

Niina-Maija Kekki

# 360°-KUVAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN RAKENNUSTUOTANNON OHJAUK- SESSA

Diplomityö  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Tarkastajat: Professori Arto Saari  
Väitöskirjatutkija Kimmo Keskiniva  
Joulukuu 2023

# TIIVISTELMÄ

Niina-Maija Kekki: 360°-kuvauksen hyödyntäminen rakennustuotannon ohjauksessa  
Diplomityö  
Tampereen yliopisto  
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Joulukuu 2023

---

Rakennusalan tuottavuuden kasvu ei ole pysynyt muiden toimialojen kasvuvauhdissa viime vuosikymmeninä. Toimialan digitalisaatioasteen ja tuottavuuden välillä voidaan havaita positiivista korrelaatiota, mutta rakennusala on sekä digitalisaatioasteen että tuottavuuden perusteella monia muita toimialoja jäljessä. Siirtymällä rakennusosalalla digitaalisiin työkaluihin voidaan pyrkiä vastaamaan tuottavuuden ongelmaan. Näin voidaan vähentää aikaa vieviä manuaalisia valvonta- ja ohjaustöitä sekä tehostaa siten rakennustuotannon ohjauksen prosesseja.

Tässä diplomityössä selvitettiin, miten 360°-kuvausta voidaan hyödyntää rakennustuotannon ohjauksessa rakennushankkeen sisävalmistusvaiheessa. Tutkimuksessa kartoitettiin 360°-kuvauksen nykytilannetta rakentamisessa ja etsittiin sekä hyviä toimintatapoja että kehityskohteita työkalun hyödyntämiseen rakennustuotannon ohjausprosessin tukena. Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuustutkimusta sekä empiiristä tutkimusta. Empiirisen tutkimuksen tutkimuskohteenä toimi rakenteilla oleva Assiksi kutsuttu Ahveniston sairaala Hämeenlinnassa. Hankkeen sisävalmistusvaihe toteutetaan tahtituotantona. Työmaalla suoritetaan viikoittaisia 360°-kuvauksia, kuvauksessa ja kuvamateriaalin tarkastelussa käytetään OpenSpace-sovellusta. Empiiriosuudessa tietoa kerättiin tutkimuskohteessa muun työskentelyn ohessa havainnoimalla sekä haastatteluilla. Haastatteluosuudessa haastateltiin sekä Assi-hankkeessa 360°-kuvauksia tekeviä henkilöitä että 360°-kuvausten materiaalia työssään hyödyntäviä asiantuntijoita.

360°-kuvaus todettiin sekä kirjallisuuden että empiirisen tutkimuksen perusteella moneen muuhun rakentamisen toteumatiedon keräyksen teknologiaan verrattuna yksinkertaiseksi ja nopeaksi toimintatavaksi. Kuvaus todettiin siitä huolimatta aikaa vieväksi ja työlääksi tehtäväksi, joka olisi hyvä saada yhdistettyä muihin työmaakerroksiin. Kuvamateriaali todettiin hyväksi erityisesti rakentamisen tilannekuvan hahmotuksessa. Parhaiten tahtituotantoa tukeva hyöty saavutetaan, jos kuvaukset ajoitetaan tahtiajan mukaiseksi. Tarkemmassa, laadullisessa tarkastelussa haasteeksi muodostuu kuvanlaatu. Osittain kuvanlaadun haasteet johtuvat työmaan olosuhteista, kuten valaistusolosuhteista ja työalueiden sotkuisuudesta, mutta siihen vaikuttavat myös käytettävä kuvauslaitteisto ja kuvadatan pakkaus. Kuvamateriaalin tarkastelussa voidaan hyödyntää automaatiota. Kuvamateriaalin perusteella voidaan laskea automaattisesti rakentamisen toteumaa, mutta teknologia ei ole rakennusosalalla vielä kovin laajassa käytössä. Tietokonenäön ja fotogrammetrian kehityksen myötä 360°-kuvista voitaisiin automatisoida myös rakentamisen laadun tarkastelua. 360°-kuvauksen laajempi käyttö rakennustuotannon ohjauksessa vaatii lisää myös ohjelmistojen välisen yhteentoimivuuden kehitystä, jotta tieto mahdollisista poikkeamista saadaan liikkumaan eri ohjelmistojen välillä.

Tärkeimmiksi 360°-kuvausten hyödyntämistä rakennustuotannon ohjauksessa rajoittaviksi tekijöiksi havaittiin tutkimuksen perusteella kuvamateriaalin keräyksen haasteet, kuvanlaatu, ohjelmistojen yhteentoimivuuden puutteet sekä automaation ja tietokonenäön hyödyntämätön potentiaali kuvamateriaalin tarkastelussa. Ongelmien ratkaisu vaatii ohjelmisto- ja rakennusalan välistä yhteistyötä, jotta käyttöä rajoittaviin tekijöihin löydetään parhaiten rakennustuotannon ohjauksen tarpeita palvelevat ratkaisut. Olennaista 360°-kuvauksen käyttöönotossa rakennushankkeessa on määritellä kuvauksen käyttötarkoitus, jonka jälkeen valitaan käyttötarkoitukseen tarkoituksenmukaiset digitaaliset työkalut ja kameralaitteisto.

Avainsanat: 360°-kuvaus, digitalisaatio, automaatio, yhteentoimivuus, toteumaseuranta, tietokonenäkö, lean-rakentaminen, tahtituotanto, rakennustuotannon ohjaus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Niina-Maija Kekki: The utilization of 360° images in construction management  
Master's thesis  
Tampere University  
Master's Degree Programme in Civil Engineering  
December 2023

---

The productivity of construction industry has fallen behind other industries in the past decades. Positive correlation between industries' digitalization index and productivity has been observed, but construction industry remains behind multiple other industries in both digitalization and productivity. Adaptation of digital tools in the construction industry could resolve the industry's challenges with productivity. Thereby the time-consuming, manual monitoring and management tasks could be minimized, and the processes of construction management enhanced.

In this master's thesis the possibilities of utilizing 360° images in construction management of internal building works was studied. Research was conducted to clarify contemporary use of 360° images in the construction industry and to determine best procedures and challenges with adaptation of the tool to support construction management processes. Research methods used in this master's thesis were literature study and empirical study. The empirical study took place at the Hospital of Ahvenisto called Assi, that is currently under construction in Hämeenlinna. Takt production is used during the internal construction works of the new hospital. The site is captured weekly with 360° images, OpenSpace-software is used for data capture and inspection of the captured images. In the empirical study observations were made during other work assignments, and with interviews. The interviews were targeted to experts capturing the construction site and other specialists who use the collected visual data in their work.

Both the literature study and empirical study demonstrated that compared to other data collection technologies used in progress monitoring, 360° images were simple and efficient way to capture data. However, site capture was still considered time-consuming and laborious task that needs to be integrated with other site walks. The captured images were found useful, especially to perceive the overall status of construction. The best advantages for takt production management are achieved with syncing the site capture with takt time. The quality of the captured visual data restricts more precise inspection of construction quality. Partially the challenges concerning visual data quality are due to typical construction site circumstances, such as lighting conditions and clutter. Other influencing factors include camera hardware and data compression. Automation can be used to inspect the captured 360° images. With automation, the percentage completed of structures can be calculated, but the technology has not been very vastly adapted to construction industry. With further development of computer vision and photogrammetry, the use of automation could be expanded to construction quality monitoring. To utilize 360° images further in construction management, the interoperability of software needs to be advanced to move the data of possible deviations between software.

The biggest issues restricting utilization of 360° images in construction management are according to this research challenges with construction site capture, quality of captured images, lack of interoperability of digital tools and unused potential of automation and computer vision in 360° image analyzation. These issues can be solved with collaboration between construction industry and software development to discover solutions that provide best support for construction management. Crucial part of initializing utilization of 360° images in a construction project is to determine the purpose of the tool. The digital tools and camera hardware must be selected according to the determined purpose.

Keywords: 360° images, digitalization, automation, interoperability, progress monitoring, computer vision, lean construction, takt production, construction management

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# ALKUSANAT

Vuosia sitten ylioppilaaksi kirjoitettuani olin vahvasti sitä mieltä, että minusta ei ainakaan koskaan tule insinööriä. Niinpä hakeuduin vaatetusosalalle, ja valmistuttuani 10 vuotta siten muotoilijaksi vannoin, että en koskaan enää opiskele. Tässä sitä kuitenkin nyt ollaan, enkä vastaisuudessa aio moisia lupauksia tehdä.

Tämän diplomityön kirjoitusprosessi on edennyt varsin vaihtelevasti: välillä tekstiä on syntynyt kuin itsestään, välillä on mennyt jopa viikkoja ilman, että olen kirjoittanut riviäkään. Prosessi on ollut kuitenkin kaikin puolin opettavainen, ja haluan kiittää Skanska Talonrakennus Oy:tä ja erityisesti Ahveniston sairaala -hanketta tämän diplomityön mahdollistamisesta. Kiitokset myös ohjaajilleni Arto Saarelle Tampereen yliopistosta ja Antti Talolle Skanskalta tsempeistä kirjoituksen aikana. Erityisesti haluan kiittää työn tarkastajaa Kimmo Keskinivaa todella perusteellisesta ja rakentavasta palautteesta läpi kirjoitusprosessin. Kiitokset myös koko Assin porukalle hyvästä ja kannustavasta työilmapiiristä, jossa on hyvä jatkaa myös opiskelurupeaman valmistuttua ammattilaiseksi kasvamista rakennusalan digitaalisten ratkaisujen parissa.

Valtava kiitos puolisolleni Mikolle tuesta koko opiskelurupeaman aikana. Tärkeimpänä kiitokset myös pojalleni Allanille, joka kaiken kiireen keskellä on ollut päivittäin muistuttamassa siitä, mikä elämässä on lopulta tärkeintä.

Hämeenlinnassa, 5.12.2023

Niina-Maija Kekki

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Tutkimusongelma ja -menetelmät .....	3
2. LEAN RAKENNUSALALLA .....	5
2.1 Tahtituotanto .....	7
2.2 Lean ja digitalisaatio .....	8
3. RAKENNUSTUOTANNON OHJAUS JA DIGITALISAATIO .....	10
3.1 Automatisoidut tiedonkeruumenetelmät .....	12
3.2 Tiedonkeruumenetelmän valinta .....	13
3.3 Tilannetiedon keräys sisätyövaiheessa .....	15
4. 360°-KUVAUS JA TIETOKONENÄKÖ RAKENNUSALALLA .....	17
4.1 Käyttömahdollisuudet rakentamisessa .....	17
4.1.1 Aikatauluhallinta .....	19
4.1.2 Laatu .....	21
4.1.3 Turvallisuus .....	22
4.2 Kuvamateriaalin keräyksen ja hyödyntämisen haasteita .....	23
5. TAPAUSTUTKIMUS .....	26
5.1 Tutkimuskohde – Ahveniston sairaala Assi .....	26
5.2 Käytettävä kuvauslaitteisto .....	28
5.3 OpenSpace-sovellus .....	29
5.3.1 OpenSpace Capture .....	30
5.3.2 OpenSpace Track .....	36
5.3.3 OpenSpacen LiDAR-skannaus .....	37
5.4 360°-kuvauksen käyttöaktiivisuus Assi-hankkeella .....	38
6. HAASTATTELUTUTKIMUS .....	41
6.1 OpenSpace-kuvaajien ryhmähaastattelu .....	41
6.2 OpenSpacen käyttäjien yksilöhaastattelut .....	44
6.2.1 OpenSpacen ominaisuuksien käytettävyys .....	46
6.2.2 Käyttö rakennustuotannon ohjauksessa .....	47
6.2.3 Yhteentoimivuuden tarve muiden ohjelmistojen kanssa .....	50
6.2.4 Automaation mahdollisuudet .....	51
6.2.5 Ominaisuudet muihin vastaaviin ohjelmistoihin ja kilpaileviin teknologioihin verrattuna .....	52
6.2.6 Koettu hyöty hankkeelle .....	53
6.3 Haastatteluvastausten yhteenveto .....	54
7. POHDINTA .....	56
7.1 Tutkimustulosten luotettavuuden arviointi .....	59
7.2 Jatkotutkimusehdotukset .....	60
8. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	62
LÄHTEET .....	65

LIITE A: OPENSPLACE-KUVAAJIEN HAASTATTELUKYSYMYKSET .....	72
LIITE B: OPENSPLACE KÄYTTÄJIEN HAASTATTELUKYSYMYKSET .....	73

# KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Arvonlisäykseen perustuva työn tuottavuus toimialoitain vuosina 1976–2017, työn tuottavuuden indeksi 1975=100 (Tilastokeskus 2023) .....</i>	<i>1</i>
<b>Kuva 2.</b>	<i>Toimialan digitalisaatioindeksin ja tuottavuuden välinen korrelaatio (suomennettu lähteestä Barbosa et al. 2017, s. 57) .....</i>	<i>2</i>
<b>Kuva 3.</b>	<i>Tahtiakatauluesimerkki (Junnonen 2022, s. 31) .....</i>	<i>8</i>
<b>Kuva 4.</b>	<i>Automatisoituun rakentamisen toteumaseurantaan vaikuttavat tekijät käytettävän teknologian mukaan (perustuu lähteeseen Qureshi et al. 2023) .....</i>	<i>14</i>
<b>Kuva 5.</b>	<i>360°-kuvauksen prosessi rakentamisen aikatauluseurannassa (perustuu lähteeseen Barbosa &amp; Costa 2022).....</i>	<i>19</i>
<b>Kuva 6.</b>	<i>Havainnekuva Hämeenlinnan Assi-sairaala. Nykyinen Kanta-Hämeen keskussairaala näkyy kuvassa uuden rakennuksen takana (Ahveniston sairaala 2021).....</i>	<i>27</i>
<b>Kuva 7.</b>	<i>360°-kuvauksessa Assi-hankkeella käytettävät kuvausjalustaan kiinnitetyt Insta360-kamerat (Niina Kekki) .....</i>	<i>29</i>
<b>Kuva 8.</b>	<i>Alakaton yläpuolisia talotekniikan asennuksia (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen selainversiosta).....</i>	<i>31</i>
<b>Kuva 9.</b>	<i>Sumennettu henkilö OpenSpace-sovelluksessa (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen selainversiosta) .....</i>	<i>32</i>
<b>Kuva 10.</b>	<i>Rakentamisen tilannetta syyskuun alussa ja kesäkuun lopussa samassa tilassa rinnakkain tarkasteltuna (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen selainversiosta).....</i>	<i>33</i>
<b>Kuva 11.</b>	<i>Talotekniikan asennusten tarkastelua 360°-kuvasta tietomallin kanssa rinnakkain (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen selainversiosta).....</i>	<i>34</i>
<b>Kuva 12.</b>	<i>OpenSpace-sovellukseen tehty field note -havainto (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen selainversiosta) .....</i>	<i>35</i>
<b>Kuva 13.</b>	<i>OpenSpacen toteumaseurantaesimerkki (OpenSpace 2023g).....</i>	<i>37</i>
<b>Kuva 14.</b>	<i>LiDAR-skannattua kuvaa ja 2D-kuvaa rinnakkain sekä mittatyökalun käyttöä (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen selainversiosta).....</i>	<i>38</i>
<b>Kuva 15.</b>	<i>OpenSpacen raportti kirjautumisista palveluun marraskuun ensimmäisen viikon aikana (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen kirjautumistiedoista 8.11.2023) .....</i>	<i>39</i>
<b>Kuva 16.</b>	<i>360°-kuvausten kattavuus Assin neljännessä kerroksessa (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-mobiilisovelluksesta) .....</i>	<i>40</i>

<b>Kuva 17.</b>	<i>Assin neljännessä kerroksessa tehtyjen 360°-kuvausten aikajana (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen selainversiosta) .....</i>	<i>40</i>
<b>Kuva 18.</b>	<i>360°-kuvauksen käyttöönoton prosessikaavio rakennushankkeessa .....</i>	<i>64</i>

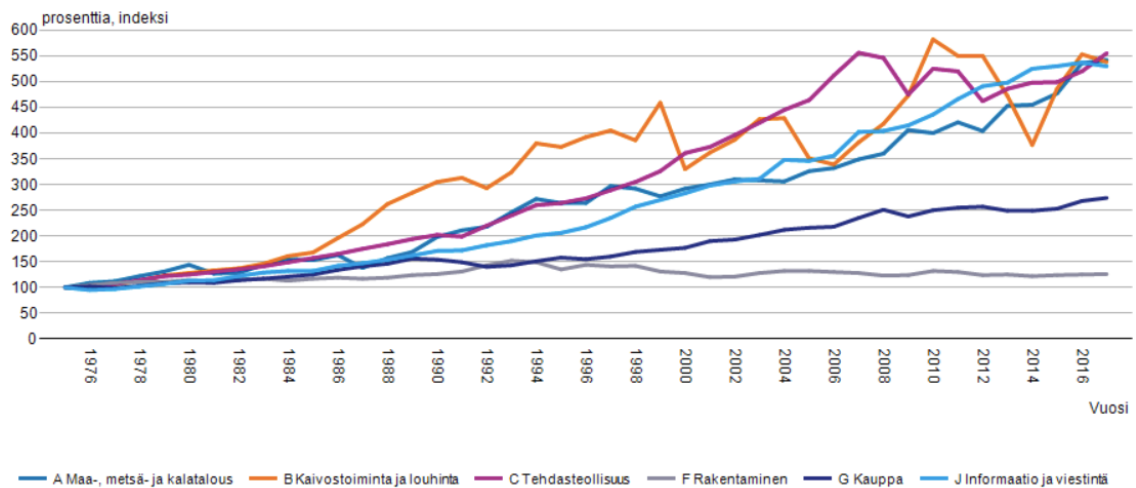


# LYHENTEET JA MERKINNÄT

BIM	Building Information Model, rakennuksen tietomalli: 3D-malli, jossa on myös objektien tietosisältöä
CV	Computer Vision, tietokonenäkö
GDPR	General Data Protection Regulation, EU:n yleinen tietoturva-asetus
LCI	Lean Construction Institute, lean-rakentamista edistävä voittoa tavoittelematon järjestö
LiDAR	Light Detection and Ranging, valotutka
RFID	Radio Frequency Identification, radiotaajuinen etätunnistus
TPS	Toyota Production System, Toyotan tuotantojärjestelmä
4D-malli	Rakennuksen tietomalli, johon on lisätty myös aikataulutieto

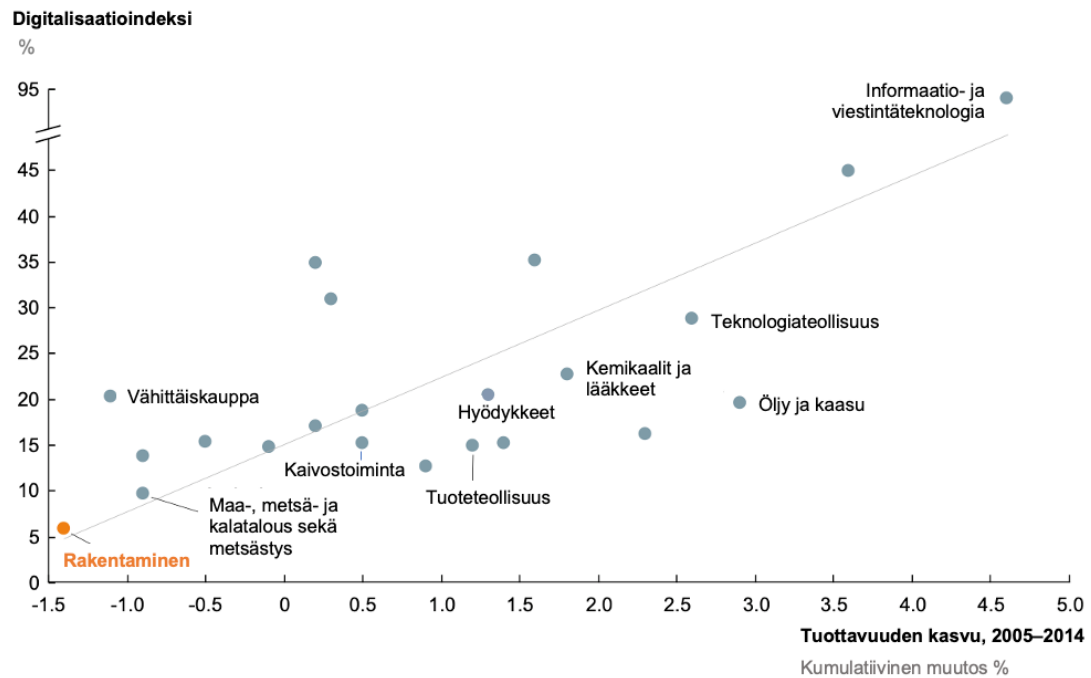
# 1. JOHDANTO

Rakennusala on maailmanlaajuisesti merkittävä teollisuuden ala, mutta alan tuottavuus on pysynyt melko tasaisena vuosikymmeniä, vaikka samanaikaisesti monella muulla toimialalla tuottavuudessa on tapahtunut jopa moninkertaista nousua (Barbosa et al. 2017, s. 1). Arvonlisäykseen perustuvaa työn tuottavuutta Suomessa toimialoittain on havainnollistettu kuvassa 1, jossa vertailukohtana on pidetty vuoden 1975 tuottavuuden indeksiä. Kuvaajasta havaitaan rakennusalan tuottavuuden pysyneen 70-luvun tasolla myös Suomessa. Rakentamisen matalaa tuottavuutta on yritetty selittää esimerkiksi rakennushankkeiden ainutkertaisuudella ja monimutkaisuudella (Lehto 2020, s. 36). Ratkaisua tuottavuusongelmaan on haettu niin lean-ajattelusta, allianssimallista kuin digitalisaatiostakin (Lohilahti 2017).



