisiä ja englanninkielisiä hakusanoja. Suomeksi käytettyjä hakusanoja olivat ”*suunnittelun ohjaus*”, ”*työmaavalvonta*”, ”*fotogrammetrian käyttö rakentamisessa*”. Englanninkielisiä hakusanoja olivat “photogrammetry in design management”, “site supervision and photogrammetry”, “scan to

bim” ja “3D point cloud”. Näiden lisäksi käytettiin tarkentavia hakusanoja, kuten ”*suunnittelun ohjauksen haasteet*” ja ”*photogrammetry point cloud applications*”.

Löytyneistä aineistoista valikoitui kirjallisuuskatsaukseen sellaiset aineistot, jotka tukivat tutkimuskysymyksiä ja käsittelivät tutkittavaa aihetta tai sen osa-alueita. Kirjallisuuskatsauksen aineistoksi valikoitui tieteellisiä artikkeleja, tietokantoja, konferenssiartikkeleita ja diplomitöitä.

Empiirisen tutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa suunnittelun ohjauksen ja valvonnan työtehtävissä työskentelevien henkilöiden kokemuksia fotogrammetriasta osana heidän työtehtäväänsä. Asiantuntijahaastatteluista saadun aineiston avulla vertaillaan työntekijöiden kokemuksia kirjallisuusaineistoon.

Tutkimus rakentuu kirjallisuustutkimuksen ympärille, jonka avulla luodaan pohjustava teoriaosuus. Kirjallisuustutkimuksessa saatuja tietoja vertaillaan asiantuntijahaastatteluiden kanssa ja näiden tulosten pohjalta laaditaan tutkimuksen johtopäätökset.

Luku kaksi on jaettu kolmeen osaan ja se luo teoreettisen pohjan tutkimukselle. Luvussa kolme esitellään tarkemmin haastattelua tutkimusmenetelmänä, sen rakennetta ja teemaa. Neljännessä luvussa esitellään haastatteluiden tuloksia teemojen mukaan. Luku on jaettu kahteen osaan, joissa tarkastellaan erikseen fotogrammetrian käyttökohteita ja kokemuksia käytöstä. Luvussa viisi tarkastellaan haastattelututkimuksesta saatujen tulosten ja kirjallisuustutkimuksen yhteyksiä. Luvussa kuusi tutkimustulokset esitetään yhteenvetona ja niiden pohjalta tehdään tutkimuksen päätelmät.

2. KIRJALLISUUSTUTKIMUS

2.1 Suunnittelun ohjaus

2.1.1 Rakennushankkeen suunnitteluprosessi

Jokaisen rakennushankkeen onnistumisen edellytyksenä pidetään huolellista suunnittelua, joka toimii myös keskeisenä laatuun vaikuttavana osatekijänä. Suunnittelun merkitys rakennushankkeessa korostuu myös hankkeen kustannustenhallinnassa, sillä suunnitteluratkaisuiden kustannukset vaikuttavat merkittävästi koko hankkeen taloudelliseen puoleen. (Kankainen & Junnonen 2020, s. 33)

Rakennushankkeen päätavoitteena on täyttää tilan käyttäjän muuttunut tilantarve tai yrityksen tai yhteiskunnan toiminnan vaativan rakennelman tai verkoston valmistaminen. Tilantarpeeseen vaikuttaa merkittävästi tilaaja, tilaaja voi olla yksityinen ihminen, julkisyhteisö tai yritys. Tilantarpeen selvitessä päätetään vanhan korjaamisesta tai uuden rakentamisesta, mikä käynnistää rakennushankkeen. (Kankainen & Junnonen 2020, s. 9)

Rakennusprojektin edetessä hankkeeseen osallistuu useita osapuolia, joilla on eri tehtäviä, joita heidän pitää suorittaa. Osapuolien määrään vaikuttaa esimerkiksi hankkeen etenemisvaihe. Yleisesti suunnittelun vaiheet ovat hankesuunnittelu, ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu ja toteutussuunnittelu (RT 10-11224 2016). Erilaisissa rakennushankkeissa vaiheiden erot voivat olla epäselviä ja niiden nimitykset voivat vaihdella. Yleispätevän vaiheistuksen lisäksi esimerkiksi korjausrakentamishankkeissa tarvitaan usein täydentäviä suunnitelmia, joita laaditaan rakentamisen aikana. (Kankainen & Junnonen 2020, s. 39)

Hankesuunnittelun tarkoituksena on määrittää tarveselvityksestä saatujen tietojen pohjalta varsinainen rakennussuunnitteluohje, jossa tavoitteet asetetaan vaatimuksiksi. Hankesuunnittelun osapuolina toimii yleensä käyttäjä, rakennuksen omistaja, rakennuttaja ja suunnittelijat. Hankesuunnitteluvaiheessa muodostetaan tilaohjelma, jossa esitellään kaikki huonetilat, sekä tehdään rakennuspaikan selvitykset, jotka sisältävät tiedot esimerkiksi tontin koosta ja muodosta, maaperästä ja kaavoitustilanteesta. Rakennuspaikan selvityksien ja tilaohjelman perusteella lasketaan

hankkeelle tavoitehinta, joka määrittää hankkeen taloudellisen puitteen. (Kankainen & Junnonen 2020, s. 20–21)

Ehdotussuunnitteluvaiheessa tarkoituksena on määrittää hankesuunnittelussa asetettujen tavoitteiden ja asetusten mukainen yleisratkaisu kohteelle. Ehdotussuunnitelmien avulla vertaillaan ja tutkitaan erilaisia toiminta- ja maankäyttömalleja sekä vertaillaan hankkeen mukaan tarpeellisen monia yleisratkaisuja. Yleisratkaisun pääpiirteet esitetään ehdotussuunnitelmassa siten, että niistä tulee esiin toiminnallinen, rakennustaiteellinen ja teknillinen yleisratkaisu, sijoittuminen tontille, liittyminen ympäristöön, perustamisolosuhteet, alueen kunnallistekninen valmiusaste ja liittymätiedot ja kustannusarvio. (Kankainen & Junnonen 2020, s. 37)

Yleissuunnitteluvaiheessa valittu ehdotussuunnitelma kehitetään toteutettavaksi yleissuunnitelmaksi. Yleissuunnitelmassa esitetään hankkeen ympäristösuunnitelma, kantavat ja osastoivat rakennusosat, perustamistapa, päämateriaalit, keskeiset rakenteet, talotekniset tilat- ja järjestelmät, pääkanavat, putkireitit ja rakennustapaselostus. Yleissuunnitteluvaihe päättyy yleissuunnitelman hyväksymiseen ja rakennuslupahakemuksen asiakirjojen muodostamiseen. (Kankainen & Junnonen 2020, s. 38)

Toteutussuunnitteluvaiheessa yleissuunnitelmasta laadittavista asiakirjoista kehitetään sen mukaiset, että niiden pohjalta rakennuksen määrä ja laatu voidaan määritellä urakkatarjouksen antamista varten. Toteutussuunnitteluvaiheessa täsmennetään toteutusmuodon vaatimukset suunnittelulle, tarkastetaan lähtötiedot ja suunnitelmien yhteensovitus, järjestetään suunnitelmakatselmukset, varmistetaan suunnitelmien tavoitteenmukaisuus ja niiden viranomaishyväksyntä. Toteutussuunnitteluvaihe päättyy toteutussuunnitelman hyväksymiseen. (RT 10-11284 2017).

2.1.2 Suunnittelun ohjauksen keskeiset periaatteet

Rakennushankkeet ovat hyvin usein kompleksisia, eikä niiden etenemistä kyetä määrittämään etukäteen kovin tarkasti. Kompleksisuus muodostuu useista hankkeeseen liittyvistä tekijöistä, kuten ympäristön vaikutuksista, ratkaisujen ja osapuolien määrästä, ja näiden keskinäisistä riippuvuusyhteyksistä. Rakennushankkeen hallitsemiseksi, sille on määritettävä selväpiirteiset tavoitteet ja ohjattava hanketta kyseisiin tavoitteisiin. Hankkeen hallitsemisen onnistumiseksi työn etenemisprosessia tulee valvoa ja poikkeuksiin puuttua. (Junnonen 2009, s.49)

Rakentamisen laadun ja turvallisuuden yksi merkittävin tekijä on suunnittelu. Rakennushankkeessa tilaajan konsulttina toimivan suunnittelijan pätevyydellä ja ammattitaidolla on kriittinen merkitys hankkeen onnistumisen suhteen. Suunnittelijan, toimiessaan tilaajan asiantuntijana, tulee suorittaa saamansa tehtävät niiden edellyttämällä ammattitaidolla käyttäen hyvää teknistä tapaa ja objektiivisuutta. Rakennuttajan tehtävänä onkin organisoida suunnittelua siten, että suunnitelmat vastaa ohjeistuksia ja tavoitteita. Keskeisenä toimenpiteenä on suunnittelijoiden roolien selkeyttäminen ja tehtävien täsmentäminen. (Junnonen 2009, s.31–32)