**Kuva 1.** Arvonlisäykseen perustuva työn tuottavuus toimialoittain vuosina 1976–2017, työn tuottavuuden indeksi 1975=100 (Tilastokeskus 2023)

Digitalisaatiolla tarkoitetaan tässä yhteydessä organisaation prosessien ja projektinhallinnan siirtymää digitaalisiin työkaluihin. Digitalisaatiolla voidaan parantaa rakennusalan tuottavuutta ja kilpailukykyä, mutta tämä vaatii vielä teknologian, prosessien ja organisaatioiden kehitystä. (Talamo & Bonanomi 2020) Rakennusalan yritykset sijoittavat verrattain vähän rahaa teknologiaan ja digitaalisiin työkaluihin, joiden avulla ala voisi kasvattaa tuottavuuttaan (Barbosa et al. 2017, s. 56). Kuvassa 2 on esitetty digitalisaatioasteen ja tuottavuuden kasvun välistä korrelaatiota toimialoittain. Rakennusala on esitetty kuvaajassa oranssilla korostusvärillä. Kuvasta havaitaan, että rakentaminen on sekä tuottavuuden kasvun että digitalisaatioindeksin mukaan vertailun heikoin toimiala.



**Kuva 2.** Toimialan digitalisaatioindeksin ja tuottavuuden välinen korrelaatio (suomennettu lähteestä Barbosa et al. 2017, s. 57)

Useissa tutkimuksissa on havaittu positiivinen korrelaatio rakentamisen automatisoidun toteumaseurannan ja projektinhallinnan onnistumisen välillä. Uusien teknologiaratkaisujen käyttöönotto on siitä huolimatta hidasta. Syynä voivat olla esimerkiksi teknologian korkea hinta, teknologiaan perehtyneen henkilöstön puute tai puutteelliset tiedot uuden teknologian hyödyistä verrattuna tavanomaisiin toimintatapoihin. (Alizadehsalehi & Yitmen 2019) Digitalisaatiolla on potentiaalia kasvattaa työn tuottavuutta, mutta muutos ei tapahdu nopeasti, sillä siirtymävaiheessa tuottavuus saattaa ennemminkin notkahtaa kasvun sijasta (Remes et al. 2018).

Leanin on maailmanlaajuisesti todistettu olevan teollisessa tuotannossa toimiva työkalu tuottavuuden parantamiseen (Bølviken & Koskela 2016). Rakennusalalla leanilla tarkoitetaan usein jatkuvaa parantamista, hukan minimoimista, arvonluontia sekä prosessiin ja virtaamaan keskittymistä. Määritelmä ei kuitenkaan ole yksiselitteinen, vaan määritelmä vaihtelee kontekstin mukaan. (Holm et al. 2018, s. 13) Esimerkiksi tahtituotanto on leanin mukainen toimintatapa, jonka avulla rakentamista tehostetaan pyrkimällä ihmisten, materiaalien ja resurssien jatkuvaan virtaamaan (Kozlovksá & Klosova 2022). Parempaan informaation virtaamaan rakennushankkeen eri sidosryhmien välillä voidaan pyrkiä erilaisten digitaalisten työkalujen, kuten tietomallien avulla (Holm et al. 2018, s. 128). Peltokorpi et al. (2022, s. 3) tutkivat Building 2030 -osahankkeessa uusien toimintamallien jalkauttamista rakentamisessa ja havaitsivat merkittävimmi jalkautuksen on-

nistumiseen vaikuttaviksi tekijöiksi uuteen toimintamalliin liittyvän akateemisen tutkimuksen, hyvin järjestetyn koulutuksen, kansainvälisten verkostojen hyödyntämisen ja tilaajan vahvan osallistumisen jalkautukseen.

## 1.1 Tutkimusongelma ja -menetelmät

Tämä diplomityö on tehty Skanska talonrakennus Oy:lle. Skanska-konsernin emoyhtiö Skanska AB on Tukholman pörssiin listautunut yritys, jolla on globaalisti noin 28 00 työntekijää. Skanska AB:llä on toimintaa Pohjoismaiden lisäksi myös useassa muussa Euroopan maassa ja Yhdysvalloissa. Konsernin projektikehitysyksiköt toimivat kansainvälisesti, rakentamispalvelut on jaettu maakohtaisiksi yksiköiksi. Suomessa toimii Skanska Oy, jonka alaisuudessa toimivat rakentamispalvelut, asuntoprojektikehitys sekä kalustopalvelut. (Skanska 2023) Skanska pyrkii aktiivisesti kehittämään toimintaansa digitalisaation ja innovaatioiden avulla. Kehitystoiminnan tarkoituksena on parantaa tuottavuutta, asiakaskokemusta ja laatua. Lisäksi kehityksellä ja innovaatioilla edistetään yrityksen ilmastotavoitteita. (Skanska 2022) Yrityksen aktiivinen toiminta rakennusalan digitalisaation edistämiseksi on mahdollistanut myös tämän diplomityön.

Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää, miten 360°-kuvausta voidaan hyödyntää rakennustuotannon ohjauksessa rakennushankkeen sisävalmistusvaiheessa. Diplomityössä pyritään vastaamaan seuraavin tutkimuskysymyksiin:

- Miten 360°-kuvausta on hyödynnetty rakennustuotannon ohjauksessa?
- Mitkä ovat kokemukset 360°-kuvauksen hyödyntämisestä rakennustuotannon ohjauksessa?
- Miten 360°-kuvauksen hyödyntämistä rakennustuotannon ohjauksessa voidaan kehittää?

Vastaamalla tutkimuskysymyksiin pyritään hahmottamaan 360°-kuvauksen käytön nykytilannetta rakennusalalla, löytämään toimivaksi todettuja toimintatapoja kuvauksen hyödyntämiseen sekä kehittämään rakennustuotannon ohjauksen käytäntöjä 360°-kuvauksen avulla. Diplomityössä käsitellään 360°-kuvausmateriaalin visuaalista tarkastelua sekä automatisoitua rakentamisen toteumaseurantaa.

Tutkimus jakautuu kirjallisuustutkimuksena suoritettavaan teoriaosuuteen sekä empiiriseen tutkimukseen. Tutkimuskysymyksiin haetaan vastauksia yleisellä tasolla kirjallisuuden perusteella sekä kohdennetusti empiirisen osuuden tutkimuskohteessa. Teoriaosuudessa käsitellään myös vaihtoehtoisia teknologioita automatisoituun rakentamisen to-

teumaseurantaan yleiskatsauksen luontoisesti. Lisäksi teoriaosuudessa käsitellään rakennusalan lean-periaatteita. Empiirinen osuus sisältää tutkimuskohteessa käytettävien toimintatapojen kuvauksen sekä haastattelututkimuksen.

Tutkimuskohteena on Assiksi kutsuttu rakenteilla oleva Ahveniston sairaala Hämeenlinnassa, jonka päätoteuttajana Skanska Talonrakennus Oy toimii. Sairaala on allianssimallilla toteutettava uudiskohde, jonka tuotannossa käytetään 360°-kuvausta. Diplomityön tekemisen aikana Assi-hankkeessa on käynnissä sisävalmistusvaihe, joka toteutetaan tahtituotannolla. Tutkimuskohteessa datankeräystä ja -analyysiä ei ole automatisoitu, vaan kuvausdataa kerätään manuaalisesti Insta360-kameroiden avulla. Kohteessa käytetään 360°-kuvausmateriaalin tallentamiseen ja tarkasteluun OpenSpace-sovellusta. Vaikka markkinoilla on muitakin vastaavia palveluntarjoajia, niitä ei käsitellä tässä diplomityössä tarkemmin.

## 2. LEAN RAKENNUSALALLA

Leanin suunnannäyttäjänä toimii japanilaisen autoteollisuuden Toyotan tuotantojärjestelmä, Toyota Production System eli TPS (Liker 2020). Tärkeimpänä TPS:n filosofiana on lisätä tuotannon tehokkuutta poistamalla systemaattisesti hukkaa (Ohno 1988). Toyotan menestyksen taustalla on toiminnan kehittäminen ja jatkuva parantaminen pitkällä tähtäimellä. Toyotan toimintatapojen ydinajatus voidaan tiivistää esimerkiksi seuraaviin neljään teemaan:

1. Filosofia. Toiminnassa ei keskitytä lyhyen tähtäimen tuottoon, vaan pyritään stabiiliin pitkän tähtäimen toimintaan ja kehitykseen.
2. Prosessi. Kehitetään toiminnan prosessit virtaaviksi. Teknologian tehtävänä on tukea ihmisiä ja prosesseja.
3. Ihmiset. Kehitetään toimintakulttuuri ihmisiä kunnioittavaksi ja motivoivaksi, niin työntekijöiden kuin asiakkaiden ja toimintakumppaneidenkin kohdalla.
4. Ongelmanratkaisu. Pureudutaan ongelmien juurisyihin ja edistetään jatkuvan parantamisen kulttuuria.

Nämä toimintatavat voivat johtaa parempaan laatuun, lyhyempään läpimenoaikaan, korkeampaan asiakastyytyväisyyteen ja työmoralaan sekä turvallisempaan työympäristöön. (Liker 2020) Lean-termin käyttö on lähtöisin 1980-luvun Yhdysvalloista, jossa uudesta tehtaiden tuotantofilosofiasta käytettiin nimeä Lean Production System. Lean eli suomeksi hoikka kuvaa tuotannon tapaa poistaa ylimääräinen hukka toiminnasta. (Salminen 2021, s. 15)

Vaikka lean on alun perin lähtöisin 1950-luvun autoteollisuuden laatuajattelusta, voidaan sitä edelleen pitää yhtenä maailman johtavista liiketoiminnan johtamisopeista. Syitä ajattelumallin suosioon saattavat olla ajattomat ja helposti lähestyttävät periaatteet, joustavuus ja oman filosofiansa mukainen jatkuva uudistuminen ja kehittyminen. (Salminen 2021, s. 15) Toyotan menestys pohjautuu ihmisten ja motivaation ymmärtämiseen perustuvaan bisnesfilosofiaan. Monet yritykset ovat pyrkineet käyttämään lean-työkaluja ja siten toistamaan Toyotan menestystä kuitenkin ymmärtämättä, että lean on pohjimmiltaan koko organisaatiokulttuurin lävistävää toimintaa. (Liker 2020)

Rakennusalalle lean on levinnyt moniin muihin teollisuuden aloihin verrattuna myöhään. Lean on alun perin kehitetty valmistavaan teollisuuteen, joten rakennusalan projektiluon-

toisuus selittää osaltaan oppien myöhäistä käyttöönottoa. (Salminen 2021, s. 25) Rakennusalan ja teollisen tuotannon erojen vuoksi leanin toimintatapoja joudutaan soveltamaan ennen käyttöönottoa rakentamisessa (Gao & Low 2014, s. 37). Kooste rakennusalan eroavuuksista teolliseen tuotantoon verrattuna on esitetty taulukossa 1.

*Taulukko 1. Teollisen tuotannon ja rakennusalan eroavuuksia (Gao & Low 2014, s. 39)*

	<b>Rakennusala</b>	<b>Teollinen tuotanto</b>
<i>Elinkaari</i>	Lyhyt	Pitkä
<i>Luonne</i>	Uniikki	Toistuva
<i>Työskentelysijainti</i>	Vaihtuva	Stabiili
<i>Materiaalikomponentit</i>	Standardoimaton	Standardoitu
<i>Materiaalitoimitukset</i>	Aikataulun mukaan	Tilausten mukaan
<i>Työvoima</i>	Kausittainen, matala työsuhdeturva	Jatkuva, korkeampi työsuhdeturva
<i>Työskentely-ympäristö</i>	Muutokset olosuhteissa vaikuttavat tuottavuuteen	Muutokset olosuhteissa vaikuttavat tuottavuuteen vähemmän
<i>Kokoonpano ja tuotanto</i>	Valmis tuote valmistuu paikan päällä	Valmistus tehtaassa/tuotantolaitoksessa
<i>Teknologia</i>	Matala automaatioaste, useimmin ei käytetä	Parempi ja edistyneempi
<i>Laatu</i>	Riippuu vaatimustenmukaisuudesta, uudelleen tekeminen yleistä	Riippuu prosessin kontrolloimisesta, uudelleen tekemistä vältetään
<i>Tilaaajan osallistuminen</i>	Korkea osallisuus	Matalampi osallisuus

Taulukosta 1 havaitaan, että teollinen tuotanto on stabiilimpaa niin työntekijöiden kuin tuotannonkin näkökulmasta. Teollisessa tuotannossa teknologian hyödyntäminen on edistyneempää ja toiminta tapahtuu kiinteässä työskentelysijainnissa. Rakennusala on projektiluontoista, jolloin työskentelysijainnit ja työvoimantarve vaihtelevat voimakkaasti. Projektiluontoisuuden seurauksena rakennushankkeet ovat yksilöllisiä; toteutusmuodot, hankkeen osapuolet sekä tekniset ratkaisut ovat vaihtelevia, eikä tieto usein siirry projektista toiseen (Salminen 2021, s. 61).

Leanin mukaista hukan poistamista ei olla onnistuttu jalkauttamaan rakennusosalalle valmistavan teollisuuden tavoin. Tyypillisesti rakennusosalalla projektinhallinnassa on keskitytty ennemminkin ongelmien ratkaisuun niiden ilmetessä sen sijaan, että ongelmia ehkäistäisiin ennen niiden toteutumista. Haasteena on myös se, että rakennusosalalla tuotannonhallinta on siirtynyt enenevässä määrin sopimusten hallitsemiseen. Aliurakoitsijoiden käyttö on johtanut siihen, että pääurakoitsijan huomio on siirtynyt valvomaan sopimusten noudattamista. Tällöin hukka ja sen aiheuttamat kustannukset eivät näy suoraan pääurakoitsijalle, jolloin hukan syntyyn on vaikea puuttua. (Bølviken & Koskela 2016)

Lean-rakentamista rakennusosalalla edistäväksi kattojärjestöksi on muodostunut yhdysvaltalainen Lean Construction Institute, LCI (Salminen 2021, s. 35). LCI:n mukaan heidän tavoitteenaan on muuttaa ja yhdistää pirstaloitunutta rakennusalaan lean-ajattelulla.

Järjestö pyrkii kehittämään rakennusalaan inklusiivisemmaksi ja monimuotoisemmaksi sekä läpinäkyvämmäksi. LCI tarjoaa koulutusta ja tapahtumia rakennusalan yhteisöille. (Lean Construction Institute 2023a) LCI jakaa lean-periaatteet kuuteen osaan, jotka järjestön mukaan parhaiten määrittelevät leania rakennusalaalla. Periaatteet ovat

1. ihmisten kunnioitus
2. kokonaisuuden optimointi
3. hukan poistaminen
4. prosessiin ja sen virtaamaan keskittyminen
5. arvonluonti
6. jatkuva parantaminen.

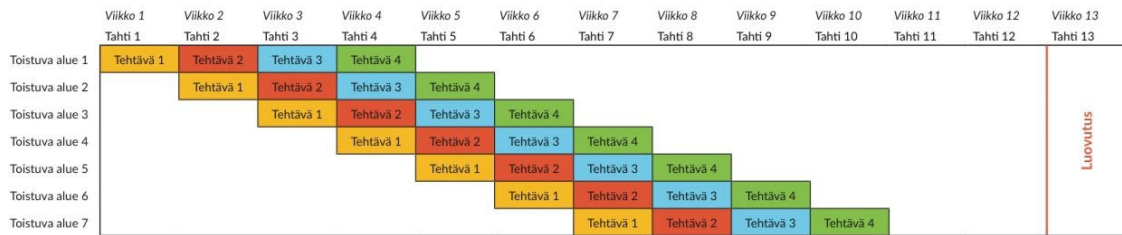
LCI:n määrittelemä rakennusalan lean-periaatteiden lista vastaa pitkälti perinteisiä lean-periaatteita. Lisäyksenä on kuitenkin rakennusalan erityispiirteiden vuoksi kokonaisuuden optimointi. Optimoinnilla pyritään löytämään projektin kannalta parhaita toimintatapoja ja yhtenäistämään toimintaa, jotta hyvät toimintatavat saadaan käyttöön myös muille projektilla työskenteleville ja tulevilla projekteilla. (Lean Construction Institute 2023b)

## 2.1 Tahtituotanto

Yhtenä rakentamisen virtaamaa edistävänä lean-menetelmänä käytetään rakennusalaalla tahtituotantoa (Salminen 2021, s. 137). Tahtituotannon esikuva on autoteollisuuden tuotantotapa, jossa autot kulkevat liukuhihnalla tasaiseen tahtiin työvaiheesta toiseen (Salminen 2021, s. 145). Tahtituotannon tarkoituksena onkin tuoda teollisen tuotannon periaatteita rakentamiseen virtaaman parantamiseksi. Teollisessa tuotannossa tuote kulkee tuotantolinjalla työvaiheesta toiseen, kun taas rakennusalaalla tuote eli rakennus pysyy paikallaan, jolloin rakentamisen prosessi liikkuukin tuotteen ympärillä. (Holm et al. 2018, s. 105)

Työkohteen tehtävät kootaan tahtituotannossa samanpituiseksi paketeiksi, jotka aikataulutetaan tuotantojunan muodostavaksi tehtäväjonoksi (Salminen 2021, s. 145). Rakentamisen tehtävät noudattavat tahtituotannossa siis samaa tahtiajaksi kutsuttua tuotantonopeutta ilman tehtävien välisiä ajallisia puskureita. Tiivistämällä työvaiheiden aloitusvälejä voidaan lyhentää kohteen kokonaisrakentamisaikaa. Tahtituotannon tavoitteena on tehdä rakennustuotannosta paremmin ennakoitavaa, luotettavampaa ja sujuvampaa. (Junnonen 2022, s. 30) Tahtiaikataulua on havainnollistettu kuvan 3 esimerkissä.