Suunnittelun ohjauksen tärkeys korostuu hankkeen alkupäässä, jossa lähtötietojen pohjalta tehdyillä päätöksillä on merkittäviä vaikutuksia hankkeen kustannuksiin. Hankkeen edetessä yksittäisillä päätöksillä ei ole yhtä vahvaa vaikutusta kokonaiskustannuksiin, mutta jo sitoutuneiden kustannusten muuttaminen käy yhä vaikeammaksi. Kustannustietojen jakaminen hankkeen osapuolten välillä on avainroolissa hankkeen onnistumisen kannalta. (Leppänen 2016)

Suunnittelun ohjauksen kannalta yksi merkittävä haaste esiintyy tiedonvaihdossa suunnittelijoiden ja tilaajan välillä. Suunnitteluratkaisuiden esittämistapa on avainasemassa tilaajan näkökulmasta, sillä hän ei voi antaa palautetta suunnitelmasta, jota hän ei kykene tulkitsemaan. Epäonnistunut esittämistapa vaikeuttaa tilaajan tarpeiden täyttymistä ja voi vaikuttaa merkittävästi koko hankkeen lopputulokseen. (Shen et al. 2012)

Suunnittelun ohjauksen tarkoituksena on ohjata suunnittelua niin, että hankkeelle määritellyt aika-, laatu-, kustannus- ja laajuustavoitteet saavutetaan. Rakennushankkeessa syntyvää tuotetta kuvataan laatu- ja laajuustavoitteiden avulla, kun taas tuotteen tekemiseen tarvittavaa prosessia kuvaa aika- ja kustannustavoitteet. Hankkeen tuote- ja prosessitavoitteet ovat riippuvaisia toisistaan. Muuttamalla esimerkiksi laatu- ja laajuustavoitetta, vaikutetaan samalla hankkeen kustannuksiin ja mahdollisesti aikataulutavoitteisiin. Suunnittelun ohjauksen vaikutustavat ja keinot vaihtelevat runsaasti hankkeiden välillä. Hankkeen urakkamuoto, haastavuus, koko, valittu suunnittelutapa ja tilaajan kyvyt ovat vaikuttavia tekijöitä ohjauksen sisällössä. (Junnonen 2009, s.49)

2.2 Työmaavalvonta

Hyvän lopputuloksen edellyttämiseksi jokaiselle rakennushankkeelle tulee luoda toimintakykyinen työmaavalvontaa toteuttava valvontaorganisaatio. Organisaation muodostamisen vaikuttaa keskeisesti urakkamuoto, urakan laajuus- ja vaikeusaste ja

urakkaohjelman erityismääräykset. (Kankainen & Junnonen 2020, s. 84) Suurilla hankkeilla valvontaorganisaatio koostuu yleisesti rakennusteknisestä valvojasta, sähköteknisestä valvojasta ja LVI-valvojasta. Työmaavalvonnan tarkoituksena on varmistaa suunnitelmien mukainen toteutus ja toimia rakennuttajan edun valvojana (RT 103171 2019).

Työmaavalvonnan keskeisenä päämääränä on varmistaa, että urakoitsijan toteutus vastaa valmiille työlle asetettuja vaatimuksia ja sopimuksessa määrättyjä asioita. Rakennushankkeen tilaaja voi teettää valvonnan kokonaan tai osittain ulkopuolisella konsulttiyrityksellä, mutta tilaajan on myös mahdollista teettää valvonta omana työnä. Työmaavalvojan pätevyysvaatimuksia ei ole määritelty asetuksiin tai lakeihin, vaan edellytetyt ammattipätevyysvaatimukset on määritelty rakennusurakan yleisissä sopimusehdoissa. (Kankainen & Junnonen 2020, s. 84–85)

Valvojan tulee varmistaa, että urakoitsija noudattaa lakeja, asetuksia, viranomaismääräyksiä, sekä hyvien käytäntöjen mukaista rakennustapaa. Valvonnan tavoitteena on myös ennaltaehkäistä ongelmien ja virheiden muodostumista suunnitelmia täsmentävillä ja täydentävillä ohjeilla. Valvojalla on vastuu toimia työmaalla yhteistoimintaa edistäen ja pyrkiä luomaan hyvä kommunikaatio sekä luottamus hankkeen osapuolten välille. (Kankainen & Junnonen 2020, s. 84–85) Onnistunut osapuolten välinen yhteistyö alkaa urakoitsijan ja valvojan suunnitelmien tarkastuksella. Osapuolet tarkastavat valvonta- ja laatusuunnitelmat, joiden pohjalta luodaan yhteistyössä lopulliset suunnitelmat. Näin osapuolten tärkeänä pitämät asiat saadaan selkeytettyä ja vältytään tarpeettomalta työltä. (Junnonen 2009, s.124)

Työmaavalvonta aloitetaan hankkeen urakka-asiakirjoihin perehtymällä, joiden pohjalta luodaan valvontasuunnitelma. Valvontasuunnitelma sisältää tiedot hankkeesta, valvonnan tehtävistä, valtuuksista, vastuista, katselmuksista, projektipalavereista ja kokouksista, dokumentoinnista, raportoinnista, vastaan- ja käyttöönotosta, takuusta ja arkistoinnista. (Kankainen & Kuoppamäki 1999) Valvontasuunnitelmaa päivitetään rakentamisen edetessä ja pidetään huolta sen ajantasaisuudesta. Työmaavalvonta perustuu pääasiassa jatkuvaan seurantaan, varmistamiseen, tarkasteluihin, koordinointiin ja huolehtimiseen (RT 103171 2019).

Talonrakennustöiden työmaavalvonnan tehtäväluettelon (RT 103171 2019) mukaisesti valvojan tehtävät voidaan eritellä seuraaviin osa-alueisiin:

- ”Yleisvalvonta
- Työmaan turvallisuuden ja ympäristön valvonta

- Ajallinen valvonta
- Teknisen toteutuksen laadunvalvonta
- Taloudellinen valvonta
- Dokumentointi
- Käytönopastuksen valvonta
- Muut valvontatoimenpiteet
- Vastaanottomenettely
- Takuuajan tehtävät
- Takuuajan jälkeiset tehtävät” (RT 103171 2019, s. 1)

Tehtäväluettelon osa-alueissa on listattu suoritettavat tehtävät, joiden avulla voidaan määritellä valvontasopimuksen sisältöä. Tehtäväluettelo on luotu rakennusteknisen työmaavalvonnan näkökulmasta ja siihen usein sisällytetään myös hankkeen yleisvastuulliset tehtävät. Talotekniikkatöille sekä maa- ja vesirakennustöille on myös olemassa omat valvonnan tehtäväkortit: Talotekniikkatöiden työmaavalvonnan tehtäväluettelo (RT 103172 2019) ja Maa- ja vesirakennustöiden työmaavalvonnan tehtäväluettelo (RT 103173 2019). Korttien sisällöt mukailevat rakennusteknisen työmaavalvonnan tehtäväluetteloa.

Valvonnan osa-alueisiin liittyy myös erilaisia haasteita sekä ongelmia Eri osa-alueissa ilmeneviä ongelmia ovat esimerkiksi tiedonsaatavuus, tiedonvaihto, dokumentaatiovirheet sekä visualisaation puute. Näistä ongelmista valvonnan eri osa-alueita yhdistää tiedonsiirtoon ja -käsittelyyn liittyvät haasteet. Puutteellinen tiedonsiirto ja -käsittely aiheuttaa merkittävää epävarmuutta hankkeen jokaiselle osapuolelle, mikä puolestaan vaikuttaa negatiivisesti oikea-aikaiseen päätöksentekoon sekä hankkeen onnistumiseen. (Parsamehr et al. 2023)

2.3 Fotogrammetria

Fotogrammetria on menetelmä, jossa kohteen muoto ja sijainti määritellään kohteesta otetuista valokuvista käyttäen mittauksia ja tulkintoja. Fotogrammetrisia menetelmiä voidaan käyttää lähes missä tahansa tilanteessa, jossa kohde voidaan tallentaa valokuvien avulla. Fotogrammetrian ensisijainen tarkoitus on luoda kohteesta kolmiulotteinen rekonstruktio digitaalisessa muodossa. Fotogrammetrian avulla saadaan

tuotettua esimerkiksi geometrisiä elementtejä, koordinaatteja, karttoja ja piirustuksia. (Luhmann et al. 2014)

Fotogrammetrian menetelmiä voidaan kategorisoida eri tavoilla. Menetelmät vaihtelevat kameran etäisyyden, kuvaustavan, kuvausmäärän ja kuvauskohteen mukaan. Fotogrammetrian käyttökohteet vaihtelevat rakennusten 3D-mallintamisesta aina lääketieteelliseen mallintamiseen. (Luhmann et al. 2014)

Fotogrammetrisia menetelmiä on käytetty historiassa jo jopa 1400-luvulla. Italiassa renessanssin aikaan fotogrammetrisia menetelmiä hyödynnettiin kartografiassa yksityiskohtaisten mallien luomiseen. Fotogrammetrisien menetelmien käyttö voidaan jakaa karkeasti neljään eri aikakauteen: Valokuvaus ja tasoanalyysi (1850–1900), Stereoplotterit ja ilmakuvaus (1901–1950), Tietokoneet ja matemaattiset mallit (1951–1971), digitaalisuus ja tietokonenäkö (1972–nykyaika). (Foster & Halbstein 2014) Kuvassa 1 on esitelty fotogrammetrian tämänhetkisiä kuvauslaitteistoja, oikealla ulkokuvaukseen soveltuva DJI Mavic 2 Pro- kuvauskopteri ja vasemmalla sisäkuvaukseen soveltuva Matterport Pro 2 3D-kamera.

Kuva 1. Fotogrammetriassa käytettäviä kuvauslaitteistoja.

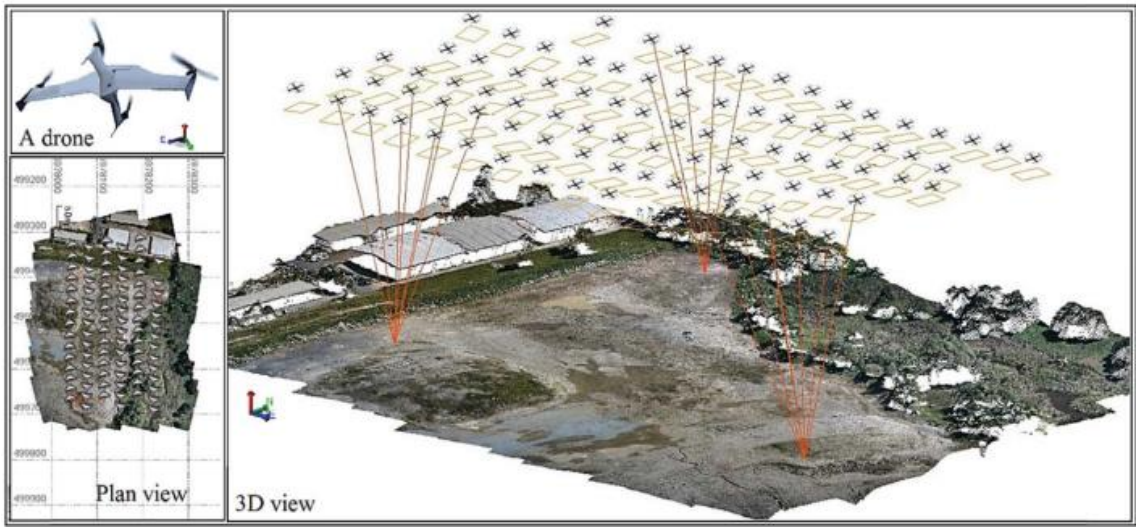
Optiikan, ohjelmistojen, algoritmien kehityksen ja 3D mallintamisen avulla fotogrammetrian käyttö on yleistynyt huomattavasti. Teknologiakehitys on luonut valtavasti uusia käyttömahdollisuuksia, mutta myös uusia ongelmia mallintamisen suhteen. Yleisimmät ongelmat liittyvät laskenta-algoritmin kompleksisuuteen ja kuvauksen toteutukseen. (Foster & Halbstein 2014).

2.3.1 Fotogrammetrian käyttö rakennusalalla

Rakennusalalla fotogrammetriaa käytetään yleisesti kiinteistö- ja rakennusomaisuuden digitalisoinnissa, korjaus- ja perusparannushankkeissa sekä maarakennushankkeissa. Keskeisiä käyttökohteita ovat esimerkiksi malliaineiston tuottaminen, lähtötietojen visualisointi ja maanpinnan muotojen mallintaminen (RT 103132 2019).

Yleisimmät fotogrammetrian menetelmät rakennusalalla ovat lähifotogrammetria ja ilmakuvaus. Lähifotogrammetriassa pyritään kohde kuvaamaan mahdollisimman yksityiskohtaisesti laajalla kuvausmäärällä. Suuremmalla kuvamäärällä mahdollistetaan tarkempi lopputulos ja laajempi käyttömahdollisuus. Lähifotogrammetriaa hyödynnetään pistepilvimallien, virtuaaliympäristöjen ja teksturoitujen kolmioverkkomallien käytössä. Menetelmä soveltuu etenkin rakennuksien sisätilojen laajaan dokumentointiin, julkisivujen mittaukseen ja mallinnukseen sekä monimutkaisten arkkitehtuuristen ja rakennusteknisten ratkaisuiden mallintamiseen (RT 103132 2019). Sisätiloissa lähifotogrammetriassa käytetään esimerkiksi järjestelmäkameroita ja 360 kameroita. (Prittinen 2021).

Fotogrammetriaa sovelletaan ilmakuvauksessa sekä miehittämättömissä että miehitetyissä ympäristöissä mallinnus- ja kartoitustehtävissä. Miehittämättömien ilma-alusten yleistyessä, fotogrammetrian käyttö rakennusalalla on ollut kasvussa. Ilmakuvaukseen perustuvassa fotogrammetrian menetelmässä kohde kuvataan ennalta määritetyn lentolinjan mukaan. Lentolinjassa määritellään kuvanottovälit ja kuvamäärä siten, että haluttu kohdealue saadaan katettua tarpeeksi tarkasti. Ilmakuvauksen avulla tuotetaan esimerkiksi pintamalleja, pistepilvimalleja, karttoja ja teksturoituja moniverkkomalleja. Miehitetyt ilmakuvaukset keskittyvät yleensä laajempien kartoitustöiden sekä maanpinnan muotoja kuvaavien mallien muodostamiseen (RT 103132 2019). Miehittämättömällä ilma-aluksella suoritettavaa mallinnusta on havainnoitu kuvassa 2.



Kuva 2. Maanpinnan mallintaminen miehittämättömällä ilma-aluksella (Li & Liu 2019).

Fotogrammetrialla tuotettujen mallien käsittelyyn on saatavilla runsaasti erilaisia ohjelmistoja. Yleisimmin käytettyjä ohjelmistoja rakennusalalla on Autodesk Recap, Autodesk Revit, FARO Scene, ja Trimble RealWorks. Ohjelmistot eroavat toisistaan niiden käyttötarkoituksillaan ja käyttömahdollisuuksillaan. (Wang & Kim 2019)

2.3.2 Fotogrammetrian käyttö suunnittelun ohjauksessa

Rakennusalalla uudis- ja korjausrakennushankkeissa tietomallipohjainen suunnittelu on todella yleistä. Tietomallien käyttö lisää suunnittelun tehokkuutta, vähentää virheitä sekä parantaa tiedonkulkua ja täten yhteistyötä. Tietomallit tukevat suunnittelun ohjausta runsaasti, sillä tarvittavat tiedot löytyvät yhdestä paikasta. Tiedot ovat aina ajantasaiset ja kaikkien osapuolien nähtävillä. (Jäväjä & Lehtoviita 2016)

Korjausrakennushankkeissa tietomallin lähtötilanteen tarkka mallintaminen on usein haastavaa. Saatavilla olevat piirustukset ja asiakirjat eivät välttämättä ole ajantasaisia, jonka vuoksi kohteella on suoritettava erilaisia mittauksia. Rakennuspaikalla tehtävät mittaukset lähes poikkeuksetta kasvattavat kustannuksia. Lisäksi niiden suorittamista vaikeuttaa se, että rakennus on usein hanke- ja rakennesuunnittelun aikana normaalissa käytössä. (Stolt 2015) Perinteisten mittauksien sijasta kohteesta voidaan kerralla suorittaa mallinnus fotogrammetrialla tai laserkeilauksella. Menetelmillä on omat etunsa: fotogrammetrialla suoritettava mallinnus on huomattavasti halvempaa ja nopeampaa kuin laserkeilauksella, mutta mallin tarkkuus on heikompi kuin laserkeilauksessa. (Moon et al. 2019) Tutkimuksen keskittyessä fotogrammetrian hyödyntämismahdollisuuksiin, tarkemmat vertailut menetelmien välillä jätetään mahdollisiin jatkotutkimuksiin.