**Kuva 3.** Tahtiaikatauluesimerkki (Junnonen 2022, s. 31)

Tahtituotanto soveltuu parhaiten paljon toistuvuutta sisältäviin työkohteisiin, kuten asuin-kerrostalojen sisävalmistusvaiheeseen (Junnonen 2022, s. 30). Työskentelyalueen eli tahtituotantoruu-  
 duun tai tahtialueen koko vaikuttaa työsuunnittelun tarkkuuteen. Ruudun koko valitaan mahdollisimman pieneksi ja se on usein esimerkiksi yksi asunto tai hotelli-  
 huone. Määrätyn tuotantonopeuden ylläpitämiseksi alueiden työmäärien tulee olla jok-  
 seenkin samansuuruisia, koska tahtituotanto perustuu toistoon. Tahtituotantoruu-  
 duun ollessa hyvin suuria voidaankin kyseenalaistaa, onko kyseessä tahtituotanto vai  
 ennemminkin perinteisempi tahdistettu tuotantotapa. Tahtituotantoa voidaan kuitenkin  
 yrittää soveltaa myös monimutkaisempiin ja vaihtelevampiin kohteisiin, mutta tämä vaatii  
 tarkkaa tahtialueiden suunnittelua ja tehtävien mitoitusta. Mikäli tahtituotannon käyttö  
 tällaisessa kohteessa johtaa työläämpään tuotannon suunnitteluun, töiden johtamiseen  
 ja aikataulun päivittämiseen, menetetään toistuvuuteen perustuvat hyödyt. (Salminen  
 2021, s. 147–148)

Tahtiohjauksessa tärkeää on nopea poikkeamiin reagointi, ajantasaisen tilannekuvan yllä-  
 läpito sekä tuotantosuunnitelmien säännöllinen päivittäminen. Systemaattisella valvon-  
 nalla voidaan sujuvoittaa tuotantoa jatkuvan parantamisen periaattein. Työnteon esteitä  
 poistetaan yhteistyössä jokaisen tahdin aikana. Tahtikohtaiset luovutukset mahdollista-  
 vat paremman laadunhallinnan, kun virheet ja poikkeamat havaitaan ja niihin reagoidaan  
 nopeasti. Näin virheet eivät myöskään pääse kertautumaan ja toistumaan seuraavilla  
 tahdeilla. Päivittäisjohtaminen on erityisen tärkeää tahtituotannossa, sillä työt on tehtävä  
 suunnitellusti ja suunnitellun aikataulun mukaan. Työskentely suunniteltua nopeammin  
 heikentää tuotannon ennakoitavuutta ja lisää riskejä aiemmissa tahdeissa tapahtuneiden  
 virheiden toistumiseen. Tahtituotanto onkin tuotantotapana häiriöherkkä ja se vaatii no-  
 peaa reagoitokykyä. Esimerkiksi poissaolot vaikuttavat nopeasti seuraavien työvaihei-  
 den ja koko tuotannon etenemiseen. (Junnonen 2022, s. 31)

## 2.2 Lean ja digitalisaatio

Uusimpien teknologioiden hyödyntäminen tarjoaa mahdollisuuden rakennusalan proses-  
 sien kehittämiseen ja tuottavuuden nostamiseen (Martinez & Pfister 2023). Tietotekniisiä

välineitä ja yhteisiä tiedonhallinnan alustoja voidaan pitää merkittävänä rakennushanketta integroivana rakenteena. Yhteiset tiedonhallinnan alustat ohjaavat hankkeen prosesseja ja luovat yhteistyön edellytyksiä. Usein rakennushankkeiden haasteena on tiedon keskittyminen hankeosapuolten omiin järjestelmiin, jolloin tieto ei liiku osapuolten välillä. Usein tiedonsiirrossa on haasteita jopa osapuolten omien järjestelmien välillä: käytössä on useita eri sovelluksia, joiden välillä tieto ei siirry automaattisesti. Parhaassa tapauksessa tiedonsiirto olisi mahdollisimman automatisoitua ja vaatisi hyvin vähän manuaalista tallennustyötä. Yhteisessä projektissa suuren osan tiedosta kuuluisi olla yhteistä ja kaikkien osapuolten saatavilla, jotta se hyödyttää koko projektia. Hyvin suunnitellulla ja toteutetulla tiedonhallinnan prosessilla voidaan edistää lean-rakentamista kehittämällä kokonaisuudenhallintaa, vähentämällä hukkaa manuaalisen tiedonkäsittelyn minimoinnilla sekä poistamalla virhetilanteita, joita syntyy tiedon puutteesta. (Salminen 2021, s. 73) Useat leanin digitaalisia työkaluja rakennusalalla käsittelevät tutkimukset keskittyvät tutkimaan tietomallinnusta (Uvarova et al. 2023). Tietomallinnusta voidaankin pitää merkittävänä tiedonhallintaa yhtenäistävänä ja tehostavana työkaluna rakennusalalla (Duarte-Vidal et al. 2021).

Rakennushankkeelle on tapana asettaa kaikkia hankkeen osapuolia koskevat yhteiset tavoitteet tai menestystekijät. Toimintaa ohjaamaan halutaan usein koostaa kaikkien nähtävillä oleva reaaliaikainen seurantanäkymä projektin etenemisestä suhteessa tavoitteisiin. Tästä seurantanäkymästä käytetään useita nimityksiä, kuten ohjaustaulu, mittaritaulu tai tilannekuva. Useimmiten mittaritaulut keskittyvät kuvaamaan projektin etenemistä. Mittaritaulu voidaan toteuttaa täysin manuaalisena, jolloin mittaritaulun käyttökynys on matala eikä sen käyttö vaadi erityisosaamista tai laiteinvestointeja. Näistä syistä manuaalinen mittaritaulu on edelleen käytetyin toteutustapa. Mittaritaulu voidaan toteuttaa myös sähköisesti, jolloin mittaritaulu hakee tiedon esimerkiksi excel-tilukosta tai muusta sovelluksesta, johon tehdään säännöllisesti manuaalisia tai puoliautomaattisia päivityksiä. Automatisointi voidaan viedä myös tiedonkeruuseen, jolloin työmaan automaattisessa seurannassa voidaan hyödyntää esimerkiksi antureita, kameroita ja droneja. Kerätyn datan analysoinnissa voidaan hyödyntää tekoälysovellusta. Halutun tiedon tallennuksessa joudutaan joka tapauksessa käyttämään useita rinnakkaisia menetelmiä. (Salminen 2021, s. 75–76)

### 3. RAKENNUSTUOTANNON OHJAUS JA DIGITA-LISAATIO

Tuotannonhallinnan osa-alueita ovat tuotannon suunnittelu, valvonta ja ohjaus. Tuotannon suunnittelulla kartoitetaan ja yksilöidään tulevia tehtäviä sekä osoitetaan toimintatapoja eri tilanteissa. (Junnonen 2022, s. 4) Työmaan ajantasaisen valvonnan tarkoituksena on havaita poikkeamat projektin etenemisessä hyvissä ajoin, jotta tuotannon ohjaus voi tehdä tarvittavat toimenpiteet tilanteen korjaamiseksi mahdollisimman aikaisessa vaiheessa (Yang et al. 2015). Rakennustuotannon ohjauksella pyritään luomaan edellytykset suunnitelmien mukaiselle työskentelylle, ennaltaehkäisemään suunnitelmien mukaisesta toiminnasta poikkeavia tilanteita sekä palauttamaan tuotanto poikkeamien ilmetessä suunnitelmien mukaiseksi (Junnonen 2022, s. 28).

Ohjaus voidaan jakaa ennakoivaan ja korjaavaan ohjaukseen. Ennakoivalla ohjauksella pyritään poistamaan tuotannon etenemisen esteitä. Tämä edellyttää systemaattista tulevien työvaiheiden ongelmien ja häiriöiden selvittämistä sekä niiden mahdollisten seurausten kartoitusta. Ongelmien syyt voidaan tällöin torjua etukäteen tai niiden seuraukset minimoida. Töiden aloitus- ja toteutusedellytysten selvittäminen on luonteeltaan ennakoivaa ohjausta. Korjaavaa ohjausta käytetään silloin, kun ongelmia on jo ilmennyt tuotannossa ja tuotanto on palautettava suunnitelmien mukaiseksi. Korjaavassa ohjauksessa poikkeama havaitaan, sen syyt selvitetään välittömästi ja ryhdytään nopeasti korjaaviin toimenpiteisiin. Toimenpiteet on suunnattava poikkeaman syihin. Korjaavassa ohjauksessa tärkeää on jatkuva valvonta ja tuotannon ajantasaisen tilannekuvan muodostus. (Junnonen 2022, s. 4)

Aikataulun viivästyminen sekä suunnitelmien ja väliset ristiriidat ovat yleisiä ongelmia rakennusprojektissa. Tämän vuoksi ajantasaisen tilannetiedon saaminen rakennustyön etenemisestä on erittäin tärkeä osa rakennustuotannon ohjausta. (Omar & Nehdi 2016) Ajallista hallintaa voidaan pitää tuotannonhallinnan olennaisimpana ja tärkeimpänä osa-alueena, sillä haasteet rakennushankkeen aikataulujen hallinnassa vaikuttavat usein myös muihin osa-alueisiin, kuten laatuun, kustannuksiin ja turvallisuuteen (Junnonen 2022, s. 9). Rakennushankkeen aikataulutilannetta on valvottava jatkuvasti, jotta poikkeamiin voidaan reagoida mahdollisimman nopeasti (Junnonen 2022, s. 25). Automatisoimalla rakentamisen toteumaseuranta voidaan saavuttaa positiivisia vaikutuksia rakennushankkeen kustannuksiin, laatuun ja aikatauluun (Alizadehsalehi & Yitmen 2019). Ajantasainen toteumatieto on erityisen tarpeellinen tahtituotannossa, joka on tuotantota-

pana häiriöherkkä. Tahtituotannossa poikkeamat aikataulutilanteessa heijastuvat herkästi myös seuraaviin työvaiheisiin, jolloin häiriöt vaativat nopeaa havaitsemista ja reagoitua (Junnonen 2022, s. 30). Täysin automatisoitu tilannetiedon keräys ei kaikissa tapauksissa ole mahdollista tai järkevää. Digitalisoitu toteumaseuranta mahdollistaa kuitenkin tehokkaamman tahtituotannon ohjauksen. (Keskiniva et al. 2021)

Rakennustyömaan työnjohto käyttää merkittävän osan työajastaan erilaisiin mittauksiin, dokumentointiin ja työn etenemisen analysointiin. Nämä tehtävät ovat tarpeellisia monissa projektinhallinnan tehtävissä, kuten aikataulu- ja kustannushallinnassa sekä tuotavuuden mittauksessa. (Zhang et al. 2009) Perinteiset mittaus- ja raportointitavat ovat helppoja, mutta aikaa vieviä (Deng et al. 2020). Yang et al. luonnehtivat vuoden 2015 artikkelissaan yleisesti käytettyjä toimintatapoja rakennustyömaan edistymisen seurantaan aikaa vieviksi, kalliiksi sekä virhealttiiksi. Tutkimuksessaan he käsitelivät erilaisia kuvaustapoja työmaan automatisoituun toteumaseurantaan. Tutkimustuloksena todettiin teknologian olevan vielä varhaisessa vaiheessa ja kaipaavan jatkokehitystä. Tutkijat korostivat myös rakennusalan ja sovelluskehittäjien yhteistyön tärkeyttä, jotta automatisoitu toteumaseuranta voidaan ottaa laajempaan käyttöön. (Yang et al 2015)

Qureshi et al. (2023) tuorempi tutkimus osoittaa, että uusien, automatisoitujen seurantatyökalujen käyttöönotto rakennusosalalla on edelleen puutteellista, sillä rakennusosalta puuttuu selkeät ohjeistukset ja prosessit automatisoidun toteumaseurannan tehokkaaseen käyttöön. Tämän vuoksi rakentamisen sidosryhmät ovat vastahakoisia uusien teknologioiden käyttöönotossa. (Qureshi et al. 2023) Uusien teknologioiden käyttöönotto nähdään usein kokeellisena toimintana, joka vaatii suuria investointeja. Tästä syystä vain harvat rakennusalan yritykset jättävät perinteiset metodit ja siirtyvät uusiin, innovatiivisempiin tapoihin. Teknologian kehittyessä jatkuvasti on myös haastava hahmottaa, mitkä teknologiat ovat lopulta niitä, jotka leviävät alalla laajempaan käyttöön tuotannon ohjauksessa ja valvonnassa. Teknologioiden käyttöönotossa on lisäksi haasteena, ettei teknologioista välttämättä ole käyttökokemuksia todellisilta rakennustyömailta ja ammatillisesta ympäristöstä. Tällöin tietoa teknologian soveltuvuudesta käyttötarkoitukseen sekä sen hyödyistä ja käytön esteistä ei ole saatavilla. (Duarte-Vidal et al. 2021)

Rakennustuotannon hallintaan on markkinoilla erilaisia teknologioita, mutta niiden käyttö on rajallista ja ohjelmien yhteentoimivuus on vaihtelevaa. Yhteentoimivuudella tarkoitetaan eri järjestelmien kykyä toimia yhdessä ja vaihtaa tietoa keskenään. Yhteentoimivuus on parempaa eniten käytetyillä teknologioilla, kuten tietomalleilla, droneilla ja fotogrammetrialla. Paremman yhteentoimivuuden teknologiat ehkäisevät informaation pirstaloitumista useaan eri ohjelmaan ja mahdollistavat paremmin automaation hyödyntä-

mistä. Haasteena rakennusalalla on automatisoidun seurannan vakiintuneiden käytäntöjen puute. (Duarte-Vidal et al. 2021) Automatisoidussa toteumaseurannassa haasteena on myös se, että rakentaminen vaatii runsaasti esivalmisteluja ennen varsinaisten rakennusosien valmistumista, jolloin valmiusasteen arvioiminen on haastavaa. Tällaisia toissijaisia ja väliaikaisia rakenneosia ovat esimerkiksi valumuotit ja betoniraudoitteet. (Turkan et al. 2013)

### **3.1 Automatisoidut tiedonkeruumenetelmät**

Automatisoituun rakentamisen toteumaseurantaan käytettävät teknologiat voidaan jakaa karkeasti kolmeen kategoriaan, jotka ovat viivakoodi tai RFID (Radio Frequency Identification) eli radiotaajuinen etätunnistus, laserkeilaus sekä CV (Computer Vision) eli tietokonenäkö (Deng et al. 2020). Näistä viivakoodi- tai RFID-teknologia vaativat erillisen rakennekomponenttiin kiinnitettävän tunnisteiden, minkä vuoksi metodi soveltuu parhaiten elementti- ja valmisosarakenteiden edistymisen seurantaan (Yoon et al. 2006). Laserkeilauksen avulla rakennetusta alueesta saadaan pistepilvi, jonka perusteella luodaan kolmiulotteinen malli. Tätä mallia voidaan verrata suunniteltuun malliin. (Bosché 2010) Haasteena laserkeilauksessa ovat skannauksen epäjatkuvuudet, joita aiheutuu skannauksen tiellä olevista liikkuvista objekteista, kuten työkoneista ja työntekijöistä (Golparvar-Fard et al. 2015).

Rakennustyömaalla tallennetaan päivittäin valtavia määriä visuaalista dataa, jonka avulla ohjataan ja seurataan projektin edistymistä, turvallisuutta sekä tuottavuutta. Ohjaustoimenpiteitä vaativien poikkeamien havaitseminen suuresta datamäärästä on haastavaa ja aikaa vievää. Apuna kuvien analysointiin ja poikkeamien havaitsemiseen voidaan käyttää tietokonenäköä. (Paneru & Jeelani 2021) Kuvien ja videoiden perusteella toimiva tietokonenäköön perustuva seuranta on tunnistisiin tai laserkeilaukseen perustuvia menetelmiä joustavampi ja tarjoaa korkeampaa potentiaalia alati kehittyvien älykkäiden algoritmien vuoksi (Deng et al. 2020). Tietokonenäkö on laajasti käytetty termi kuvamuotoisen datan käsittelystä. Tietokonenäön erottaminen konenäöstä, kuvankäsittelystä ja hahmontunnistuksesta on haastavaa eivätkä näiden erot välttämättä ole aina täysin selviä. (Fisher et al. 2013, s. 55) Tietokonenäön avulla voidaan toistaa ja mallintaa ihmisen näköä tietokoneen avulla. Sen avulla pyritään luomaan ja tulkitsemaan kolmiulotteista ympäristöä siitä otetuista valokuvista. Tyypillisiä tietokonenäköä hyödyntäviä tehtäviä on tietyn objektin havaitseminen kuvasta tai tilan mallinnus kuvan avulla. (Zhang et al. 2009) Yleisimmin tietokonenäköä hyödynnetään rakennusalalla turvallisuuden hallinnassa sekä toteumaseurannassa. Lisäksi tietokonenäköä voidaan käyttää esimerkiksi tuottavuuden seurantaan ja laadunhallintaan. (Paneru & Jeelani 2021)

Kuvamateriaalista voidaan myös tuottaa pistepilvidataa fotogrammetrian avulla. Fotogrammetria käyttää useista eri perspektiiveistä kuvattuja valokuvia pistepilvidatan luomisessa. Pistepilvidataa voidaan tämän jälkeen verrata tietomalliin. (Braun et al. 2020) Fotogrammetria yhdistelee kuvankäsittelyn ja hahmontunnistuksen teknologioita valokuvien tarkastelussa (Fisher et al. 2013, s. 208). Valokuvamateriaalin keräykseen voidaan käyttää kiinteitä valvontakameroita, droneja ja maassa kulkevia robotteja sekä manuaalisia, mukana kuljetettavia kameroita (Reja et al. 2022). Prosessia, jossa kaksiulotteisesta kuvamateriaalista luodaan kolmiulotteinen malli, kutsutaan 3D-rekonstruktioksi. Tyypillisesti tässä prosessissa luodaan niin sanottu toteumamalli, jossa esitetään rakennusprojektin sen hetkisen toteuman mukainen tilanne, ja jota voidaan verrata suunniteltuun tietomalliin. (Paneru & Jeelani 2021)

### 3.2 Tiedonkeruumenetelmän valinta

Toteumatietoa voidaan kerätä valokuvista useilla eri metodeilla. Lähivuosina tutkimusta on tehty kuvien käytöstä kolmiulotteisen datan luomiseen ja luodun datan käytöstä rakentamisen toteuman analysoinnissa. Erilaisia metodeja tällaiseen datan keräykseen ovat fotogrammetria, videogrammetria, laserkeilaus sekä syvyyskamerakuvaus. (Omar & Nehdi 2016) Datankeräysteknologian valintaa helpottamaan on esitetty taulukossa 2 valintaopas, jossa on vertailtu fotogrammetrian, laserkeilauksen ja syvyyskameran ominaisuuksia ja vaatimuksia.