Fotogrammetrialla tuotettu 3D-malli on toimiva ratkaisu lähtotilanteen mallintamiseen. Malli on helposti toteutettavissa ja edullinen verrattuna perinteiseen tietomalliin. Fotogrammetrialla tehdyn mallin keskeisenä etuna on mittaustiedon tallentuminen 3D-malliin. Tämä mahdollistaa sen, ettei kohteella tarvitse jälkikäteen käydä tekemässä mittauksia, sillä ne voidaan tehdä suoraan mallista. 3D- mallilla voidaan visualisoida kohteen muodot ja pinnat, mutta se ei sisällä tietoa käytetyistä rakennusmateriaaleista tai sisäisistä rakenteista. Jatkomallinnuksen avulla fotogrammetriasta saatua 3D-mallia voidaan käyttää osana korjaussuunnitelua ja visualisoida erilaisia korjausvaihtoehtoja tilaajalle. (Pieskä 2016)

Fotogrammetrialla tuotetaan siis korjausrakennushankkeissa tärkeitä lähtötietoja, joiden avulla mahdollistetaan aktiivinen suunnittelun ohjaus hankkeen alusta alkaen. Mittausdatan ja visualisoinnin avulla säästetään suunnittelijoiden ja suunnittelun ohjauksen resursseja, sillä kohdekäyntien tarve pienenee. Visualisointi myös tukee tiedonvaihtoa etenkin tilaajan suuntaan, sillä tilaaja ei välttämättä ole rakennusalan ammattilainen, eikä täten ymmärrä rakennuspiirustuksia.

Uudisrakennushankkeissa fotogrammetrialla tuotettua pistepilviaineistoa hyödynnetään yhtenä alue- ja rakennussuunnittelun lähtöaineistona. Rakennusalueesta tuotetun topografisen mallin avulla saadaan tarkka visualisointi alueen nykytilasta sekä jatkomallintamisen avulla malli rakennuksen asettumisesta alueeseen. (Huomo 2023) Rakennusalueen visualisointi tuo merkittävästi resursseja suunnittelun ohjaukseen, sillä se selkeyttää ehdotussuunnitteluvaiheessa eri yleisratkaisujen soveltuvuuden arviointia ympäristöön. Tämä tarkentaa hankkeen tavoitteita ja edistää päätöksentekoprosessia.

Pistepilviaineisto tukee suunnittelun ohjausta myös rakentamisen aikana. Rakennusprosessin edetessä tuotetut pistepilvet mahdollistavat etäyhteydellä tapahtuvan rakennusprosessin tarkastelun ja sen vertaamisen suunniteltuun tietomalliin kaikille suunnitteluprosessin osapuolille. Näiden toteumamallien avulla säästetään runsaasti suunnitteluosapuolien ajallisia resursseja, sekä vähennetään normaaleista työmaamittauksista tulevia virhetekijöitä. (Seredovich et. al 2022) Yhdistetyn mallin avulla myös tilaajalla on mahdollisuus tarkentaa omia tarpeitaan esimerkiksi tilakohtaisten kiinteiden kalusteiden ja laitteistojen osalta. (Kiriiak 2021)

Fotogrammetrian käyttö suunnittelun ohjauksessa tarjoaa merkittävää tukea kommunikaatiolle ja päätöksenteolle hankemuodon mukaan. Visualisoinnin ja suunnitellun mallin vertailun avulla saavutetaan tehokkaampi kommunikaatio eri osapuolten välillä. Lisäksi mittausdatan tallentuminen 3D-malliin edesauttaa dokumentaatiota, mikä tehostaa koko hankkeen suunnitteluprosessia. Fotogrammetrian

tuoma lisäarvo tukee päätöksentekoa, parantaen projektin ymmärrettävyyttä ja edistäen suunnitteluprosessin tehokkuutta.

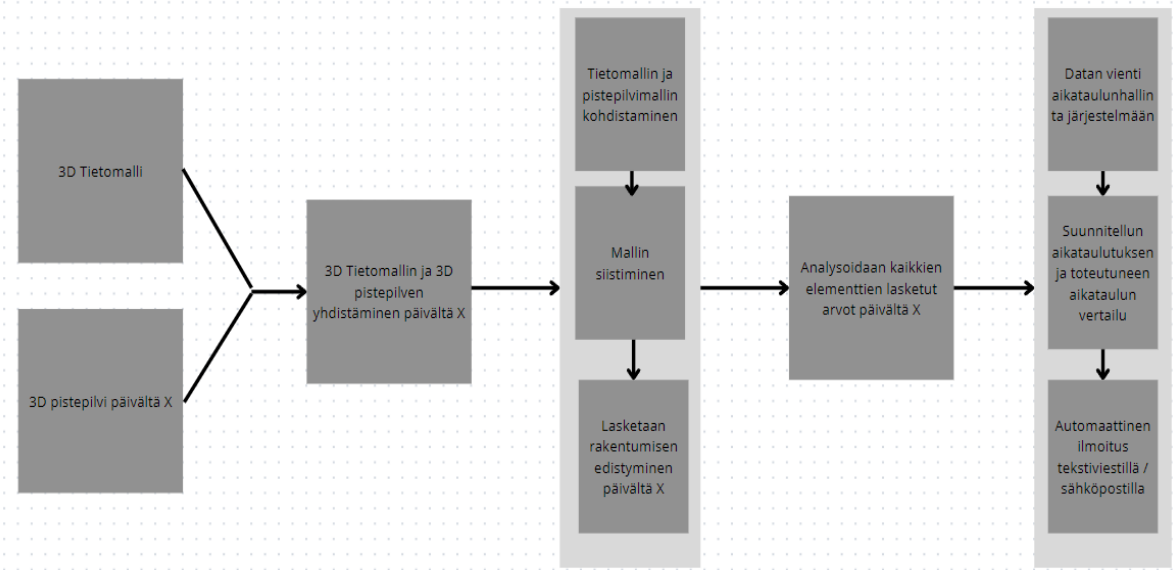
2.3.3 Fotogrammetrian käyttö työmaavalvonnassa

Rakennusalan konservatiivisella luonteella on taipumus takertua tehottomiin valvontajärjestelmiin, jotka heikentävät päätöksenteon oikea-aikaisuutta. Teknologian kehittyessä rakennusalaa hallitsee edelleen perinteiset valvontamenetelmät. Perinteisten valvontamenetelmien heikkouksia esiintyy esimerkiksi tietojen keräämisessä. Tiedoissa saattaa jälkikäteen ilmetä puutteita, joiden täydentämiseen valvojan täytyy käydä paikan päällä tarkistamassa kohde uudelleen. (Omar et al. 2018)

Työmaan turvallisuuden ja ympäristön valvonnassa fotogrammetria on hyödyllinen työkalu. Fotogrammetrialla luodut lähtötieto ja toteumamallit tukevat työturvallisuussuunnittelua ja aluesuunnittelua, sekä niitä voidaan käyttää oppimateriaalina työmaan perehdytyksessä. Työtapaturmien ja vaaratilanteiden fotogrammetrisella dokumentoinnilla saadaan visuaalista tietoa alueesta, joka avittaa tutkinnassa sekä ennaltaehkäisee vastaavanlaisten tapahtumien syntyä. (Kankkunen 2018) Fotogrammetrian avulla on mahdollista myös tarkastella esimerkiksi maan muodonmuutoksia ja niiden vaikutuksia rakenteiden painumiin. Samalla se mahdollistaa nopean tiedonkeruun laajoissa muodonmuutostilanteissa, kuten sortumissa, ilman ihmishenkien vaarantumista. (Varbla et al. 2021)

Rakenneteknisten toteutuksien valvonnassa fotogrammetria tuo apua etenkin tilanteissa, joissa tarkasteltava kohde on vaikeasti tavoitettavissa. Esimerkiksi kohteissa, joissa nosturilla liikkuminen on rajoitettua, voidaan hyödyntää kopterikameraa valvonnassa. Fotogrammetrian avulla voidaan havaita kantavien rakenteiden puuttuvia rakenne- tai liitostosia, materiaalien laatuvirheitä sekä alimitoitettuja rakenteita ja niiden komponentteja. Mittausdatan tallentuminen malliin toimii samalla kattavana dokumentaationa. (Aalto 2016)

Omar et al. (2018) tutkimuksessa tarkasteltiin fotogrammetrian soveltamista automaattiseen aikatauluvalvontaan. Fotogrammetrialla tuotettu pistepilvi ja tietomalli yhdistettiin algoritmien avulla, joka lopulta ilmoitti automaattisesti, jos toteutuma oli myöhässä suunnitellusta aikataulusta. Fotogrammetrisen mallin tuottamiseen käytettiin 12:ta järjestelmäkameraa, jotka sijoiteltiin 3–10 metrin korkeuteen vallitsevasta maanpinnasta. Kamerat asetettiin ottamaan valokuvia joka kymmenes minuutti, viimeisen kahden työtunnin ajalta. Seurantajärjestelmän toiminta on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Aikataulun seurantajärjestelmän toimintamalli (mukaillen lähteestä Omar et al., 2018)

Tutkimuksessa seurantajärjestelmän tarkkuudeksi saatiin vaakasuorilla rakennuskomponenteilla 100 % ja pystysuorilla 99.4 %. Kyseisellä järjestelmällä on mahdollisuudet edesauttaa työmaan ajallista valvontaa ja oikea-aikaista päätöksentekoa merkittävästi, sillä se on täysin automaattinen, eikä vaadi valvojalta erityisiä käyttötaitoja. On syytä huomioida, että järjestelmä ei ole kuitenkaan vielä kaupallistunut, eikä siitä ole käyttökokemuksia alan asiantuntijoilta.

Tietomallin ja fotogrammetrian integroinnilla on saavutettu huomattavia hyötyjä pienten kunnostus- ja uudistushankkeiden yhteydessä. Conde et al. (2020) tarkastelivat tutkimuksessaan fotogrammetrian ja tietomallin integroinnin etuja pienien franchising-liikkeiden rakentamisessa. Tutkimuksessa fotogrammetriaa käytettiin tietomallin tietolähteenä. Tietomallin ja fotogrammetrian integrointia verrattiin perinteiseen menetelmään, jossa fyysiset mittaukset ja CAD-mallit yhdistetään. Kerättävät tiedot sisälsivät myymälän pinta-alan, vapaasti käytettävissä olevan pinta-alan, ulkojulkisivun pituuden, näyteikkunoiden, ovien, ulkoikkunoiden sekä kiinteiden kalusteiden määrät ja koot.

Tietomallin ja fotogrammetrian integraatiolla saavutettiin merkittäviä ajallisia etuja tiedonkeruussa sekä sen prosessoinnissa. Tämän johdosta hankkeiden tuottavuus nousi 27%:lla, sekä samalla urakoitsijoiden virhetulkinnat vähenivät hankkeissa 25%:lla. Tuottavuuden kasvulla saavutettiin merkittäviä taloudellisia säästöjä hankkeiden osapuolille, sillä hankkeet saatiin suoritettua tiiviimmällä aikataululla.

Fotogrammetrian käyttö työmaavalvonnassa tarjoaa tehokkaan ratkaisun perinteisten valvontamenetelmien haasteisiin. Luodut 3D-mallit tukevat turvallisuus- ja

ympäristösuunnittelua, mahdollistavat nopean tiedonkeruun, ja parantavat valvontaa vaikeasti saavutettavissa olevissa kohteissa. Automaattinen aikatauluvalvonta ja tietomallin integrointi ovat lupaavia kehityssuuntia, joilla voidaan parantaa päätöksentekoa ja tuottavuutta rakennushankkeissa.

3. HAASTATTELU TUTKIMUSMENETELMÄNÄ

Tutkimuksen kirjallisuuskatsauksen tueksi suoritettiin asiantuntijahaastatteluja, joiden avulla kartoitettiin ammattilaisten kokemuksia fotogrammetrian käytöstä heidän työtehtävissään. Haastateltavat henkilöt työskentelevät suomalaisessa rakennusalan konsulttiyrityksessä ja he valikoituvat siten, että asiantuntijakokemuksia saatiin sekä suunnittelun ohjauksen että valvonnan työtehtävissä työskenteleviltä.

Tutkimuksessa voidaan aineistonhankintamenetelmänä käyttää vuorovaikutteisia haastatteluja, joissa tutkija osallistuu aineiston tuottamiseen. Haastattelutyypit voidaan ryhmitellä haastattelijan ja haastateltavan vuorovaikutusasteen perusteella. Haastattelutapojen luokittelu riippuu tutkijan roolista vuorovaikutustilanteessa. Haastattelut voidaan jakaa karkeasti kolmeen erilaiseen haastattelumuotoon: strukturoitu haastattelu, puolistrukturoitu haastattelu ja strukturoimaton haastattelu. (Jyväskylän yliopisto 2021)

Tämän tutkimuksen haastattelumuotona käytettiin puolistrukturoitua haastattelua. Puolistrukturoidussa haastattelussa haastateltaville esitetään järjestyksessä samat tai lähes samat kysymykset. Kyseinen haastattelumuoto sopii hyvin tilanteisiin, joissa haastateltavalle ei ole tarpeellista antaa kovin suuria vapauksia, vaan tietoa halutaan juuri tietyistä asioista. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006)

Haastatteluita suoritettiin yhteensä neljä kappaletta. Haastattelukysymykset valikoituivat siten, että ne tukevat tutkimuskysymyksiä. Haastattelukysymykset on esitetty liitteessä A. Jokaisessa haastattelussa käytettiin samoja kysymyksiä, mikä edisti tulosten analysointia. Haastattelut kestivät jokainen noin tunnin verran ja haastateltaville oli annettu mahdollisuus tutustua haastattelukysymyksiin etukäteen. Haastattelut toteutettiin Microsoft Teams -etäkokousohjelman välityksellä. Haastattelut nauhoitettiin tutkijan toimesta, minkä tarkoituksena oli välttää ajan kulumista vastauksien kirjaamiseen haastattelutilanteessa ja täten mahdollistaa tutkijan aktiivinen osallistuminen haastatteluun. Nauhoittaminen varmisti lisäksi sen, ettei haastatteluista jäänyt mitään olennaista huomiotta.

Haastateltavista henkilöistä kaksi työskentelee suunnittelun ohjauksen työtehtävissä (Haastattelut 3 & 4) ja kaksi työskentelee suunnittelun ohjauksen sekä työmaavalvonnan parissa (Haastattelut 1 & 2). Haastateltavilla 1, 3 ja 4 oli kullakin noin 10 vuoden kokemus kyseisestä työtehtävästä, sekä haastateltavalla 2 oli noin 20 vuoden kokemus kyseisistä tehtävistä.

Haastatteluiden keskeisenä tavoitteena oli tutkia fotogrammetrian hyödyntämistä suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa sekä arvioida sen käytön laajuutta suomalaisissa rakennushankkeissa ja sovellusmuotoja. Toisena keskeisenä tulokulmana toimi fotogrammetrian hyödyntämiseen liittyvien haasteiden tunnistaminen ja kehityskohteet.

Haastatteluilla kerättyjä tuloksia voidaan tarkastella useiden analyysimenetelmien avulla. Analysoinnin keinoja on esimerkiksi tarkastelu, koodaus, teemoittelu, sisältöanalyysi, jäsentely ja läpikäynti. Haastatteluille tyypillistä on litterointi, jossa puheet kirjoitetaan puhtaaksi. Tässä tutkimuksessa haastatteluaineiston analyysiin käytettiin koodausta, teemoittelua ja sisältöanalyysia. Koodauksen tarkoituksena on jäsennellä tekstiä siten, että tekstistä on helposti löydettävissä kokonaiskuvan kannalta keskeisimmät asiat. Teemoittelulla kootaan koodauksella löydetyt keskeiset asiat niissä esiintyvien teemojen mukaan. Sisältöanalyysillä tuetaan teemoittelua erittelemällä vastauksien yhteneväisyyksiä ja eroja. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006)

Tässä tutkimuksessa haastattelut litterointiin kokonaisuudessaan, minkä jälkeen ne tarkasteltiin huolellisesti läpi. Tarkastuksen jälkeen tutkimuksen kannalta epärelevantit osiot poistettiin, minkä jälkeen lopullisesta tekstistä koodattiin eri kysymyksien vastaukset väreillä. Tulokset teemoitettiin aiheen osa-alueiden mukaan, jonka jälkeen niitä tarkasteltiin sisältöanalyysin tavoin. Luvuissa 4.1 ja 4.2 esitetään tulokset teemojen mukaan.