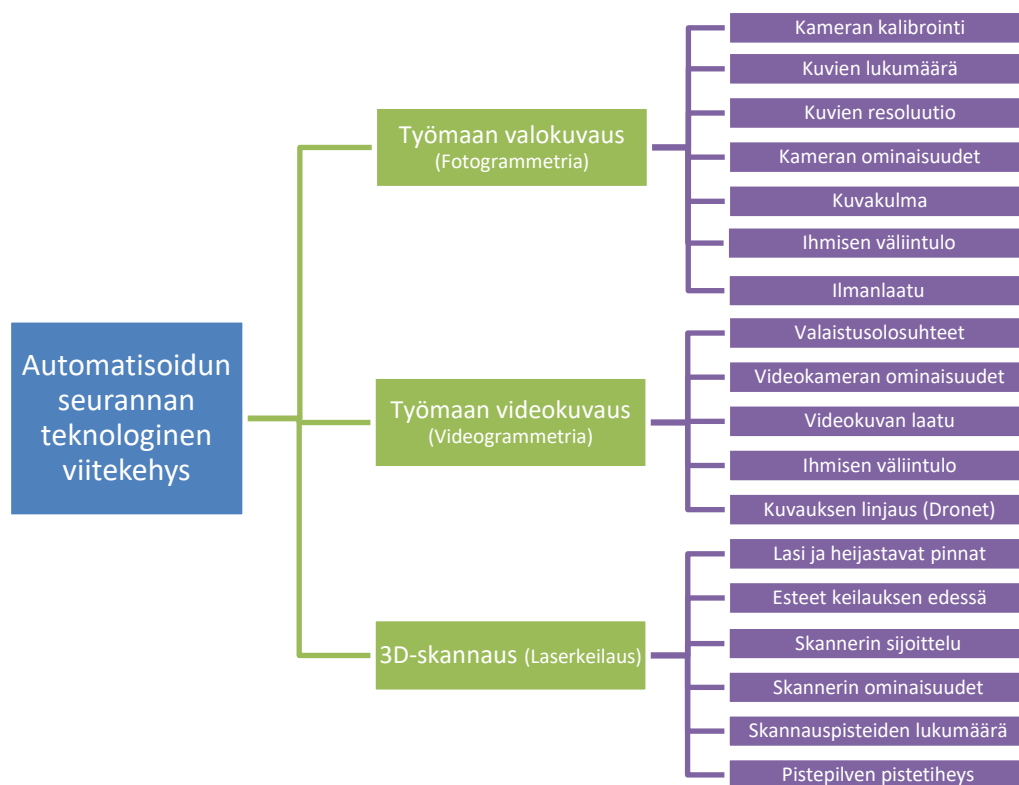
Taulukko 2. Datankeräysteknologian valintaopas (perustuu lähteeseen Reja et al. 2022)

	Fotogrammetria	Laserkeilaus	Syvyyskamera (RGB-D)
<i>Automatisoitu datankeruu</i>	●●	●●●	●●●
<i>Reaaliaikainen datan saatavuus</i>	●●●	●	●●●
<i>Laitteiston toimintasäde</i>	●●	●●●	●
<i>Erotustarkkuus</i>	●	●●●	●●
<i>Sijaintitarkkuus</i>	●●	●●●	●●
<i>Riittävän valaistuksen tarve</i>	Vaihtelee	Ei	Kyllä
<i>Käyttäjän koulutustarve</i>	●●	●●●	●
<i>Tiedonkeruuseen kuluva aika</i>	●	●●●	●
<i>Tiedonkeruun valmistelu</i>	●	●●●	●
<i>Suoritustason resurssit</i>	●●●	●	●
<i>Laitteiston kuljetettavuus</i>	●●●	●	●●●
<i>Laitteiston hinta</i>	●	●	●●
Symboleiden selitykset: Korkea (●●●), keskitaso (●●), matala (●)			

Taulukon 2 mukaan laserkeilauksessa on selkeitä etuja muihin datankeräys metodeihin nähden automaatiossa, laitteen toimintasäteessä sekä erotus- ja sijaintitarkkuudessa. Kuitenkin datan keräys laserkeilauksella vaatii kameroihin nähden enemmän aikaa niin

datan keräyksessä kuin sen käsittelyssäkin. Lisäksi laitteiston käyttö vaatii kattavamman perehdytyksen ja laitteistot ovat kalliimpia ja hankalampia kuljettaa. (Reja et al. 2022) Laserkeilauksen avulla luotu pistepilvidata on hyvin paikkansapitävää, mittatarkkuus on millimetrien luokkaa. Keilaus vie kuitenkin runsaasti aikaa, erityisesti suurella työmaalla, sillä keilaus on tehtävä useassa eri pisteessä. Fotogrammetrialla pistepilvidata ei ole yhtä tarkkaa ja pistepilvidatan luominen vaatii pitkän prosessointiajan. Datankeräys on kuitenkin joustavampaa ja yksinkertaisempaa, lisäksi laitteistot ovat edullisempia. (Braun et al. 2020) Laserkeilauksella saavutetaan siis etuja datan laadussa, mutta kameroiden avulla datan keräys on nopeampaa ja yksinkertaisempaa. Menetelmän valinnassa on siis priorisoitava, kumpi on rakennushankkeen kannalta tarkoituksenmukaisempaa.

Myös Qureshi et al. (2023) käsittelivät tutkimuksessaan erilaisia rakentamisen automatisoituja toteumaseurannan menetelmiä. He kokosivat tutkimuksensa tuloksena viitekehysten, jossa on eritelty merkittävimpiä kerätyn datan laatuun vaikuttavia tekijöitä tiedonkeruumenetelmän mukaan jaoteltuna. Viitekehys valokuviin, videokuvaukseen ja 3D-skannaukseen perustuvien menetelmien osalta on esitetty kuvassa 4.



**Kuva 4.** Automatisoituun rakentamisen toteumaseurantaan vaikuttavat tekijät käytettävän teknologian mukaan (perustuu lähteeseen Qureshi et al. 2023)

Valokuvaukseen perustuvissa menetelmissä on laadukas kamera kuvanlaadun kannalta olennainen. Lisäksi ulkoiset tekijät vaikuttavat kuvanlaatuun. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi kuvakulma, ilmanlaatu tai henkilöliikenne kuvaushetkellä. Nämä voivat johtaa tarkkuudeltaan heikkoihin ja sumeisiin kuviin. Lisäksi fotogrammetriaa hyödynnettäessä kuvauspisteiden lukumäärällä on vaikutusta pistepilven tiheyteen ja laatuun. Myös video-kuvausta käyttävässä videogrammetriassa kuvauskalustolla on merkitystä kuvauksen laadussa. Laadukkaaseen videokuvaan ja sen avulla luotavaan pistepilveen vaikuttavat myös valaistusolosuhteet sekä kameran vakaus kuvattaessa. Dronella kuvattaessa on huomioitava myös kuvauksen linjaus. 3D-skannauksessa, kuten laserkeilauksessa, käytettävä laitteisto ja skannerin sijoittelu sekä skannauspisteiden määrä vaikuttavat pistepilvidatan laatuun. Lisäksi heijastavat pinnat saattavat heikentää pistepilven tarkkuutta. 3D-skannauksessa yleisin syy heikkoon datan laatuun ovat kuitenkin esteet skannattavalla alueella. Laadukkainta dataa edistymisestä saadaan siisteillä alueilla, jotka eivät ole täynnä ylimääräistä tavaraa. (Qureshi et al. 2023)

### **3.3 Tilannetiedon keräys sisätyövaiheessa**

Sisätyövaiheeseen siirryttäessä ajantasaisen tilannetiedon ja valvonnan tarve kasvaa, sillä samassa suljetussa tilassa työskentelee useita eri urakoitsijoita samanaikaisesti (Hamledari et al. 2017). Sisätyövaihe sisältää runsaasti erilaisia työvaiheita, kuten sähkö-, putki-, ilmanvaihto- ja palokatkotyöt, joiden aikataulut ja työskentely tilassa on yhteensovittettava eri aliurakoitsijoiden kanssa. Sisätyövaiheen monimutkaisuus tekee sisätöiden valvonnasta ja hallinnasta sekä edistymisen ja tuottavuuden arvioinnista erityisen haastavaa. Sisätyövaiheen tehtävät tulisikin pilkkoa riittävän pieniin osiin jo aikaisessa vaiheessa tuotannonhallinnan helpottamiseksi. (Roh et al. 2011)

Sisätyövaiheessa tilannetiedonkeräykseen käytettävä laitteisto, kuten 360°-kamera, videokamera tai laserkeilain voidaan liittää esimerkiksi automaattiseen tai kauko-ohjattavaan robottiin (Seppänen et al. 2022; Reja et al. 2022). Esimerkiksi 360°-kamera voidaan myös kiinnittää työmaalla käytettävään kypärään kuvauksen ajaksi (Barbosa & Costa 2022). Kuvauksessa voidaan käyttää myös droneja, älypuhelimia tai kiinteitä valvontakameroita (Halmedari et al. 2017; Reja et al. 2022). Valittavaan kuvaustapaan vaikuttavat muun muassa rakennushankkeen koko, tarve automatisoinnille, riittävä tarkkuustaso ja projektin toteumaseurannan tarpeet (Reja et al. 2022).

Toteumatiedon keräys sisätyövaiheessa riittävällä mittaustaaajuudella on haastavaa. Usein dataa kerätäänkin laserkeilaamalla tai 360°-kameroilla viikoittain, jolloin kuvausdata ei ole reaaliaikaista eikä palvele tarvetta esimerkiksi tahtituotannossa tahtiajan ol-



lessa päivän pituinen. Automatisoimalla aikaa vievä ja rutiinomainen datankeräys robotin avulla voidaan vastata tuotannon tarpeisiin paremmin. Robotin käytössä on kuitenkin huomioitava robotin kulkemisen rajoitteet, kuten robotin tilantarve ja kaatumisriski. Jotta robotiikkaa voitaisiin hyödyntää datankeräyksessä laajemmin rakennustyömailla, on robottien hintojen vielä laskettava ja robotin toiminnan kehityttävä autonomisemmaksi manuaalisen työn minimoimiseksi. (Seppänen et al. 2022, s. 25–27)

## 4. 360°-KUVAAUS JA TIETOKONENÄKÖ RAKENNUSALALLA

360°-kuvauksella tarkoitetaan kuvaustapaa, jonka tuloksena saadaan katselijan ympäröivää kuva- tai videomuotoista dataa todentuntuisen katselukokemuksen luomiseksi (Xu et al. 2020). Yleisesti tunnettu 360°-kuvia hyödyntävä palvelu on Googlen karttapalvelun street view -ominaisuus, jossa katualueita voidaan tarkastella kadulla kulkevan näkökulmasta (Netek et al. 2020). Kuvamateriaali kattaa 360° x 180° katselualueen, joka ympäröi katselijan saumattomasti. Kuvausdataa voidaan käyttää esimerkiksi virtuaalitoellisuuden luomisessa. 360°-kuvaus vaatii kameran korkeaa resoluutiota, mutta tämä asettaa korkeita vaatimuksia kuvausdatan lähetykseen ja tallennukseen. Ratkaisuna on kuvausdatan pakkaaminen, mutta tämä heikentää kuvadatan laatua. (Xu et al. 2020)

360°-kameran etuna tavanomaisella kameralla kuvaukseen voidaan pitää tavallista suurempaa kuvausaluetta, jolloin koko tila saadaan kuvattua pienemmällä määrällä kuvia. 360°-kameran käytöllä voidaan siis pienentää työmaan kuvaukseen käytettävää aikaa. Jotta 360°-kuvia voidaan tarkastella, tarvitaan ohjelmisto, joka tukee tämän tyyppistä kuvadataa. Kuvausmateriaalia voidaan tarkastella joko sellaisenaan tai hyödyntää fotogrammetriaa ja luoda materiaalista myös kolmiulotteista pistepilvidataa. (Barbosa & Costa 2022) Edullisimpiakin 360°-kameroita voidaan käyttää sisätilojen kuvausmateriaalin fotogrammetriseen tarkasteluun kohtuullisella tarkkuustasolla (Holdener et al. 2017). Nimenomaan 360°-kameroiden käyttöä rakennusosalalla on tutkittu vain vähän (Barbosa & Costa 2022). Valokuviin perustuvan tietokonenäön hyödyntämisestä tutkimustietoa löytyy enemmän.

### 4.1 Käyttömahdollisuudet rakentamisessa

Digitalisaation ollessa kasvava trendi rakennusosalalla kasvaa myös tarve sisätilojen kuvaukseen ja tilannekuvan tallennukseen, johon 360°-kamerat tarjoavat yksinkertaisen ratkaisun nopeaan tiedonkeräykseen (Holdener et al. 2017). Golparvar-Fard et al. (2011a) mukaan työmaasta otettuja valokuvia hyödynnetään yleisimmin seuraavissa tilanteissa:

- rakentamisen työvaiheiden ja -järjestyksen visualisoinnissa
- toteumaseurannassa
- tuottavuuden mittauksessa

- onnettomuustutkinnassa
- ristiriitatilanteiden ratkaisussa
- laadunvarmistuksessa ja -hallinnassa.

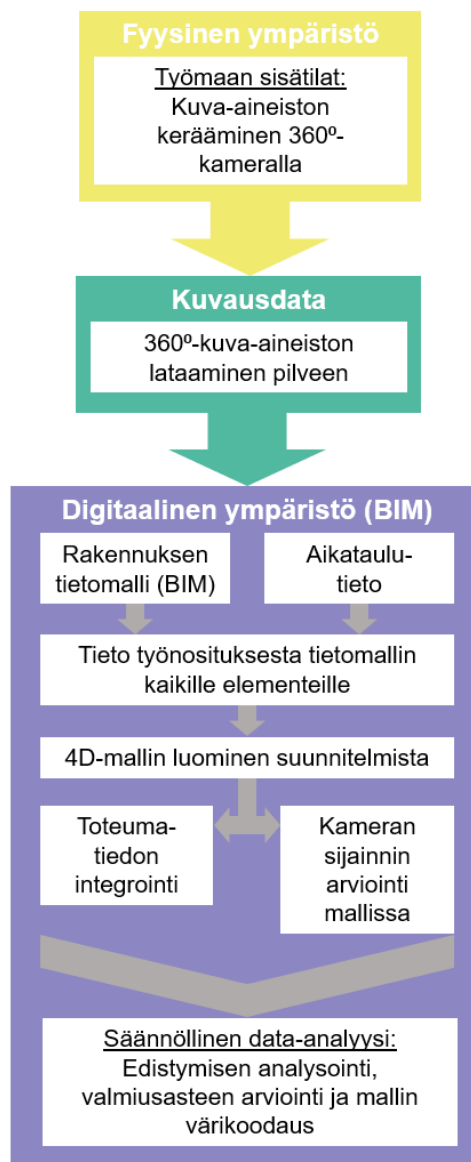
Kuvat tarjoavat helposti ymmärrettävän välineen sidosryhmien väliseen kommunikaatioon ja koordinointiin. Lisäksi kuvat tarjoavat todistusaineistoa mahdollisten ristiriitojen ilmetessä tai onnettomuustilanteessa. Onnistuneesta kuvakulmasta otetut laadukkaat, hyvässä valossa otetut valokuvat mahdollistavat myös laadullisen tarkastelun käymättä erikseen työmaalla. (Golparvar-Fard et al. 2011a) 360°-kuvauksen avulla on mahdollista parantaa kommunikaatiota ja dokumentaatiota rakennushankkeessa sekä tehdä rakentamisen prosesseja läpinäkyvämmiksi. Sen avulla voidaan tunnistaa aikatauluviiveet paremmin sekä parantaa tiedonkulkua. 360°-kameralla kuvattua kuvaa voidaan hyödyntää rakennustöiden sisätyövaiheen tilanteen kokonaisvaltaisessa esittämisessä. (Barbosa & Costa 2022)

Työmaan virtuaalinen rekonstruktio mahdollistaa projektipäälliköiden, rakennusvalvojien ja muun projektihenkilöstön työn ja työmaan tarkastelun paikasta riippumatta. Esimerkiksi projektinjohdon ja suunnittelijoiden ei tarvitse käyttää yhtä paljon aikaa työmaalle kulkemiseen, kun heillä on ajantasainen tilannetieto saatavissa tietokoneellaan. Etätarkastelu tekee tarkastelun helpoksi ilman, että tarkastelija on keskellä työmaan hektistä ja kiireistä toimintaympäristöä. Korkearesoluutioisesta kuvasta voidaan esimerkiksi tarkastella työnjälkeä tai havaita turvallisuusriskejä. Palaverissa voidaan keskittyä vähemmän ajantasaisen tilannetiedon läpikäymiseen ja käyttää enemmän aikaa päätöksentekoon. (Golparvar-Fard et al. 2011a)

360°-kuvausta voidaan käyttää rakennustyömaan tilannekuvan luomisessa. Digitaalisen tilannekuvan avulla rakennushankkeen eri osapuolet voivat paremmin hahmottaa työmaan toimintaa. Tavanomaisen toimintatavan mukaan työmaan tilannekuva muodostuu työmaakerroksilla ja jakamalla tietoa viikoittain esimerkiksi urakoitsijapalaverissa. Kiinnittämällä 360°-kameran kypärään työmaakerroksen ajaksi saadaan tallennettua samalla ajantasaista kuva-aineistoa. Tätä aineistoa voidaan käyttää laatutarkastuksissa tai myöhemmin rakennuksen ylläpitovaiheessa, kun rakennusaikaisessa kuvausmateriaalissa voidaan ikään kuin palata ajassa taaksepäin tarkastelemaan esimerkiksi, miten asennuksia on tehty seinän sisään. (Seppänen 2022)

### 4.1.1 Aikatauluhallinta

Barbosa & Costa (2022) esittivät tutkimuksensa tuloksena metodin, jonka avulla sisätilojen rakennusaikaista edistymistä voidaan seurata 360°-kuvauksella. Tutkijat havaitsivat, että digitaalisten työkalujen käytöstä toteumaseurannassa on tehty lähivuosina monia tutkimuksia, mutta harvat näistä käsittelevät sisätyövaihetta. Tieteellistä tutkimusta 360°-kuvauksen käytöstä rakentamisen toteumaseurannassa ei myöskään ollut aiemmin tehty. Kahdesta tutkimuksessa testatusta vaihtoehdosta rakentamisen toteumaseurantaan 360°-kuvausta hyödyntäen Barbosa & Costa ehdottavat metodologia, joka on esitetty kuvassa 5.



**Kuva 5.** 360°-kuvauksen prosessi rakentamisen aikatauluseurannassa (perustuu lähteeseen Barbosa & Costa 2022)

Kuten kuvassa 5 esitetään, metodin ensimmäinen askel on kerätä kuvadataa sisätiloista 360°-kameralla. Valokuvat on koottava yhteen ja muunnettava jpg-muotoon, jonka jälkeen ne tallennetaan pilvipalveluun, joka mahdollistaa kuvien tarkastelun ja integraation rakennuksen digitaalisen mallin kanssa. Digitaalisessa ympäristössä kuvausmateriaalia voidaan tarkastella yhdessä rakennuksen 4D-tietomallin kanssa. 4D-tietomallissa on yhdistetty rakennuksen tietomalli ja aikataulutieto. Tässä vaiheessa voidaan myös hyödyntää rakentamisen toteumatietoa, jota on syntynyt tuotannonhallinnan prosesseissa. Seuraavassa vaiheessa visuaalinen toteumatieto ja 4D-malli yhdistetään, jolloin sisätilojen 360°-kuvat sijoitetaan oikeaan paikkaan mallissa. Kuvattua dataa pitäisi analysoida säännöllisesti rakennushankkeen aikataulusuunnitelmat huomioiden, jotta aikataulupoikkeamat voidaan havaita ja korjata ajoissa. Lisäksi 360°-kuvista voidaan arvioida rakentamisen tehtävien valmiusastetta. (Barbosa & Costa 2022) Prosessi nojaa siis vahvasti aikataulutiedon sisältävän 4D-tietomallin käyttöön.

Kuvamateriaalin tarkastelua ja rakentamisen toteumaseuranta voidaan automatisoida hyödyntämällä tietokonenäköä. Taulukossa 3 on esitetty tietokonenäkölle suunnattuja tehtäviä toteumaseurantaan. Tehtävät on jaettu neljään kategoriaan, joita ovat objektin luokittelu, tunnistus ja seuranta sekä segmentaatio. Objektin luokittelussa tietokonenäkö määrittää todennäköisyyden, jolla kuvassa esiintyvä objekti kuuluu tiettyyn luokkaan. Tietokonenäkö esimerkiksi tulkitsee, että kuvassa esiintyvä objekti on 90 % todennäköisyydellä kaivinkone. Toisinaan tietokonenäkö pilkkoo objektin pienempiin osiin ja luokittelee osat erikseen. Objektin luokittelu määrittää ainoastaan todennäköisyyden, esittääkö kuva tiettyä objektia vai ei. Objektin tunnistus puolestaan käsittää sekä objektin luokittelua että paikannusta, tunnistaa ja paikantaa tiettyjä kohteita kuvista. Objektien seuranta tarkoittaa liikkuvan objektin paikannusta ja seuranta videokuvassa. Kuvien tunnistusta ja ymmärrystä pikselitasolla kutsutaan segmentaatioksi. Tämä prosessi mahdollistaa esimerkiksi objektien erotuksen taustastaan. (Paneru & Jeelani 2021)

*Taulukko 3. Tietokonenäön tehtäviä rakentamisen edistymisen seurannassa (suomennettu lähteestä Paneru & Jeelani 2021)*

<b>Metodi</b>	<b>Käyttötarkoitus</b>
Objektin luokittelu	Verrataan suunnitelmia rakennettuun Seurataan rakennustyön tilannetta ja edistymistä
Objektin tunnistus	Tunnistaa rakennusosia ja esteitä Visuaalinen vertailu tietomalliin edistymisen tunnistamiseksi
Objektien seuranta	Objektien reaaliaikainen havainnointi
Segmentaatio	Visuaalisten ominaisuuksien jakaminen osiin esimerkiksi värin, tekstuurin tai kontrastin mukaan

Objektin luokittelua ja tunnistusta voidaan käyttää droneilla tai muilla kameroilla kerätyn kuvadatan analysoinnissa rakennusosien tunnistamisessa ja toteuman vertaamisessa

suunnitelmiin (Yang et al. 2015). Automaattisella vertailulla tietomalliin toteumatietoa voidaan visualisoida esimerkiksi värikoodaamalla toteumatietoa liikennevaloväreillä (Golparvar-Fard et al. 2011b). Objektien seurannalla voidaan havainnoida muutoksia rakennekomponenteissa, mikä helpottaa edistymisen arviointia (Paneru & Jeelani 2021).

#### 4.1.2 Laatu

Laadunhallinnalla huolehditaan, että tilaajan rakennushankkeelle asettamat laatuvaatimukset täyttyvät. Tilaaja voi esittää laadullisia vaatimuksia, jotka koskevat rakennusmateriaaleja, työnjälkeä sekä yleisesti työmaalla noudatettavia työ- ja toimintatapoja. Laadunhallinnassa olennaista on selkeästi määritellyt laatuvaatimukset sekä hyvin suunnitellut ja toteutetut laadunvarmistustoimenpiteet. Hankkeen osapuolten välinen, toimiva tiedonkulku on olennainen osa onnistunutta laadunhallintaa. Hankeosapuolten vastuut ja velvollisuudet on oltava selkeästi määritelty laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi. (Junnonen 2022, s. 32–33)

Tietokonenäön avulla tyypillisesti työläitä ja paljon manuaalista työtä vaativia laadunhallinnan tehtäviä voidaan automatisoida. Tietokonenäköä on sovellettu rakennusalalla laadunhallintaan vain vähän korkeasta potentiaalista huolimatta. (Paneru & Jeelani 2021) Tietokonenäköä hyödyntäviä käyttökohteita kuvamateriaalin tarkasteluun laadunhallinnassa on listattu taulukossa 4.

*Taulukko 4. Tietokonenäön tehtäviä laadunhallinnassa (suomennettu lähteestä Paneru & Jeelani 2021)*

Metodi	Käyttötarkoitus
Objektin tunnistus	Asennusten verifiointi Toteuma-aikataulu Dimensioiden epäjohdonmukaisuus
Segmentaatio	Visuaalisten ominaisuuksien jakaminen osiin esimerkiksi värin, tekstuurin tai kontrastin mukaan

Tietokonenäön sovellutuksissa laadunhallintaan on hyödynnetty pääasiassa objektin tunnistus- ja segmentaatioteknologioita. Näiden avulla kuvien perusteella voidaan havaita rakenneosien laatueroja, kuten halkeamia ja virheitä rakennekomponenttien sijainnissa. (Paneru & Jeelani 2021) Laadunhallinnassa voidaan hyödyntää pistepilvidataa ja kuvamateriaalia rinnakkain, jolloin laadunhallinnan tehtäviä voidaan suorittaa tarkastelijan paikasta riippumatta. Kuvista voidaan esimerkiksi tarkastella valmiiden pintojen viimeistelyjälkeä. Laadullinen tarkastelu vaatii kuitenkin valokuvilta korkeaa resoluutiota, jotta kuvia voidaan tarkastella riittävän läheltä tarkasti. (Golparvar-Fard et al. 2011a)

### 4.1.3 Turvallisuus

Turvallisuudenhallinta ja suunnittelu on koko rakennushankkeen ajan jatkuva ja täsmennettävä prosessi. Rakennushankkeen päätoteuttajaksi nimetty urakoitsija on vastuussa työmaan turvallisuusjohtamisesta, työturvallisuuden suunnittelusta sekä rakentamisen turvallisesta toteutuksesta. Turvallisuudenhallintaan kuuluu esimerkiksi eri urakoitsijoiden töiden yhteensovitus, työmaan liikenteen ja liikkumisen organisointi, työmaan siisteydestä ja järjestyksestä huolehtiminen sekä yleisen turvallisuuden ja terveellisyysvarmistaminen. (Junnonen 2022, s. 78)

Tietokonenäön tehtäviä turvallisuudenhallinnassa ja työntekijöiden tuottavuuden seurannassa on eritelty taulukossa 5. Turvallisuudenhallinnassa ja tuotannon seurannassa metodeihin on lisätty yksi kategoria lisää, tehtävien tunnistus. Tehtävien tunnistuksella pyritään hahmottamaan ja tunnistamaan toimintaa videosta tai kuvasarjoista (Paneru & Jeelani 2021).

Taulukko 5. Tietokonenäön tehtäviä turvallisuudenhallinnassa ja työntekijöiden tuottavuuden seurannassa (suomennettu lähteestä Paneru & Jeelani 2021)

Metodi	Käyttötarkoitus
Objektin luokittelu	Työntekijöiden luokittelu Riskialueet Työvälineet Muut työmaan vaarat
	Edistymisen seuraaminen operatiivisella tasolla
Objektin tunnistus	Henkilösuojausten tunnistus Kaiteet Rakennusosien tuenta Työvälineet Nosturit
	Edistymisen seuranta sijainnin perusteella Tuottavuuden analysointi Rakennustyöntekijöiden ja työvälineiden tunnistus
Objektien seuranta	Työntekijöiden seuranta Työvälineet Kohde
	Työvälineiden liikkeen havainnointi
Tehtävien tunnistus	Työntekijän asennon tunnistus Huonon työasennon tunnistus Rakennustyöntekijöiden liikkeentunnistus
	Työntekijöiden ja objektien välisen vuorovaikutuksen havainnointi
Segmentaatio	Visuaalisten ominaisuuksien jakaminen osiin turvallisuusriskien havaitsemiseksi ja/tai arvioimiseksi
	Rakennusosan visuaalisten ominaisuuksien jakaminen osiin

Tietokonenäköä voidaan hyödyntää työmaan turvallisuuden analysoinnissa esimerkiksi tunnistamalla, onko työntekijöillä riittävät suojarusteet tai ovatko putoamissuojaukset

asianmukaisia (Paneru & Jeelani 2021). Tietokonenäön avulla voidaan esimerkiksi tunnistaa, mikäli betonirauδοitteiden päät ovat suojaamatta. Kuvausmateriaalista luodusta pistepilvidatasta voidaan myös tarkastella esimerkiksi kaivannon syvyyttä, jolloin mahdollinen turvallisuusriski tunnistetaan ja voidaan ryhtyä toimenpiteisiin. (Golparvar-Fard et al. 2011a) Tietokonenäön avulla voidaan myös tarkastella työntekijöiden työskentelyä tai seurata tiettyjä työvälineitä ja analysoida liikkeen perusteella esimerkiksi työntekijöiden työergonomiaa tai tuottavuutta. (Paneru & Jeelani 2021)

Lisäksi 360°-kuvamateriaalia voidaan hyödyntää rakennusalalla turvallisuuskoulutuksessa. Eiris et al. (2018) tutkivat rakennustyömaalta kerätyn 360°-kuvamateriaalin ja lisätyn todellisuuden käyttöä turvallisuuskoulutuksessa parantamaan turvallisuusriskien tunnistusta. Tutkimuksessa pyrittiin tavanomaisten koulutustapojen, kuten luentojen ja videoiden sijaan käyttämään työmaalta kuvattua 360°-kuvaa ja siihen lisättyä todellisuutta. Tutkimuksessa testattiin koulutus-alustaa kolmellakymmenellä rakennusalan opiskelijalla. Koulutus-alusta havaittiin hyväksi ja interaktiiviseksi koulutusmetodiksi, vaikkakin metodi vaatii vielä jatkokehitystä ennen laajempaa käyttöönottoa. (Eiris et al. 2018)

## 4.2 Kuvamateriaalin keräyksen ja hyödyntämisen haasteita

Tärkein kuviin perustuvan tuotannon ohjausmenetelmän toimintaan ja laatuun vaikuttava tekijä on kuvamateriaalin laatu. Tietokonenäköön perustuvat automatisoidut menetelmät pohjautuvat tallennettuun kuvamateriaaliin. Haasteena teknologian käytössä on rakennustyön luonteen vuoksi kuvadatan laatu. Rakennustyömaat ovat usein sotkuisia ja huonosti valaistuja, jolloin datan laatu on heikkoa tietokonenäön käsiteltäväksi. Sumea kuva tai huono kuvakulma heikentävät automaation toimintaa. Työmaalla voidaan vaikuttaa esimerkiksi kameran stabiliteettiin, mutta valaistusolosuhteet, työalueiden sotkuisuus ja esteet kuvausnäkyvässä ovat työmaille tyypillisiä. (Paneru & Jeelani 2021) Vaihtelua kuvanlaadussa aiheuttaa myös esimerkiksi se, mihin aikaan päivästä kuvaukset suoritetaan (Flores 2023). Jotta kuvamateriaalia voidaan tehokkaasti ja oikeellisesti tarkastella tietokonenäköä hyödyntäen, on kuvamateriaalin siis oltava laadukasta (Zhong et al. 2019).

Kuvamateriaalin laadun lisäksi suurin haaste tietokonenäön hyödyntämisessä rakentamisen toteumaseurannassa on riittävän yksityiskohtaisen tietomallin puute. Rakennustyön aikana työmaalla on usein paljon väliaikaisia rakennelmia, kuten telineitä ja valumuotteja, joita ei ole mallinnettu. Tämä tekee työmaalta otetun kuvausmateriaalin ja tietomallin vertailun keskenään haastavaksi. Jotta tietomallin ja kuvamateriaalin vertailu olisi tarkkaa ja paikkansapitävä, on kuvamateriaali kohdistettava onnistuneesti malliin.



Tämä työvaihe joudutaan usein tekemään manuaalisesti, jolloin virhealttius ja työajan käyttö lisääntyvät. (Paneru & Jeelani 2021)

Tietokonenäköön perustuvan seurannan hyödyntämistä rajoitti pitkään myös datan keräämiseen käytettävien laitteiden kehittyneisyys sekä kerätyn datan prosessointiin tarvittava laskentateho. (Reja et al. 2022). Tietokoneiden laskentatehon kasvun myötä myös koneoppiminen on kehittynyt nopeasti. Tietokoneet oppivat havaitsemaan toistuvia kaavoja niille syötetyistä tiedoista ja soveltavat tätä tietoa uuteen dataan. (Braun et al. 2020) Tietokonenäön hyödyntämistä haittaa kuitenkin riittävän tietokannan puuttuminen, jotta tekoäly voisi oppia tunnistamaan tiettyjä objekteja kuvista. (Paneru & Jeelani 2021) Koneoppimista hyödyntävien sovelluksien toiminta on riippuvainen niiden koulutuksessa käytettävän aineiston laajuudesta ja laadusta (Zhong et al. 2019). Objektien luokittelua vaikeuttaa lisäksi vaihtelu koneiden ja laitteiden tai rakenneosien ulkonäössä sekä työntekijöiden liikkeissä. Esimerkiksi eri valmistajien työkoneet saattavat olla hyvin erinäköisiä tai rakenneosa näyttää erilaiselta riippuen kuvakulmasta. Tällaiset vaihtelut saattavat johtaa objektien virheelliseen luokitteluun. Lisäksi materiaalien pinnat voivat olla työmaalla erittäin vaihtelevia, kuten sileitä tai hyvinkin epätasaisia pintoja, kuten marmori ja nurmi. Tämä luo haasteita ja monimutkaistaa tietokonenäölle suunnattuja tehtäviä esimerkiksi laadullisessa tarkastelussa. (Paneru & Jeelani 2021)

Tietokonenäkö ei myöskään tunnista syy-seuraussuhteita, jolloin kuvien analysoinnissa tarvitaan edelleen ihmistä kausaliiteetin havaitsemiseen. Tietokonenäkö ei ymmärrä henkilön ja työympäristön välistä vuorovaikutusta. Kausaliiteetin tunnistaminen on erityisen tärkeää tietokonenäköä hyödyntävissä turvallisuusriskien tarkasteluissa. Tietokonenäkö tunnistaa objektin kuvasta, mutta esimerkiksi turvallisuusriskien tarkempi analysointi vaatii kontekstin ja alan säännöstelyn tuntemusta. (Zhong et al. 2019)

Lisäksi haasteena ovat datankeräysinfrastruktuurin sekä laadukkaaseen tiedonkeräykseen käytettyjen työtuntien kustannukset (Paneru & Jeelani 2021). Tarkoitukseen käytettävien sovellusten ja laitteiden hintataso vaihtelee. Kuvauksen aloitus saattaa vaatia merkittävänkin alkuinvestoinnin, kun taas kuvauksen rahallista hyötyä on vaikea hahmottaa. Lisäksi hankkeen henkilöstön työaika on rajallista, sitä ei voida käyttää loputtomasti työmaalla kiertämiseen ja kuvaamiseen. Tämä johtaa epätäydelliseen datankeräykseen, jolloin joitakin alueita saattaa jäädä taltioimatta tai kuvausvälit venyvät pitkiksi. Rakennustyömailla on myös tilanteita, jolloin jollakin alueella ei pääse kulkemaan, eikä kuvausta silloin voida tehdä. Tämä voidaan välttää kuvausten hyvällä organisoinnilla ja aikataulutuksella. (Flores 2023)

Kuvadatan keräyksessä on lisäksi huomioitava työntekijöiden yksityisyydenturva. Kuka omistaa kerätyn kuvamateriaalin on edelleen kyseenalaista. (Paneru & Jeelani 2021) Yksityisyydenturvaan liittyvät lait saattavat rajoittaa kuvamateriaalin jakamista. Laeissa saattaa olla paikallisia eroja, esimerkiksi Euroopan Unionin alueella on huomioitava yleinen tietosuojasetus GDPR (General Data Protection Regulation). (Zhong et al. 2019) Vaikka kuvamateriaalinkeräyksen tarkoituksena ei olisikaan työntekijöiden valvonta, heidän tekemisensä tallentuu kuvamateriaaleihin väistämättä. Tällä saattaa olla vaikutusta työntekijöiden mielenterveyteen, sillä jatkuva kuvaus saattaa aiheuttaa oloa jatkuvan valvonnan alaisena olemisesta, mikä saattaa johtaa stressiin ja ahdistukseen. (Paneru & Jeelani 2021) Tärkeää rakennustyömaan työntekijöitä kohtaan on, kuinka työmaan johto käyttää työntekijöistä kerättyä tietoa. Työntekijät ovat todennäköisemmin yhteistyöhaluisia, jos kerättyä tietoa käytetään tuotantotapojen kehityksessä tiukan valvonnan sijaan. Esimerkiksi jos kuvamateriaalia käytetään havaitsemaan ja korjaamaan tehottomia työkentelytapoja ja esteitä työnteolle tai parantamaan työturvallisuutta, myös työntekijät hyötyvät kuvauksesta. (Navon & Sacks 2007)

## 5. TAPAUSTUTKIMUS

Empiirinen tutkimus on monivaiheinen kokonaisuus, jossa vaiheiden välillä vallitsee riippuvuussuhde (Hirsjärvi & Hurme 2022, s. 22). Empiirisessä, laadullisessa tutkimuksessa kerätty aineisto kuvaa tutkittavien omakohtaista kokemusta tutkimuksen kohteena olevasta ilmiöstä. Tutkimuksessa kerätty aineisto voi olla erittäin vaihtelevaa ja monipuolista, kuten erilaisia muistiinpanoja, äänitteitä tai videoita. Tämän vuoksi aineiston käsittely ja analysointi saattaa olla haastavaa ja työlästä. (Puusa & Juuti 2020, s. 337–338) Laadullisessa tutkimuksessa tulosten analysointiin ei ole olemassa standardoituja menetelmiä ja tutkimustulosten tapauskohtaisuus saattaa herättää epäilyksiä tulosten luotettavuudesta (Puusa & Juuti 2020, s. 341). Tutkijan tehtävänä on koota hajanaisestä ja monipuolisesta aineistosta selkeä ja informatiivinen kokonaisuus, jonka perusteella tutkittavasta ilmiöstä voidaan tehdä tieteellisesti päteviä johtopäätöksiä (Puusa & Juuti 2020, s. 345).