4. HAASTATTELUIDEN TULOKSET

4.1 Fotogrammetrian käyttökohteet ja käyttömuodot

Suunnittelun ohjauksessa fotogrammetrian käyttö painottuu siitä saatavan 3D pintamallin hyödyntämiseen. Pintamallia käytetään lähtöaineistona erityisesti korjaus – ja laajennushankkeissa. Korjausrakennushankkeissa pintamalli voi toimia vain visuaalisena aineistona rakennuksen nykytilasta, tai mallia voidaan hyödyntää suunnitelmien vertailuun yhdistämällä se tietomalliin. (Haastattelu 4) Visuaalisena aineistona mallia hyödynnetään esimerkiksi tilanmäärittelyssä, sillä mallista saadaan kattavaa tietoa tilojen kunnosta ja mahdollisista muutostarpeista. Pintamallia hyödynnetään myös tarjouspyyntölomakkeen liitteenä, jolloin urakoitsija säästyy kohdekäynniltä. (Haastattelu 1; Haastattelu 4)

Laajennushankkeessa fotogrammetrialla voidaan esimerkiksi dokumentoida olemassa olevan rakennuksen opasteita ja turvallisuusjärjestelmiä, joiden avulla laajennusosa saadaan vastaamaan olemassa olevaa rakennusta näiden osalta. Hankkeen alussa tuotettu fotogrammetrinen malli yhdistettynä tietomalliin auttaa tarkastelemaan laajennusosan asettumista ympäristöön ja olemassa oleviin rakennuksiin. (Haastattelu 2)

Uudisrakennushankkeissa fotogrammetrialla saatua mallia hyödynnetään toteumatietona siitä, mikä työmaan tämänhetkinen tilanne on. Toteumamallia käytetään esimerkiksi visuaalisena aineistona hankkeen osapuolten välisessä tiedonvaihdossa, dokumentaationa sekä vertailuun suunniteltuun malliin kanssa. (Haastattelu 3)

Työmaavalvonnassa fotogrammetrian käyttö pääasiassa kohdistuu siitä saadun pintamallin käyttöön dokumentaation apuvälineenä. Eri rakennusvaiheissa tehdystä toteumamallista voidaan tarkastella eri rakenteita sekä laitteistoja, jotka hankkeen valmistuessa jäävät piiloon. Mittausdatan tallentuminen malliin mahdollistaa hyvin yksityiskohtaisen uudelleen tarkastelun kohteesta ilman fyysistä työmaakäyntiä. Visualisointi selkeyttää kommunikaatiota, sillä pintamallista voi esittää selkeästi puutteelliset kohdat ja rakenteet. (Haastattelu 1) Pintamalliin tallentuu myös yleiskuva työmaasta, jolla voidaan tarkastella koko työmaan toimivuutta eri näkökulmista, kuten esimerkiksi työturvallisuuden (Haastattelu 1; Haastattelu 2)

4.2 Kokemukset fotogrammetrian käytöstä

Fotogrammetrialla tuotettu pintamalli toimii merkittävänä apuvälineenä hankkeen eri osapuolten välisessä tiedonvaihdossa. Hankkeissa hyvin usein työskentelee henkilöitä, jotka eivät osaa tulkita normaaleja työpiirustuksia, eivätkä täten ymmärrä käsiteltäviä asioita. Etenkin TVD (Target Value Design) -hankkeissa fotogrammetrialla tuotettu pintamalli on mahdollistanut erittäin selkeän ja toimivan tiedonvaihdon hankkeen osapuolien kanssa. (Haastattelu 1; Haastattelu 2) Korjausrakennushankkeissa pintamallin lisääminen tarjouspyyntölomakkeen liitteeksi on kerännyt etenkin urakoitsijoilta positiivista palautetta, sillä etänä tarkasteltava malli antaa todella laajat lähtötiedot kohteesta. (Haastattelu 4)

Taloudellisesta ja tehokkuudellisesta näkökulmasta tarkastellessa fotogrammetria tuo merkittävästi etuja kumpaankin kategoriaan. Esimerkiksi hankkeissa, joissa osapuolet ovat sijoittautuneita ympäri Suomea, luo päivittyvä toteumamalli mahdollisuuden tarkistella yksityiskohtia täysin etänä. Työmaan toteuman tarkastelu etänä vähentää työmaakäyntejä, mikä laskee kustannuksia sekä parantaa hankkeen tehokkuutta. Fotogrammetrialla tuotetun mallin kustannukset ovat hyvin alhaiset verrattuna siitä syntyviin etuihin. (Haastattelu 2; Haastattelu 3)

Hankkeen lopullinen toteumamalli toimii kattavana dokumentaationa kaikille osapuolille. Esimerkiksi tilojen tulevat käyttäjät voivat perehdyttää työntekijöitä etänä uusiin tiloihin, mikä edesauttaa heidän toiminnansuunnitteluansa. Toteumamallia voidaan myös hyödyntää apuvälineenä ylläpidon aikana. (Haastattelu 2)

Fotogrammetrian käyttöön liittyy myös vaihtelevia haasteita. Yleisimpänä ongelmana fotogrammetrian käytössä on fotogrammetristen mallien tuottajien vähyys rakennusalalla. Rakennusalan ulkopuolisia tuottajia löytyy runsaasti, mutta he eivät välttämättä ymmärrä millainen mallista halutaan ja mihin sitä hyödynnetään. Mallin tarkkuus on todella tärkeä tekijä etenkin jatkojalostuksen kannalta, sillä mallin täyttä käyttöpotentiaalia ei saada käytettyä epätarkalla kuvauksella. Mallin jatkojalostuksen tulisi olla myös tehokasta, toimivaa ja oikeaoppista, sekä sen tulisi palvella hankkeen osapuolia. (Haastattelu 2; Haastattelu 3)

Käyttöpotentiaalia laskee myös se, ettei reaaliaikaista toteumamallia saada automaattisesti päivitettyä. Etenkin sisävaiheen rakentamisessa eteneminen on todella nopeaa, jonka vuoksi esimerkiksi kuukausittain päivittyvät mallit eroavat toisistaan merkittävästi. Laajemman pinta-alan hankkeissa mallin jatkuva päivittäminen manuaalisesti on hidasta, mikä luo merkittävän rajoitteen reaaliaikaiseen toteumanseurantaan sekä vertailuun suunnitellun mallin kanssa. (Haastattelu 3)

Valvonnan kannalta suurimman ongelman luo fotogrammetrisen mallin tuottamisen hitaus. Työmaakäynnit ovat yleensä ajallisesti todella rajoitettuja, minkä vuoksi mallin tuottaminen samalla käynnillä on lähes mahdotonta. Käytettävä laitteisto ei ole vielä niin kehittynyttä, että sillä saataisiin sujuvasti integroitua työmaakäynnin yhteyteen. (Haastattelu 1) Fotogrammetrian käyttö ei ole rakennusalalla vielä yleistynyt, mikä johtaa siihen, ettei sitä ole otettu vakiotyökaluksi suunnittelun ohjauksessa tai työmaavalvonnassa. Täyttä potentiaalia käytön hyödyistä ei vielä tiedetä, jonka vuoksi käyttö on hyvin rajoittautunutta. (Haastattelu 1; Haastattelu 2: Haastattelu 3)

5. HAASTATTELUTUTKIMUKSEN JA KIRJALLISUUDEN YHTEYS

5.1 Fotogrammetria osana suunnittelun ohjausta

Pieksän (2016) mukaan fotogrammetrian käyttö korjaus- ja laajennushankkeissa tuo suunnittelun ohjaukseen lisäresursseja lähtötietoaineiston muodossa. Lähtötilanteen mallintaminen fotogrammetrialla tuo kattavan lähtötietoaineiston, joka palvelee hankkeen kaikkia osapuolia. Haastateltavat 1 ja 4 vahvistavat tämän ja kokevat pintamallin käytön hyödyksi esimerkiksi tilojen kuntojen ja muutostarpeiden määrittelyssä sekä tarjouspyynnön liitteenä. Haastateltavat 1 ja 2 ovat myös yhtä mieltä Kiriiak (2021) kanssa siitä, että pintamallin ja tietomallin yhdistäminen mahdollistaa suunnitteluratkaisuiden selkeän esitystavan, joka palvelee etenkin tiedonvaihtoa tilaajan suuntaan.

Haastateltavat 2 ja 4 pitävät mittausdatan tallentumista pintamalliin merkittävänä fotogrammetrian etuna. Mittausdatan tallentuminen malliin edistää erilaisten sisäisten infrastruktuurin osa-alueiden systemaattista tarkastelua, luoden täten mahdollisuuden suunnitellun korjaus- tai laajennushankkeen saumattomaan yhteensovittamiseen olemassa olevien rakennuksien kanssa. Haastateltavien kokemukset korreloivat Pieksä (2016) ja Seredovich et al. (2022) kanssa, jotka pitävät mittausdatan tallentumista malliin merkittävänä etuna, sillä kohteesta ei tarvitse erikseen käydä tekemässä mittauksia, vaan ne voidaan suorittaa suoraan mallista.

Haastateltavan 2 ja Huomo (2023) linjaukset fotogrammetrisen pintamallin ja pistepilven keskeisimmistä käyttötarkoituksista ovat hyvin toisiaan mukailevia. Molemmat linjaavat rakennusalueen visualisoinnin arvokkaaksi resurssiksi suunnittelun ohjaukselle, sillä se selkeyttää ehdotussuunnitteluvaiheessa eri yleisratkaisujen soveltuvuutta ympäristöön.

Uudisrakennushankkeissa fotogrammetrian käyttö ei rajoitu vain rakennusalueen visualisointiin. Seredovich et al. (2022) mukaan fotogrammetriaa voidaan hyödyntää toteumamallin tuottamisessa. Fotogrammetrialla tuotettua pintamallia ja pistepilveä käytetään toteumatietona rakentamisen tämänhetkisestä tilasta. Pistepilven ja tietomallin vertailu mahdollistaa etäyhteydellä tapahtuvan rakennusprosessin tarkastelun kaikille suunnitteluprosessin osapuolille. Seredovich et al. (2022) sekä haastateltavat 2 ja 3 pitävät tätä etätarkastelumahdollisuutta merkittävänä, sillä sen

avulla säästetään runsaasti suunnitteluosapuolien ajallisia resursseja. Haastateltavien 2 ja 3 mukaan toteumamallia käytetään vertailun lisäksi visuaalisena aineistona osapuolten välisessä tiedonvaihdossa sekä dokumentaationa. Haastateltava 3 korostaa, että toteumamallin käytön tuomat edut eivät vain rajoitu ajallisten resurssien säästöön. Toteumamallin käyttö vaikuttaa positiivisesti hankkeen taloudelliseen puoleen, tehostaa kommunikaatiota sekä päätöksentekoprosessia.

5.2 Fotogrammetria osana työmaavalvontaa

Työmaavalvonnassa fotogrammetrian hyödyntäminen Kankkunen (2018) sekä Conde et al. (2020) mukaan painottuu sen käyttöön tiedonkeruun ja dokumentaation apuvälineenä. Haastateltava 1 on yhtä mieltä tutkimuksien kanssa ja painottaa kuinka toteumamalleista esimerkiksi on hyötyä tilanteissa, joissa piiloon jääneitä rakenteita sekä laitteistoja täytyy tarkastella jälkikäteen. Mittausdatan tallentuminen malliin mahdollistaa yksityiskohtaisen tarkastelun ja mittauksien teon ilman fyysistä työmaakäyntiä.

Työmaan turvallisuuden ja ympäristön valvonnan näkökulmasta Kankkunen (2018) pitää fotogrammetriaa hyödyllisenä työkaluna. Toteumamalliin tallentuu yleiskuva työmaasta ja sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi turvallisuussuunnittelussa sekä aineistona perehdytyksessä. Varbla et al. (2021) mukaan fotogrammetrian avulla on myös mahdollista tarkastella esimerkiksi maan muodonmuutoksia ja niiden vaikutuksia rakenteiden painumiin. Fotogrammetria mahdollistaa myös nopean tiedonkeruun laajoissa muodonmuutostilanteissa, kuten sortumissa, ilman ihmishenkien vaarantumista. Haastateltavat 1 ja 2 ovat yhtä mieltä Kankkunen (2018) kanssa, mutta eroavat näkemyksissään hieman Varbla et al. (2021) kanssa. Haastateltavat 1 ja 2 kokevat ettei käytettävissä oleva laitteisto ole vielä niin kehittynyttä, että mallin tuottaminen onnistuisi erityisen nopeasti työmaakäynnin yhteydessä.

Fotogrammetria tuo apua etenkin sellaisissa tilanteissa, joissa tarkasteltava kohde on vaikeasti tavoitettavissa. Esimerkiksi kohteissa, joissa nosturilla liikkuminen on rajoitettua, kopterikameran hyödyntäminen edesauttaa valvontaa merkittävästi. Fotogrammetrian avulla voidaan havaita esimerkiksi kantavien rakenteiden puuttuvia rakenne- tai liitososia, materiaalien laatuvirheitä sekä alimitoitettuja rakenteita ja niiden komponentteja. (Aalto 2016) Haastateltavan 1 kokemukset ovat yhdenmukaiset tutkimuksen kanssa ja hän täsmentää, kuinka pintamallin käyttö edistää myös ongelmien raportointia mahdollistamalla selkeän esittämisen puutteellisista kohteista ja rakenteista.

Tutkimuksessa (Omar et al. 2018) esitetylle automaattiselle aikatauluvalvonnalle olisi asiantuntijahaastatteluiden 1 ja 2 mukaan selkeästi kysyntää, sillä asiantuntijat listaavat

keskeiseksi ongelmaksi sen, ettei fotogrammetrista mallia kerkeä tuottaa työmaakäynnin yhteydessä sujuvasti. Automaattisesti tuotetun mallin luominen ja sen vertaaminen suunniteltuun malliin edistäisi huomattavasti aikavalvontaa ja todennäköisesti myös muita valvonnan osa-alueita.

6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin fotogrammetrian hyödyntämismahdollisuuksia suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa. Tutkimuksen päätavoitteena oli kartoittaa fotogrammetrian käyttökohteet, siitä saatavat edut ja siihen liittyvät ongelmat sekä haasteet. Kaikki mainituista tavoitteista saavutettiin. Tutkimuksen luotettavuuden kannalta on huomioitava, että työn kirjallisuuskatsauksessa on käytetty lähteinä vertaisarvioitujen lähteiden lisäksi diplomitöitä sekä insinööritöitä. Haastattelututkimuksen osalta otanta oli melko suppea, mutta neljän haastattelun avulla saatiin kuitenkin kattavasti kerättyä aineistoa tutkimusongelmaan liittyen.

Tutkimuksen aikana tarkasteltiin suunnittelun ohjauksen ja työmaavalvonnan pääpiirteitä sekä niissä ilmeneviä ongelmia sekä haasteita. Kirjallisuudesta tutkittiin fotogrammetrian käyttömahdollisuuksia suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa, sekä sitä mitä vaikutuksia fotogrammetrian käytöllä on kyseisillä alueilla.

Käyttömahdollisuuksia tutkittaessa todettiin fotogrammetrian tarjoavan suunnittelun ohjaukseen sekä työmaavalvontaan laajasti tukea erilaisilla ominaisuuksilla. Fotogrammetrian käyttökohteet suunnittelun ohjauksessa ovat lähtötieto- ja toteumamallin tuottaminen, dokumentaatio ja visualisointi. Etätarkastelumahdollisuus lähtö- ja toteumatilanteesta sekä mahdollisuus suorittaa tarkkoja mittauksia suoraan mallista tuo säästöjä ajallisiin ja taloudellisiin resursseihin, osapuolien työmaakäyntien vähentyessä. Toteumamalli edesauttaa oikea-aikaista päätöksentekoa, sekä mahdollistaa suunnitelmien vertailun toteutukseen.

Visualisointi tukee suunnittelun ohjausta etenkin osapuolten välisessä kommunikaatiossa. Pintamalli itsessään toimii selkeänä ja kattavana dokumentaationa ja sen integraatiolla tietomallin kanssa saavutetaan suunnitteluratkaisuiden selkeä esittämistapa. Tämä esitystapa palvelee etenkin tilaajan suuntaan sellaisissa tilanteissa, joissa tilaaja ei ole rakennusalan ammattilainen, eikä täten osaa lukea suunnittelupiirrustuksia.

Työmaavalvonnassa fotogrammetrian käyttökohteet ovat hyvin samanlaisia suunnittelun ohjauksen kanssa. Pääasialliset käyttökohteet kattavat toteumamallin tuottamisen, dokumentaation ja visualisoinnin. Toteumamalli toimii kokonaisvaltaisena dokumentaationa työmaasta, mahdollistaen rakenteiden, laitteistojen ja muiden yksityiskohtien tarkastelun. Mallin edut korostuvat tilanteissa, joissa tietyt yksityiskohdat jäävät tarkastamatta perinteisen työmaakäynnin yhteydessä. Tällöin ne on mahdollista

tarkastaa vaivattomasti etänä mallin avulla, sekä mallista voidaan suorittaa tarkkoja mittauksia kyseisistä yksityiskohdista ilman fyysistä työmaakäyntiä. Fotogrammetria tuo työmaavalvontaan apua myös tilanteissa, joissa tarkasteltava kohde on vaikeasti saavutettavissa. Kopterikameran käyttö mahdollistaa perusteellisen tarkastelun rakenteista ja yksityiskohdista, joihin pääseminen esimerkiksi nosturilla olisi vaikeaa.

Fotogrammetrian hyödyntämisen suhteen esiintyy haasteita sekä suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa. Asiantuntijahaastatteluissa esille tulleita ongelmia on esimerkiksi mallien tuottajien vähyys rakennusalalla, manuaalinen mallin päivitys ja mallin tuottamisen hitaus. Etenkin suunnittelun ohjauksen kannalta ongelmia aiheuttaa tilanteet, joissa mallin tuottaminen on tilattu rakennusalan ulkopuoliselta toimijalta, joka ei ymmärrä mallin käyttötarkoitusta. Tämä laskee runsaasti mallin käyttöpotentiaalia ja aiheuttaa ongelmia esimerkiksi tietomallin integroinnin kanssa.