Tässä diplomityössä empiirinen tutkimus on suoritettu työsuhteessa Skanska Talonrakennus Oy:lle, joka kuuluu Hämeenlinnaan uutta sairaalaa toteuttavaan Ahveniston sairaala -allianssiin. Empiirinen tutkimus on toteutettu monimenetelmäisenä sisältäen tapaustudkimuksen ja haastattelututkimuksen osuudet. Tässä kappaleessa käsitellään empiirisen osuuden tapaustudkimusta, haastattelututkimus käsitellään kappaleessa 6. Tässä kappaleessa kuvataan tutkimuskohdetta, siellä käytössä olevaa OpenSpace-sovellusta ja sen käyttöominaisuuksia. Kappaleessa käsitellään, miten 360°-kuvausta on käytetty tutkimuskohteessa. Havainnot 360°-kuvauksen käyttökohteista ja mahdollisuuksista hankkeessa on tehty päivittäisen työn lomassa yhteistyössä hankkeen eri osapuolten kanssa. Ominaisuuksien toiminnallisuutta ja käyttökelpoisuutta on arvioitu tapauskohtaisesti.

### 5.1 Tutkimuskohde – Ahveniston sairaala Assi

Diplomityön tutkimuskohteena on allianssimallilla toteutettava Ahveniston sairaala Hämeenlinnassa (kuva 6). Allianssimalli on yhteistoiminnallinen toteutusmuoto, jossa allianssiosapuolet vastaavat yhdessä hankkeen onnistumisesta ja jakavat riskit. Allianssin osapuolia ovat tilaaja ja palveluntuottajat, jotka tilaaja valitsee. Palveluntuottajaosapuolet voivat olla esimerkiksi rakentamisen ja suunnittelun palveluita tarjoavia yrityksiä. Allianssiosapuolet ovat yhteisesti vastuussa hankkeen suunnittelun ja rakentamisen onnistumisesta sekä laatu-, kustannus- ja aikataulutavoitteiden saavuttamisesta. Toteutusmuoto

sopii erityisesti suuriin ja vaativiin hankkeisiin, joissa sekä riskit että onnistumisen mahdollisuudet ovat merkittäviä. (RT 103239 2020, s. 2)



**Kuva 6.** Havainnekuva Hämeenlinnan Assi-sairaala. Nykyinen Kanta-Hämeen keskussairaala näkyy kuvassa uuden rakennuksen takana (Ahveniston sairaala 2021)

Ahveniston sairaalan eli Assin allianssiosapuolet ovat Kanta-Hämeen hyvinvointialue, Skanska Talonrakennus Oy, Sweco rakennetekniikka Oy, Sweco talotekniikka Oy sekä Integrated-työyhteisliittymä, joka muodostuu arkkitehtitoimistoista (Ahveniston sairaala n.d.a). Sairaalan rakentaminen alkoi vuonna 2021 ja sen on määrä valmistua vuonna 2026. Sairaalan budjetti on 356 miljoonaa euroa. Valmistuessaan sairaalan pinta-ala on 75 900 brm<sup>2</sup> ja sen tiloissa tulee toimimaan muun muassa Tays sydänsairaala, Fimlabin laboratorio, Hämeenlinnan perusterveydenhuolto sekä pelastuslaitoksen sivupaloasema Hämeenlinnan kaupungin länsipuolen tarpeisiin. (Ahveniston sairaala n.d.b) Elokuussa 2023 aluehallitus päätti Assi-sairaalan lisäosien rakentamisesta, jotka on vanhassa vuoden 2021 havainnekuvasa (kuva 6) esitetty valkoisena osana sairaalan länsipuolella. Lisäosiin sijoitetaan muun muassa parkkihalli, henkilöstöravintola ja sairaalan teknisiä tiloja. Lisäosien rakentaminen käynnistyy syksyllä 2023. (Ahveniston sairaala 2023)

Hankkeen sisävalmistusvaihe toteutetaan tahtituotantona. Hankkeessa noudatetaan viikon eli 5 työpäivän tahtiaikaa. Sairaalarakennus on jaettu kolmeen osaan, joista jokainen noudattaa omaa tahtiaikatauluaan. Rakennuksen osat ovat kuuma, osasto ja elektiiivinen. Rakennuksen suurin ja vaativin osa kuuma sisältää kriittiset sairaalatoiminnot, kuten leikkaussalit ja päivystyksen. Pienimpään osaan elektiiiviseen kuuluvat esimerkiksi

hallinnolliset toiminnot ja vastaanottohuoneita. Osastorakennuksessa ovat sairaalan vuodeosastot. Lisäksi hankkeeseen kuuluu pienempiä tukipalvelurakennuksia, joita ovat sairaala-apteekki, pelastuslaitos ja varavoimarakennus.

Assi-hankkeessa digitalisaatiolla on suuri merkitys. Projekti käsittää lähes 300 tietomallia ja työmaasta otetaan säännöllisesti dronekuvaa sekä työmaalla tehdään viikoittain 360°-kuvauksia. Assi on saanut tietomallien monipuolisesta hyödyntämisestä tunnustusta voittamalla vuoden 2023 Suomen Tekla BIM Awardsin yleisöäänestyksen. (Tekla 2023) 360°-kuvaukset pyritään ajoittamaan loppuviikkoon, jolloin kyseisen viikon tahdin mukaiset työt ovat lähes valmiit tai valmiit. Jokaisella kolmesta rakennuksen osasta on omat 360°-kuvauksia tekevät vastuuhenkilöt ja toimintatavoissa kuvauksen organisoinnissa sekä kuvausmateriaalin hyödyntämisessä saattaa olla rakennuskohtaisia eroja.

## 5.2 Käytettävä kuvauslaitteisto

Tutkimuskohteessa käytetään 360°-kuvaukseen Insta360 One X -kameraa ja uudempaa Insta360 X3 -kameraa. Uudempi kamera ostettiin Assi-hankkeelle heinäkuussa 2023. Kameroiden teknisiä ominaisuuksia on vertailtu taulukossa 6.

*Taulukko 6. Assi-hankkeella käytettävien 360°-kameroiden ominaisuuksia (Insta360 2023a; Insta360 2023b)*

Malli	Insta360 One X	Insta360 X3
Videoresoluutio	5.7K	5.7K
Kuvaresuolutio	18 MP	72 MP
Akkukapasiteetti	1050 mAh	1800 mAh
Akkukesto	60 min	81 min
Hinta	339,99 €	589,99 €

Taulukosta 6 nähdään, että kameroiden resoluutio videokuvauksessa on sama, mutta uudemman X3-mallin valokuvaresoluutio on vanhempaan malliin nähden moninkertainen. Myös uudemman kamerasen akkukapasiteetti ja -kesto ovat suuremmat. Hintaeroa kameramalleilla on 250 €. Uudemmallalla 360°-kameralla kuva on hieman tarkempaa, eikä X3-mallin kamera ole aivan yhtä herkkä valaistusolosuhteiden vaihtelulle. Kuitenkin vaihtelevat valaistusolosuhteet heikentävät edelleen selvästi kuvanlaatua. Uudemman kamerasen ostaminen edisti OpenSpacen käyttöä myös laadunhallinnassa, koska parempi kuvanlaatu mahdollisti jossain määrin kuvausmateriaalin tarkemman tarkastelun. Molemmat kameramallit on esitetty kuvassa 7.



**Kuva 7.** 360°-kuvauksessa Assi-hankkeella käytettävät kuvausjalustaan kiinnitetyt Insta360-kamerat (Niina Kekki)

Kuvassa vanhempi One X -malli on etualalla, taaempana uudempi kosketusnäytöllinen X3-malli. Kuvauksen aikana kamera voidaan kuvassa 7 nähtävän sinisen jalustan avulla kiinnittää magneetilla työmaalla käytettävään kypärään. Akkukestävyyden varmistamiseksi kamera voidaan liittää ulkopuoliseen virtalähteeseen kuvauksen ajaksi. Assi-työmaalla käytössä olevien vanhempien One X -kameroiden akkukestävyys on heikko, joten ulkoinen virtalähde on pitkäkestoisissa kuvauksissa erityisesti kyseisen kameramallin käytössä tarpeen.

### 5.3 OpenSpace-sovellus

OpenSpace on tekoälyä hyödyntävä sovellus työmaan dokumentointiin 360°-kuvauksella (OpenSpace 2023d). Työmaa kuvataan kypärään kiinnitetyllä 360°-kameralla ja kuvausmateriaali ladataan sovellukseen. Tämän jälkeen kuvista generoidaan Google Streetview'n tyyppistä materiaalia, jota voidaan tarkastella OpenSpacen mobiilisovelluksella tai selaimella. (OpenSpace 2023f)

OpenSpacen edustajan mukaan OpenSpacen avulla voidaan lisätä työmaatyöskentelyn läpinäkyvyyttä ja tarjota eri sidosryhmille yhtenevä kuva rakentamisen etenemisestä. OpenSpacen luvataan myös edistävän lean-periaatteita vähentämällä työmaalle kulkeamisen sekä korjaustöiden ja purkamisen tarvetta. Sovelluksen avulla pyritään mahdollistamaan toimivampaa aikataulutusta, toteumaseurantaa, kommunikaatiota sekä läpinäkyvyyttä. (Flores 2023) Empiirisessä osuudessa tutkitaan, missä määrin sovellus kykenee lunastamaan edellä mainitut lupaukset Assi-hankkeessa.

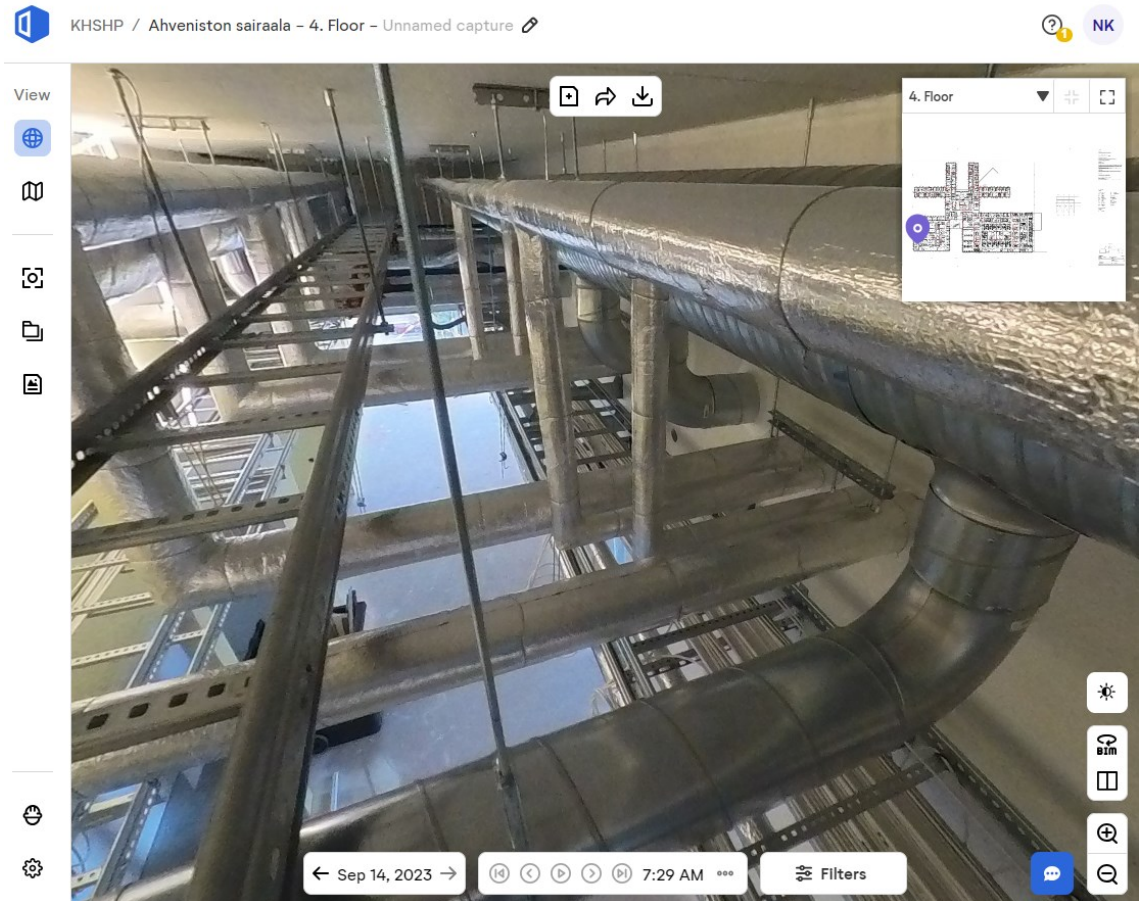
### 5.3.1 OpenSpace Capture

OpenSpace Capture on OpenSpacen tarjoama perusmallin sovellus työmaan dokumentointiin 360°-kuvauksella (OpenSpace 2023f). Ahveniston sairaala -hankkeella on käytössään OpenSpace Capture.

Kun 360°-kamera on päällä ja kiinnitettynä kypärään, kamera yhdistetään mobiililaitteeseen Wi-Fi:n avulla. Sovelluksesta valitaan oikean kerroksen pohjakuva ja merkitään siihen kuvauksen aloituspiste. Tämän jälkeen kuvaus voidaan aloittaa. (OpenSpace 2023m) OpenSpace Capturen avulla rakennuksesta voidaan kartoittaa 14 000 m<sup>2</sup> tunnissa. 360°-kamera ottaa OpenSpaceen kuvatessa kaksi kuvaa sekunnissa. (OpenSpace 2023f) Kuvauksen aikana on hyvä kävellä rauhalliseen tahtiin ja pitää pää vakaana. Päättä ei siis tarvitse pyöritellä kuvausta kohdistaakseen kuvauksen aikana, sillä kamera kuvaa täydet 360°-astetta. Pään pyörittely ja liian reipas kävelyvauhti myös heiluttavat kameraa, mikä saattaa johtaa sumeisiin kuviin. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että kuvauksen aikana tarvitsisi kävellä ikään kuin pään päällä olisi kirjapino, vaan tavanomainen, kohtuullisen rauhallinen kävelyvauhti ja ylimääräisen pään heiluttelun välttäminen riittävät. Kuvauksen aikana on hyvä käydä mahdollisimman monessa tilassa, jotta hyödynnettävää kuvamateriaalia on riittävästi. Kun kerros on kierretty, kuvaus pysäytetään sovelluksessa ja kuvaaja voi siirtyä seuraavaan kerrokseen ja toistaa prosessin. Kuvamateriaali voidaan ladata palveluun mobiilisovelluksen tai Desktop Sync App -työpöytäsovelluksen kautta. (OpenSpace 2023p) Latausta työpöytäsovelluksen kautta suositellaan, jos videon kesto on yli 10 minuuttia, ladattavana on useampia kuvauksia kerralla tai mobiiliverkko on heikko (OpenSpace 2023o).

Tietokonenäön avulla OpenSpace tunnistaa automaattisesti sijainnin rakennuksessa ja yhdistää kuvat sijaintitietoon sekä piirtää kuvauksen aikana kuljetun reitin pohjakuvaan. OpenSpace käyttää 3D-rekonstruktioita pistepilvidatan luomisessa. Se arvioi kahden eri kuvan perusteella kamerasijainnin rakennuksessa ja luo pistepilven laskelmiensa perusteella. OpenSpace käyttää aiemmilla kierroksilla kuvattua materiaalia tekoälyn koulutukseen. Koneoppimisen avulla kuvausten jälkeinen prosessointiaika ja kuvien paikantamisen täsmällisyys paranevat, mitä enemmän kuvausdataa kerätään. OpenSpace hyödyntää segmentaatioteknologiaa objektien tunnistamiseen kuvamateriaalista. (OpenSpace 2023n) OpenSpace suorittaa siis Barbosa & Costa (2022) esittämästä prosessista kuvadatan sijoittamisen oikeaan paikkaan mallissa automaattisesti.

OpenSpaceen voidaan jatkuvan kuvauksen lisäksi ottaa yksittäisiä 360°-valokuvia. Tällöin kuvissa on mahdollista saavuttaa parempi resoluutio tai tallentaa yksittäinen tila yhdellä kuvalla. (OpenSpace 2023l) Kuvassa 8 on esitetty OpenSpacen 360°-valokuvatoiminnolla otettua kuvaa alakaton yläpuolisista talotekniikka-asennuksista.

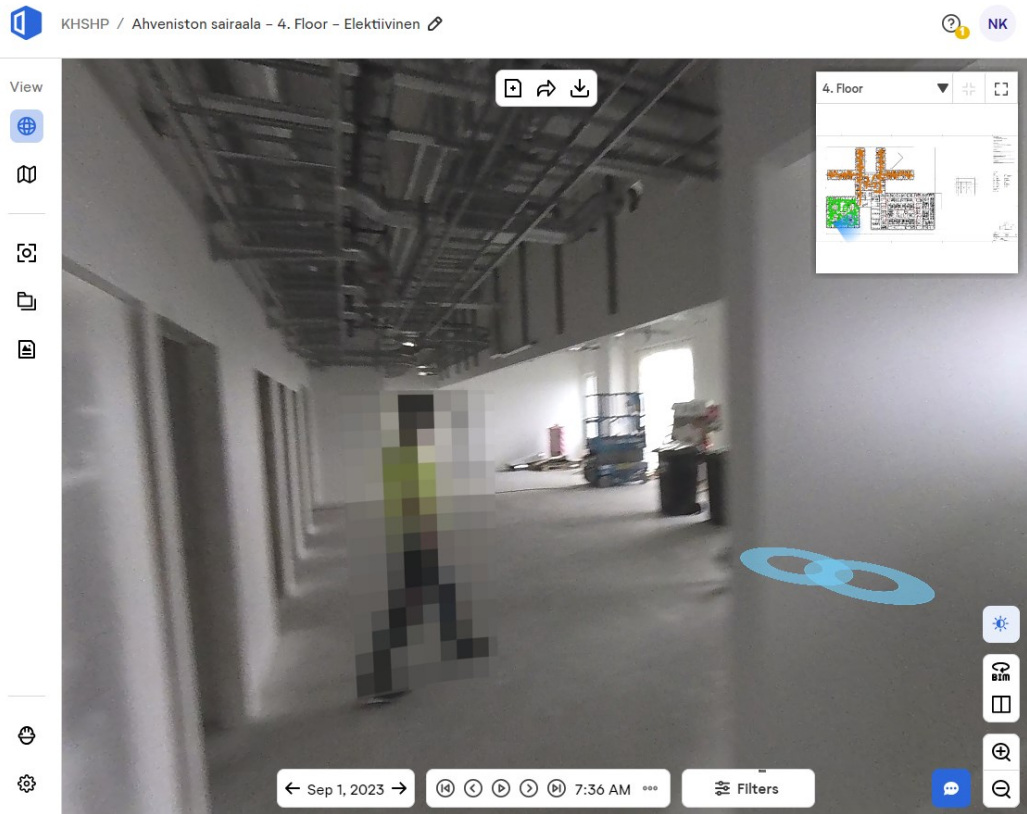


**Kuva 8.** Alakaton yläpuolisia talotekniikan asennuksia (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen selainversiosta)

Kuva 8 on otettu 360°-kameralla, joka on kiinnitetty jatkovarrelliseen selfiekeppiin. Menetelmä mahdollistaa kuvauksen ja talotekniikan tarkastelun sekä dokumentoinnin myös korkealla olevissa paikoissa, joihin on muutoin vaikea nähdä. Kuvasta voidaan tarkastella esimerkiksi putkieristeitä ja havaita mahdollisia vauriokohtia. Sovelluksessa kuvaa voi tarkastella joka suuntaan täydet 360 astetta. Kuva on havainnollisempi kuin useat yksittäiset valokuvat.