Toteumamallin päivityksen automatisaation puute aiheuttaa ongelmia suunnittelun ohjauksessa sekä työmaavalvonnassa. Tilanteissa, joissa rakentamisen eteneminen on nopeaa, esiintyy merkittäviä eroja toteumamallien välillä. Tämä rajoittaa reaaliaikaista toteumaseurantaa, sekä hankaloittaa esimerkiksi vertailua suunnitellun mallin kanssa. Työmaavalvonnan kannalta fotogrammetrian laitteisto ei ole vielä niin kehittynyttä, että mallin tuottaminen onnistuisi vaivattomasti työmaakäynnin yhteydessä.

Fotogrammetrian käyttö on yleisestikin rajoittunutta rakennusalalla, eikä sitä ole otettu vakiotyökaluksi suunnittelun ohjauksessa tai työmaavalvonnassa. Kirjallisuudessa esitetyt automaattisesti päivittyvät toteumamallit eivät ole vielä kaupallisessa käytössä, joten täyttä potentiaalia fotogrammetrian hyödyistä suunnittelun ohjauksessa ja työmaavalvonnassa ei vielä tiedetä. Rakennusalan olisi kuitenkin tärkeä omaksua avoimempi asenne uusien teknologisten innovaatioiden hyödyntämiseen, sillä käyttäjäkokemusten avulla teknologiaa voidaan kehittää entistä paremmin soveltuvaksi rakennusalalle.

Suunnittelun ohjauksen ja työmaavalvonnan kontekstissa fotogrammetriasta on tehty vähäisesti tutkimuksia, joten jatkotutkimuksia tulisi suorittaa. Jatkotutkimuksissa olisi hyvä perehtyä esimerkiksi käytön yleisyyteen liittyviin eroavaisuuksiin eri maiden välillä.

LÄHTEET

Aalto, R. (2016). Hallien tarkastustoiminta fotogrammetrian avulla. Insinöörityö. Metropolia ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma. 36 s.

Conde, A., García-Sanz-Calcedo, J. & Rodríguez A. (2020). Use of BIM with photogrammetry support in small construction projects. Case study for commercial franchises. Journal of Civil Engineering and Management. Vol 26(6), pp. 513–523. DOI: 10.3846/jcem.2020.12611.

Chen, X., Chang-Richards, A., Pelosi, A., Jia, Y., Shen, X., Siddiqui, M. & Yang N. (2021). Implementation of technologies in the construction industry: a systematic review. Engineering, Construction and Architectural Management. Vol. 29(8), pp. 3181–3209. DOI: 10.1108/ECAM-02-2021-0172.

Foster S. & Halbstein D. (2014). Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and Design. Rochester Institute of Technology, NY, USA. 104 s.

Huomo, E. (2023). Työmaan 3D-aluesuunnitelma. Insinöörityö. Metropolia ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma. 43 s.

Jyväskylän yliopisto (2021). Haastattelut, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.6.2023) https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/aineistonhankintamenetelmat/haastattelut

Jäväjä, P. & Lehtoviita, T. (2016). Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Helsinki: Rakennustieto Oy. 106 s.

Junnonen J. -M. (2009). Sopimusten hallinta. 1. painos. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy. 166 s.

Kankainen, J. & Junnonen, J.-M. (2020). Rakennuttaminen. 6. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy. 154 s.

Kankainen, J. & Kuoppamäki, A. (1999). Urakan työmaavalvonta. Teknillinen korkeakoulu, Rakentamistalouden laboratorio. 76 s.

Kankkunen, T. (2018). Rakennustuotannon digitaalinen työturvallisuusjohtamisjärjestelmä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustuotanto. 101 s.

Kiriiak, N. (2021). Development and implementation of technical decision for digital support of construction using photogrammetry methods. Nuclear Engineering and Design, Vol. 381, article 111366. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2021.111366.

Leppänen, E.-P. (2016). Suunnittelun ohjaus rakennushankkeessa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Tuotantotalouden tiedekunta. 92 s.

Li, Y. & Liu, C. (2019). Applications of multirotor drone technologies in construction management. International Journal of Construction Management, Vol. 19(5), pp. 401–412. DOI: 10.1080/15623599.2018.1452101.

Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. & Boehm J. (2014). Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging. 2. painos. De Gruyter, Berlin, Germany. 684 s.

Moon, D., Chung, S., Kwon, S., Seo, J. & Shin J. (2019). Comparison and utilization of point cloud generated from photogrammetry and laser scanning: 3D world model for smart heavy equipment planning. Automation in Construction, Vol. 98, pp. 322–331. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.07.020.

Omar, H., Mahdjoubi, L. & Kheder G. (2018). Towards an automated photogrammetry-based approach for monitoring and controlling construction site activities. Computers in Industry, Vol. 98, pp.172–182. DOI: 10.1016/j.compind.2018.03.012.

Parsamehr, M., Perera, U., Dodawala, T., Perera, P. & Ruparathna R. (2023). A review of construction management challenges and BIM-based solutions: perspectives from the schedule, cost, quality, and safety management. Asian Journal of Civil Engineering, Vol. 24(1), pp. 353–389. DOI: 10.1007/s42107-022-00501-4.

Pieskä, I. (2016). Fotogrammetrian ja kuvantunnistusohjelmiston hyödyntäminen rakenteiden vauriokartoituksessa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustuotanto. 64 s.

Prittinen, M. (2021). Comparison of camera equipment for photogrammetric digitization of hard rock tunnel faces. Diplomityö. Insinööritieteiden korkeakoulu. Kalliotekniikka. 62 s.

RT 10-11224 (2016). Talonrakennushankkeen kulku. Rakennustietosäätiö. 4 s.

RT 10-11284 (2017). Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo HJR18. Rakennustietosäätiö. 32 s.

RT 103018 (2018). Projektijohtourakan tehtäväluettelo. Rakennustietosäätiö. 11 s.

RT 103132 (2019). Fotogrammetrian käyttö rakennushankkeessa. Rakennustietosäätiö. 9 s.

RT 103171 (2019). Talonrakennustöiden työmaavalvonnan tehtäväluettelo. Rakennustietosäätiö. 9 s.

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka A. (2006). Strukturoitu ja puolistrukturoitu haastattelu, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.7.2023) https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3_3.html

Seredovich, V., Vach, K. & Shults R. (2022). The Capabilities of 3d Geospatial Technologies in the Decision-Support Process for Design, Construction, and Employment of Engineering Structures. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 46(1), pp. 217–223. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-217-2022.

Shen, W., Shen, Q. & Sun Q. (2012). Building Information Modeling-based user activity simulation and evaluation method for improving designer–user communications. Automation in Construction, Vol. 21, pp. 148–160. DOI: 10.1016/j.autcon.2011.05.022.

Stolt, T. (2015). Korjausrakentamisen tietomallintaminen ja Tekla Structures

-komponetit. Insinöörityö. Metropolia ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. 44 s.

Varbla, S., Ellmann, A. & Puust R. (2021). Centimetre-range deformations of built environment revealed by drone-based photogrammetry. Automation in Construction, Vol. 128, article 103787. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103787.

Wang, Q. & Kim M-H. (2019). Applications of 3D point cloud data in the construction industry: A fifteen-year review from 2004 to 2018. Advanced Engineering Informatics, Vol. 39 (2019), pp. 306–319. DOI: 10.1016/j.aei.2019.02.007.

LIITE A: HAASTATTELUKYSYMYKSET

1. Työnimike
2. Millaisessa hankkeessa olet hyödyntänyt fotogrammetriaa osana suunnittelun ohjausta?
3. Millaisessa hankkeessa olet hyödyntänyt fotogrammetriaa osana työmaavalvotaa?
4. Mikäli olet hyödyntänyt fotogrammetriaa erilaisissa hankkeissa, mitä keskeisiä eroja huomioisit fotogrammetrian käytössä eri hankkeissa?
5. Kuinka olet hyödyntänyt fotogrammetriaa suunnittelun ohjauksessa?
6. Kuinka olet hyödyntänyt fotogrammetriaa työmaavalvonnassa?
7. Mitä ohjelmistoja, laitteita tai muita resursseja olet käyttänyt fotogrammetrian hyödyntämiseen?
8. Minkälaisia etuja olet havainnut fotogrammetrian käytöstä suunnittelun ohjauksessa ja/tai työmaavalvonnassa?
9. Minkälaisia haasteita olet kohdannut fotogrammetrian käytöstä suunnittelun ohjauksessa ja/tai työmaavalvonnassa? Mitä kehitettävää löytyy?
10. Suosittelisitko fotogrammetrian käyttöä osana suunnittelun ohjausta ja/tai työmaavalvontaa? Miksi?