OpenSpacessa on ominaisuus, jonka avulla ohjelma sumentaa automaattisesti kuvamateriaalissa havaitsemansa henkilöt (OpenSpace 2023a). Sumennuksen toimintaa on havainnollistettu kuvassa 9.

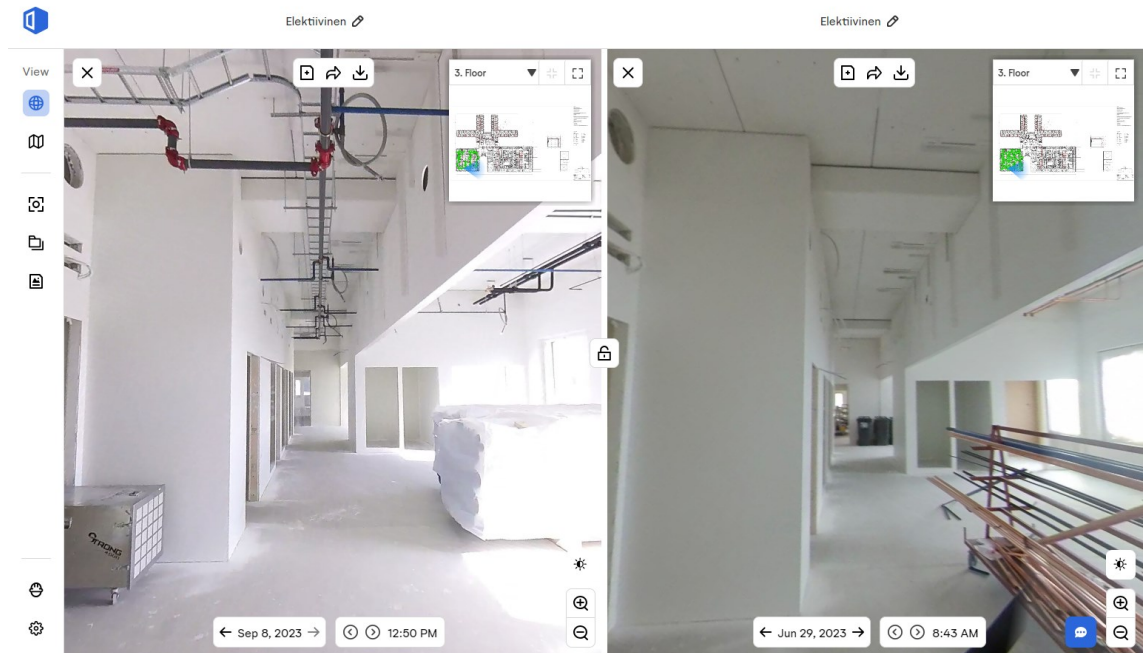




**Kuva 9.** Sumennettu henkilö OpenSpace-sovelluksessa (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen selainversiosta)

Kun ominaisuus on aktivoitu, ohjelma havaitsee tunnistettavissa olevat kasvot ja sumentaa henkilön, jotta henkilökohtaisten tunnistetietojen keräys kuvatessa voidaan minimoida. Aina kasvojen tunnistus ei kuitenkaan onnistu, jolloin kasvot jäävät sumentamatta. Tämä voi johtua esimerkiksi vääristyneestä kuvasta, kuvan epätarkkuudesta, kasvomaskin käytöstä tai muusta esteestä kasvojen edessä. Kasvojentunnistus saattaa myös tulkita kasvoiksi väärän objektin, jolloin toiminto sumentaa objektin virheellisesti. GDPR:n vaatimusten noudattaminen on sekä OpenSpacen että heidän asiakkaansa vastuulla. Tunnistetietojen keräystä voidaan välttää esimerkiksi ajoittamalla kuvaus sellaiseen aikaan, kun työmaalla on vähemmän työntekijöitä. (OpenSpace 2023a)

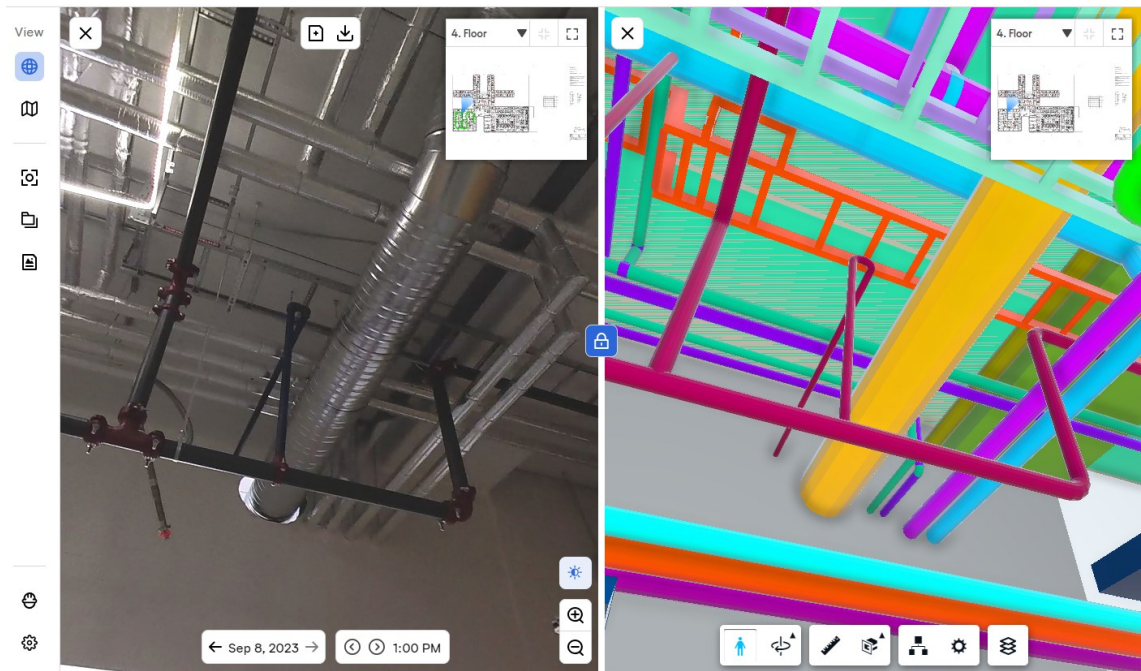
OpenSpace-ohjelmassa voidaan tarkastella kahta eri aikaan kuvattua 360°-kuvaa rinnakkain, kuten kuvassa 10 on esitetty.



**Kuva 10.** Rakentamisen tilannetta syyskuun alussa ja kesäkuun lopussa samassa tilassa rinnakkain tarkasteltuna (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen selainversiosta)

Tarkastelemalla eri aikaan kuvattuja 360°-kuvamateriaaleja rinnakkain voidaan todentaa esimerkiksi asennusten toteumaa tietyllä aikavälillä tai tarkastella asennuksia väliseinien sisällä tai alakaton yläpuolella, kun rakenne on jo ummistettu. Kuvasta 10 voidaan myös tarkastella, millainen vaikutus kameralla ja valaistuksella on työmaalta otettuihin kuviin. Vasemmanpuoleinen kuva on kuvattu kirkkaana päivänä runsaassa päivänvalossa uudemmalla 360°-kameralla, kun taas oikeanpuoleinen kuva on kuvattu vanhemmalla kameralla pilvisempänä päivänä.

OpenSpacessa voidaan myös tarkastella 360°-kuvia ja tietomallia rinnakkain, jolloin 360°-kuvissa liikkussa sovellus näyttää tällöin tietomallin samassa sijainnissa (OpenSpace 2023f). Kuvassa 11 on nähtävillä talotekniikan asennusten tarkastelua rinnakkain tietomallin kanssa.



**Kuva 11.** Talotekniikan asennusten tarkastelua 360°-kuvasta tietomallin kanssa rinnakkain (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen selainversiosta)

Tietomallista voi tarkastelun aikana piilottaa objekteja ja ottaa esimerkiksi mittoja (OpenSpace 2023f). Kuvassa 11 mallista on piilotettu alakatto ja kaapelihyllyjä talotekniikan asennusten tarkastelun mahdollistamiseksi. Tarkastelu 360°-kuvista on silmämääräistä, sillä kuvamateriaalista ei pysty ottamaan mittoja. OpenSpace kehittää parhaillaan mittatyökalua, jolla mittoja voidaan ottaa suoraan 360°-kuvamateriaalista, mutta työkalu on vielä beta-vaiheessa (OpenSpace 2023c). Tietomallin kanssa rinnakkain tarkastelulla voidaan kuitenkin havaita esimerkiksi seinien reikäpuutteita.

OpenSpace julkaisi kesäkuussa 2023 uuden BIM+-laajennuksen sovellukseensa helpottamaan työmaan tietomallikoordinaointia (OpenSpace 2023i). OpenSpace BIM+ myydään OpenSpace Capturen lisäosana. BIM+ -ominaisuuden avulla tietomallia ja 360°-kuvia voidaan rinnakkain tarkastelun lisäksi tarkastella samassa kuvassa päällekkäin. Tällöin voidaan esimerkiksi tarkastella paremmin tulevien asennusten sijoittelua rakennuksessa ja paikantaa mahdollisia törmäyksiä tai virheellisiä asennuksia. (OpenSpace 2023e) BIM+-ominaisuudet eivät ole Assi-hankkeella käytössä, joten hankkeella ei ole käyttökokeuksia toiminnosta.

Kuvauksen aikana sovellukseen voidaan tehdä field noteja, eli havaintoja työmaalta. Havainto näkyy automaattisesti kuvamateriaalin latauksen jälkeen siinä sijainnissa, missä havainto on kuvauksen aikana tehty. Field note -havaintoja voidaan tehdä kuvamateriaaliin myös jälkikäteen sovelluksen selainversiolla. (OpenSpace 2023b) Field note -havainto on esitetty kuvassa 12.

The screenshot displays the OpenSpace application interface for a field note. On the left, there is a photo gallery with 'Change photo' and 'Markup' options. Below the photos are 'Previous' and 'Next' navigation buttons. A blue banner indicates the note was captured on Jul 27, 2023. The 'Description' field contains the text 'Lyhyet hanakulmat, E1.03.000\_ KÄYTÄVÄ'. Below this is a 'Comment' section with an 'Add a comment...' input field. The 'Activity' section shows an icon of a hard hat and the text 'No comments yet... Start the conversation!'. On the right, a sidebar provides metadata for the note, titled '1. Floor'. It includes a floor plan image with a location marker, a 'Status' dropdown set to 'No Status', an 'Assignee' dropdown set to 'UA Unassigned', an 'Email Alerts List' showing '1 Member on Email Alerts List', a 'Tags' section with 'Plumbing' selected, a 'Due Date' field with a calendar icon and 'MM/DD/YYYY' placeholder, and an 'Attachments' section with a message 'Looks like no attachments have been added yet.' and a 'Browse Files' button.

**Kuva 12.** OpenSpace-sovellukseen tehty field note -havainto (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen selainversiosta)

Kuten kuvassa esitetään, havaintoa voidaan sovelluksessa kommentoida, sille voidaan määrittää status, vastuuhenkilö, mihin työvaiheeseen havainto liittyy, ja mihin mennessä havainnon vaatimat toimenpiteet pitää olla tehty. Havainnosta voi lähettää myös sähköposti-ilmoituksen tarpeellisille henkilöille ja havaintoon voidaan liittää tiedostoja, kuten

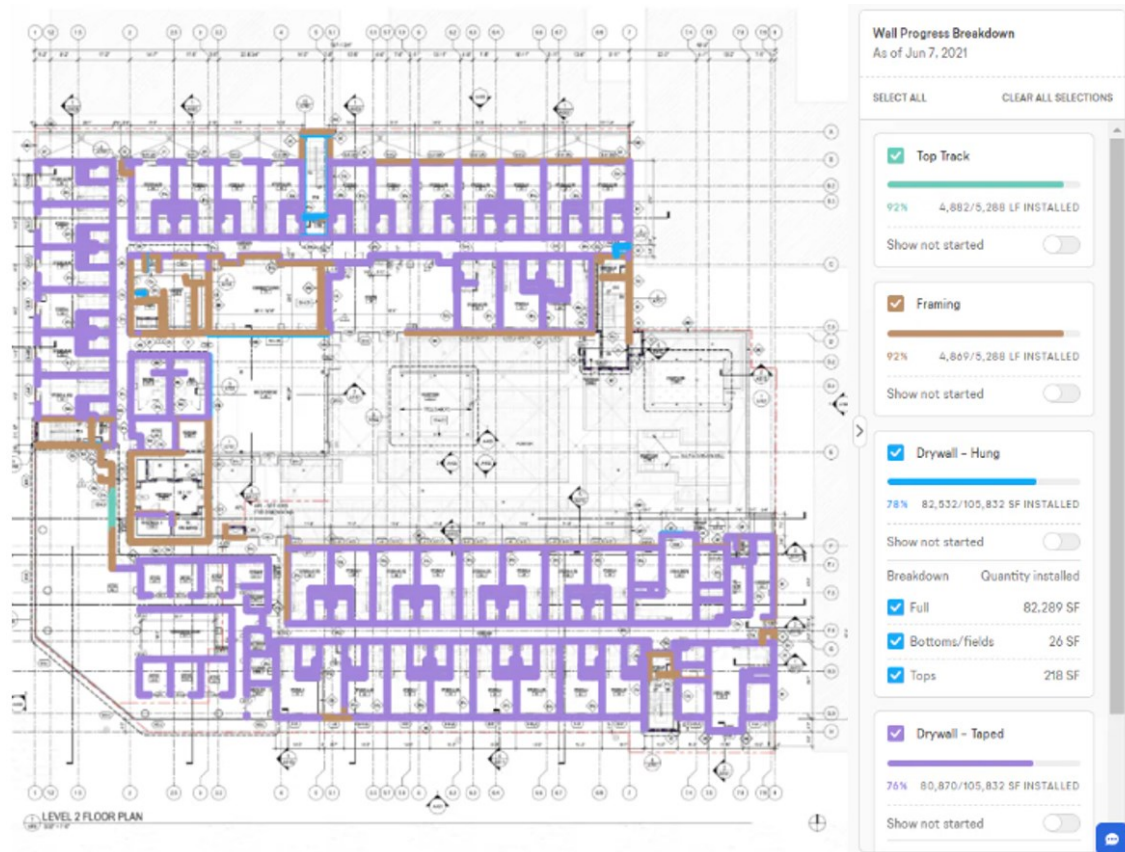
havaintoon liittyviä suunnitelmia. Field notes -ominaisuutta on käytetty Assi-hankkeessa lähinnä kokeilumielessä, sillä vastaavien turvallisuus- ja laatuhavaintojen tekemiseen hankkeessa on käytössä Congrid-sovellus. OpenSpacesta (2023f) on suora integraatio vastaavaan, Yhdysvalloissa laajemmin käytettyyn Procore-ohjelmaan. Procoren lisäksi OpenSpacesta on myös integraatio Revizto, PlanGrid ja Autodesk Construction Cloud ohjelmiin. Integraatiot mahdollistavat tiedon liikkumisen eri ohjelmien välillä. (OpenSpace 2023f)

### **5.3.2 OpenSpace Track**

OpenSpace Track on OpenSpace Capturea laajempi sovelluskokonaisuus, jonka avulla voidaan tehdä automatisoitua toteumaseurantaa. Joidenkin rakennusosien kohdalla toteumaseuranta on vielä beetavaiheessa. Tällä hetkellä OpenSpace Trackilla voidaan tarkastella seinien, alakattojen, ovien, betonirakenteiden, lattiamateriaalien sekä talotekniikan toteumaa. (OpenSpace 2023j)

OpenSpace Track hyödyntää tietokonenäköä ja koneoppimista tunnistamaan sekä kartoittamaan 360°-kuvamateriaalista rakentamisen toteumaa. Kuvamateriaali kerätään vastaavasti kuin OpenSpace Capturella. Rakenneosat paikannetaan objektien tunnistuksella tai luokitellaan segmentaatiolla, jolloin rakenneosia voidaan paikantaa 3D-piste-pilvestä. Tekoälyn avulla ohjelma laskee esimerkiksi rakennusosien valmiusasteen, työmäärän sekä arvioidun valmistumisajankohdan. OpenSpace Track myydään OpenSpace Capturen laajenuksena. (OpenSpace 2023j) Assi-hankkeella ei ole OpenSpace Track -ominaisuuksia käytössään, mutta ominaisuuksia on testattu muissa Skanskan kohteissa (OpenSpace 2023h).

Toteumaa voidaan tarkastella ohjelmassa taulukkomuodossa, erilaisina kuvaajina tai pohjakuvan kanssa (OpenSpace 2023g). Toteuman esittämistä pohjakuvassa on nähtävissä kuvassa 13.



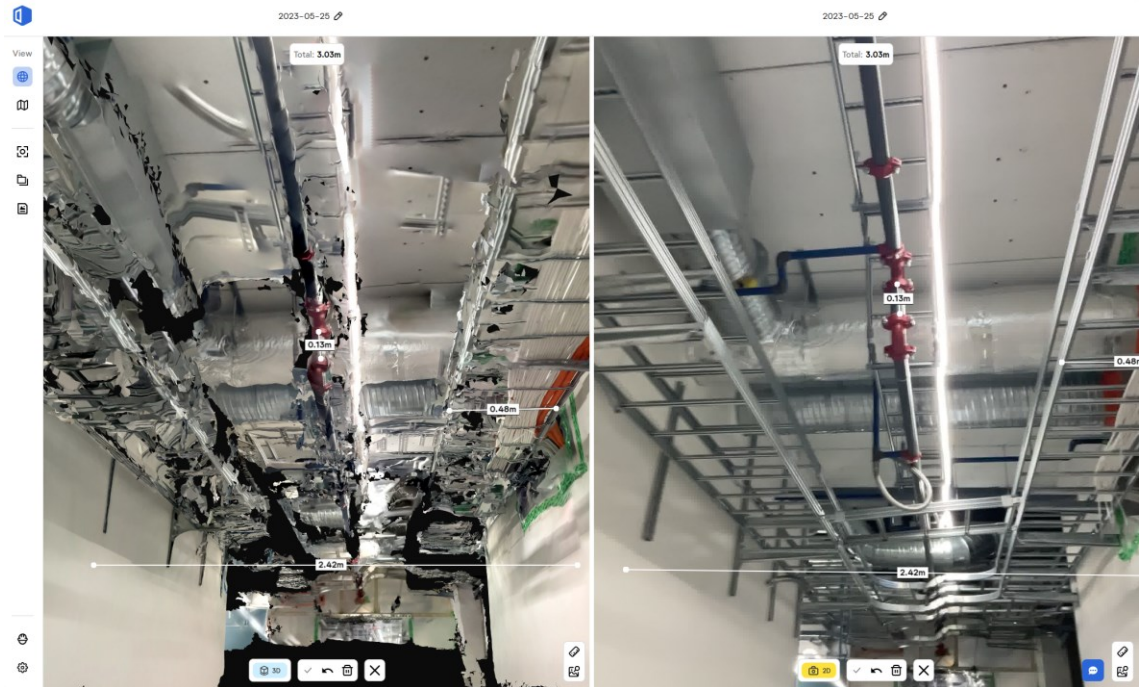
**Kuva 13.** OpenSpacen toteumaseurantaesimerkki (OpenSpace 2023g)

Esimerkkikuvassa on havainnollistettu toteuman tarkastelua pohjakuvassa. Kuvassa 13 eri värit indikoivat eri työvaiheita kevyiden väliseinien asennuksessa. Kuvaajissa toteumaa voidaan tarkastella kumulatiivisena toteumaprosenttina tai aikajanalla, johon on merkittynä kuvausten välillä valmistunut toteuma neliöinä. (OpenSpace 2023g)

### 5.3.3 OpenSpacen LiDAR-skannaus

Applen julkaistua LiDAR-sensorilla (Light Detection and Ranging) varustetun Pro-mallin tablettinsa OpenSpace alkoi kehittää LiDAR:ia eli valotutkaa hyödyntävää 3D-skannausominaisuutta. Valotutka skannaa alueen laserin avulla, jolloin skannatusta alueesta voidaan mitata etäisyyksiä ja syvyyksiä. Ominaisuuden tuominen älypuhelimiin ja tabletteihin mahdollistaa paremman laadunhallinnan työmaalla mahdollistaen mittojen ottamisen kuvamateriaalista. (Balandran 2020) OpenSpacen mukaan ominaisuudella voidaan ottaa mittoja kahden tuuman tarkkuudella (OpenSpace 2023k).

LiDAR-skannausta on testattu myös Ahveniston sairaala -hankkeella. OpenSpacen ilmoittama kahden tuuman tarkkuus on hyvin suurpiirteinen. Lisäksi LiDAR-skannatun kuvan laatu on heikko, kuten kuvasta 14 voidaan todeta.



**Kuva 14.** LiDAR-skannattua kuvaa ja 2D-kuvaa rinnakkain sekä mittatyökalun käyttöä (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen selainversiosta)

Kuvassa 14 on lisäksi havainnollistettu LiDAR-skannauksen mahdollistaman mittaustyökalun käyttöä. LiDAR-ominaisuus ei myöskään ole yleinen älylaitteissa, esimerkiksi Applen laitteissa ominaisuus on vain uudemmissa Pro-mallin tuotteissa. Ominaisuudelle ei ole löytynyt kuvanlaatuun, mittatarkkuuteen ja LiDAR-ominaisuuden omaavien laitteiden saatavuuteen liittyvien haasteiden vuoksi Assi-hankkeella laajempaa käyttöä, vaan sitä on käytetty ainoastaan kokeilumielessä.

#### 5.4 360°-kuvauksen käyttöaktiivisuus Assi-hankkeella

OpenSpacen käytön aktiivisuutta Ahveniston sairaala -projektilla voidaan arvioida OpenSpacen käyttäjäraporteista. Assi-hankkeelle on lisätty OpenSpacessa 8.11.2023 mennessä 186 käyttäjää. Kuvassa 15 esitetystä kirjautumisraportista kuitenkin havaitaan, että palvelu ei ole suuresta henkilömäärästä huolimatta erityisen aktiivisessa käytössä.

Job Title	Member Of	Last Login
Development Engineer	1 Project	Nov 8, 2023
Trainee	2 Projects	Nov 8, 2023
Production engineer	1 Project	Nov 8, 2023
Työmaainsinööri	1 Project	Nov 8, 2023
Project Engineer	2 Projects	Nov 7, 2023
Construction Manager	1 Project	Nov 7, 2023
Architect	1 Project	Nov 7, 2023
Rakennuttamispäällikkö	1 Project	Nov 6, 2023
Työnjohtoharjoittelija	1 Project	Nov 6, 2023
Construction Manager	1 Project	Nov 3, 2023
Superuser, Nurse anesthetist	1 Project	Nov 2, 2023
LVI-tarkastusinsinööri	1 Project	Nov 2, 2023
Civil Engineer	1 Project	Nov 2, 2023

**Kuva 15.** OpenSpacen raportti kirjautumisista palveluun marraskuun ensimmäisen viikon aikana (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen kirjautumistiedoista 8.11.2023)

Marraskuun ensimmäisellä viikolla palveluun kirjautuneiden tehtävänimikkeistä kuvassa 15 nähdään, että kirjautuneissa on käyttäjiä niin päätoteuttajan, tilaajan kuin suunnittelunkin organisaatioista. Raportista selviää ainoastaan käyttäjän viimeisimmän kirjautumisen ajankohta, joten raportti ei kerro kyseisen käyttäjän aktiivisuudesta palvelussa. Tarkasteltaessa kirjautumistietoja hieman pidemmällä aikavälillä ottaen mukaan laskelmiin myös lokakuun kirjautumiset, on lokakuun 1. päivän ja marraskuun 8. päivän välillä palveluun kirjautunut 32 käyttäjää.

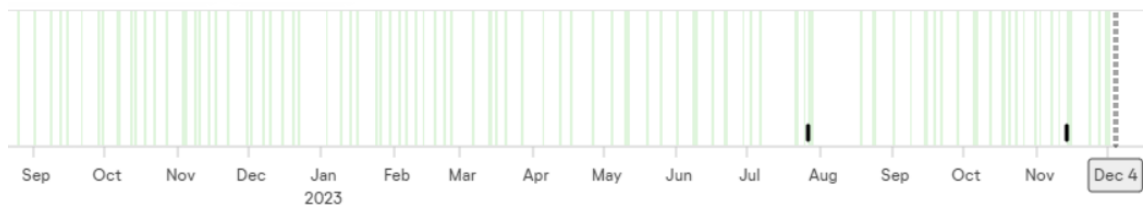
360°-kuvausten kattavuutta kerroksittain voidaan tarkastella OpenSpacen mobiilisovelluksesta. Kuvassa 16 on esimerkkinä nähtävissä Assin 4. kerroksen kuvausten kattavuutta koko hankkeen aikana havainnollistava pohjakuva. Pohjakuvassa esitetty värisävy on sitä tummempi, mitä useammin aluetta on kuvattu.





**Kuva 16.** 360°-kuvausten kattavuus Assin neljännessä kerroksessa (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-mobiilisovelluksesta)

Kuvasta 16 nähdään, että neljättä kerrosta on kuvattu rakentamisen aikana melko kattavasti. Tummempina, useimmin kuvattuina alueina erottuvat erityisesti kulkureitit eli käytävät. Vaaleina, harvemmin kuvattuina alueina korostuvat erilaiset talotekniikan kuilut sekä suuret tilat, joissa kuvaaja kävelee suurpiirteisemmin tilan läpi. Kuvassa 17 on esitetty neljännessä kerroksen kuvaukset aikajanalla.



**Kuva 17.** Assin neljännessä kerroksessa tehtyjen 360°-kuvausten aikajana (Ahveniston sairaala Assi, näkymä OpenSpace-sovelluksen selainversiosta)

Ensimmäinen kuvaus Assin neljännessä kerroksessa on päästy tekemään runkovaiheessa elokuun 25. päivä vuonna 2022. Kuvan 17 aikajanasta nähdään, että kerrosta on tämän jälkeen kuvattu melko säännöllisesti, mutta myös yli viikon taukoja kuvauksessa voidaan havaita esimerkiksi elokuussa 2023.

## 6. HAASTATTELUTUTKIMUS

Diplomityön empiirisen osuuden toinen osa käsittää haastattelututkimuksen. Haastattelut suoritettiin puolistrukturoituna teemahaastatteluna. Puolistrukturoiduille haastatelluille tyypillistä on, että jotkin asiat haastattelusta on määritelty ennalta, mutta ei kaikkia. Kyseiselle haastattelutyypille ei ole olemassa yksiselitteistä määritelmää. Puolistrukturoitu haastattelu voi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että haastateltava voi vastata kysymyksiin omin sanoin tai sitä, että haastateltava voi muuttaa kysymysten sanamuotoa tai järjestyttä. (Hirsjärvi & Hurme 2022, s. 105) Teemahaastattelussa olennaisinta on kysymyksille keskeinen teema, ei niinkään yksityiskohtaisesti määritetyt kysymykset. Teemahaastattelu antaa tilaa haastateltavan näkökulmille ja tulkinnoille. (Hirsjärvi & Hurme 2022, s. 108–109)

Tutkimuksessa on käytetty sekä yksilö- että ryhmähaastatteluja. Ryhmähaastattelu kohdennettiin Assi-hankkeessa 360°-kuvauksia tekeville henkilöille, joilla on paras käsitys kuvaukseen kuluva ajasta ja mahdollisesti kuvaamiseen liittyvistä haasteista. Yksilöhaastattelut suunnattiin kuvamateriaalia työssään hyödyntäville henkilöille. Haastatelluissa käsitellään haastateltavien henkilökohtaista kokemusta 360°-kuvauksesta tutkimuskohteena olevassa hankkeessa sekä muun työkokemuksen perusteella. Haastateltaville esitettiin ennalta määritettyjä kysymyksiä, mutta myös vapaamuotoiselle keskustelulle jätettiin tilaa. Haastateltavan asiantuntemus ja rooli allianssissa vaikuttivat siihen, mihin kysymyksistä paneuduttiin syvällisemmin.

### 6.1 OpenSpace-kuvaajien ryhmähaastattelu

Ryhmähaastatteluun osallistui kolme Assi-hankkeessa 360°-kuvauksia tekevää henkilöä. Kuvaajille kohdenneet kysymykset löytyvät liitteestä A. Kaikki haastateltavat OpenSpacen kuvaajat työskentelevät Assi-hankkeen päätoteuttajan eli Skanska Talonrakennus Oy:n palveluksessa työmaan toimihenkilötehtävissä. Kooste ryhmähaastatteluun osallistuneiden tehtävistä ja kuvauksen vastuualueista on esitetty taulukossa 7.

*Taulukko 7. Ryhmähaastattelun osallistujien tehtäväkuvat hankkeessa ja kuvauksen vastuualueet*

Tehtäväkuva	Kuvausalue
Urakkavalvojan tehtävät (harjoittelija)	Osasto
Aikatauluinsinöörin ja urakkavalvojan tehtävät (harjoittelija)	Osasto
Laatuinsinöörin tehtävät	Kuuma

Kuten taulukkoon 7 on kirjattu, haastattelun osallistujien kuvausvastuut jakautuivat kuuman ja osaston alueille. Elektiivisen rakennuksen osalta kuvausvastuu on diplomityön kirjoittajalla.

Kaikki haastateltavat kokivat, että kuvauksen opettelu oli yksinkertaista eikä vaatinut pitkää perehdytystä (ryhmähaastattelu 4.10.2023). Mikäli käyttäjä omaa tavanomaiset tietotekniset taidot, kuvauksen opettelu ei pitäisi tuottaa ongelmia. Jos kuvausten tekijä sattuisi olemaan estynyt, olisi tehtävä helppo opastaa myös uudelle tekijälle. (Urakkavalvoja, ryhmähaastattelu 4.10.2023) OpenSpacen mobiilisovellus antaa selkeät askelmerkit, joita seuraamalla kuvaus on helppo tehdä. Kuvauksen opettelu on enemmän kuvaajan omasta uskalluksesta kiinni kuin siitä, että kuvaus olisi haastavaa. (Laatuinsinööri, ryhmähaastattelu 4.10.2023)

OpenSpace koettiin kuvaajan näkökulmasta toimivaksi sovellukseksi (ryhmähaastattelu 4.10.2023). Toisinaan kuvatessa kameran ja puhelimen välinen yhteys on saattanut katketa, eikä yhteyttä ole saatu palautettua työmaalla. Tällöin kuvaus on pitänyt keskeyttää ja palata työmaatoimistolle. (Urakkavalvoja, ryhmähaastattelu 4.10.2023) Kuvausten latausta pidettiin yksinkertaisena, joskin aikaa vievänä prosessina. Haastateltavien välillä oli eroja kuvamateriaalien lataustavoissa. (Ryhmähaastattelu 4.10.2023) Urakkavalvoja koki, että kuvausten lataus kiinnittämällä kamera tietokoneeseen oli nopeampi ja hän suosi siksi kyseistä tapaa. Laatuinsinööri puolestaan latasi kuvamateriaalin useimmiten sovelluksen kautta työmaatoimiston langattoman verkon kautta. Latauksessa ei yleensä koettu olevan merkittäviä ongelmia, mutta joskus kuvamateriaali ei ollut tuntemattomasta syystä latautunut palvelimelle, vaikka latausta oli yritetty molemmilla toimintatavoilla (laatuinsinööri, ryhmähaastattelu 4.10.2023).

Kuvausvastuut on jaettu hankkeessa rakennuksittain. 360°-kuvaukseen kuluva aika vaihtelee rakennuksittain, sillä rakennusten koossa ja kuvattavien tilojen määrässä on eroja. Esimerkiksi osastorakennuksessa yhden 4200 neliöisen kerroksen kuvaukseen menee noin puoli tuntia, kun tilat kierretään huolellisesti ja rauhalliseen tahtiin kävellen, jotta kuvanlaatu olisi mahdollisimman hyvä. Yhteensä koko osastorakennuksen kuvaukseen menee noin 3,5 tuntia. (Urakkavalvoja, ryhmähaastattelu 4.10.2023) Myös kuumassa yhden kerroksen kuvaus kestää noin puoli tuntia. Alemmissa kerroksissa on paljon pieniä tiloja tiiviisti vierekkäin, joiden kuvaaminen vie aikaa. (Laatuinsinööri, ryhmähaastattelu 4.10.2023) Aina kuvaukseen ei kuitenkaan onnistuta varaamaan riittävästi aikaa, jolloin kuvauskierros tulee käveltyä nopeammin (aikatauluinsinööri, ryhmähaastattelu 4.10.2023). Toisinaan haasteita kuvauksen aikana aiheuttivat mahdolliset keskeytykset, kun rakennustyömaalla joku lähestyy kuvaajaa kesken kuvauksen ja pyytää avuksi selvittämään mahdollista ongelmaa. Keskeytyksiä aiheuttavat myös kuvauksen

aikana tulevat puhelinsoitot, jolloin kuvaaja saattaa mennä sekaisin siinä, missä on jo käynyt kuvaamassa. (Urakkavalvoja, ryhmähaastattelu 4.10.2023)

Kuvauksen aikana haasteeksi koettiin vanhempien One X -mallin kameroiden heikko akunkesto (ryhmähaastattelu 4.10.2023). Vanhassa kamerassa akku kestää kuumassa sairaalassa juuri yhden kerroksen kuvauksen ajan (laatuinsinööri, ryhmähaastattelu 4.10.2023). Urakkavalvoja sanoi kiinnostävänsä One X -mallin kameran aina kuvatessaan ulkoiseen virtalähteeseen. Hän koki myös, että uuden kameran kuvanlaatu on vanhempiä kameroita parempi. Aikatauluinsinööri sanoi valitsevansa mieluummin uudemman kameran kuvaukseen paremman akunkeston vuoksi.

Yhden rakennuksen kuvaus koettiin raskaaksi tehtäväksi yhdelle henkilölle (ryhmähaastattelu 4.10.2023). Osastorakennuksessa on harkittu kuvausvastuun jakamista kerrostareille (urakkavalvoja; aikatauluinsinööri, ryhmähaastattelu 4.10.2023). Tällöin vastuun saisi jaettava useammalle henkilölle, jolloin kuvaus ei olisi yhtä kuormittavaa. Kerrostamarit tietävät myös parhaiten, mitä työvaiheita heidän valvomassaan kerroksessa on kulloinkin käynnissä. Tällöin olisi myös mahdollista kuvata vain sellaisia alueita, missä työt ovat käynnissä ja jättää kuvaamatta alueet, joissa ei ole edellisen kuvauksen jälkeen tapahtunut muutoksia. (Urakkavalvoja, ryhmähaastattelu 4.10.2023) Kuvaus olisi myös mahdollista yhdistää muihin työmaakerroksiin tai mittauksiin, kuten TR-mittaukseen. Tällöin kuvaus tulisi tehtyä muun työn ohella, eikä kuvausta tarvitsisi suorittaa erillisenä työtehtävänä. (Laatuinsinööri, ryhmähaastattelu 4.10.2023)

Haastateltavat kokivat, että kuvauksen automatisointi olisi nykyteknologialla mahdollista esimerkiksi robottikoiran avulla, mutta eivät nähneet automatisoinnille tarvetta. He eivät kokeneet, että automatisoinnilla saavutettaisiin merkittävää lisäarvoa 360°-kuvaukseen. (Ryhmähaastattelu 4.10.2023) Haastateltavat kokivat, että mahdollisten automatisoinnin ongelmien ratkomiseen ja organisointiin tarvitsisi kuitenkin kiinnittää asiaan perehtynyt henkilö (laatuinsinööri; urakkavalvoja, ryhmähaastattelu 4.10.2023). Automatisoinnilla kuvauksia olisi kuitenkin mahdollista suorittaa tarpeen mukaan useammin ja kuvaukset olisivat todennäköisesti kattavampia. Kuvaukset voisi myös ajoittaa sellaiseen aikaan, kun työmaalla ei työskennellä. Tällöin minimoitaisiin myös riski siitä, että joku epähuomiossa hajottaisi arvokkaan robotin. (Urakkavalvoja, ryhmähaastattelu 4.10.2023)

Yleisesti OpenSpace koettiin hyödylliseksi työkaluksi hankkeelle (ryhmähaastattelu 4.10.2023). Aikatauluinsinööri koki hyväksi, että kuvamateriaalissa voidaan palata taaksepäin tarkastelemaan ummistetun rakenteen sisäpuolisia asennuksia. Myös laatuinsinööri koki hyväksi sen, että kuvauksissa on helppo palata tarkastelemaan menneitä työ-

vaiheita. Laatuinsinöörin mielestä suunnittelijat voisivat hyödyntää OpenSpacea työssään nykyistä enemmän, esimerkiksi tietomallin kanssa rinnakkain tarkastelua. Ohjelma vaatisi tähän kuitenkin vielä kehitystä, sillä sijainti ei aina osu täysin kohdalleen mallin ja kuvamateriaalin kanssa (laatuinsinööri, ryhmähaastattelu 4.10.2023). Urakkavalvojan mielestä oli myös hyvä, että tilaajakin pääsee tarkastelemaan työmaata OpenSpacen avulla. Hän koki myös hyväksi, että mahdollisista työturvallisuuspuutteista jää kuvauksen aikana todistusaineistoa. Kuvamateriaalia voisi kuitenkin hyödyntää nykyistä enemmän. Hankkeella on niitä, jotka käyttävät materiaalia työssään runsaasti, mutta todella moni ei käytä sovellusta lainkaan. Materiaalia voisi hyödyntää tuotannon työkaluna selvästi nykyistä enemmänkin. (Urakkavalvoja, ryhmähaastattelu 4.10.2023)

## 6.2 OpenSpacen käyttäjien yksilöhaastattelut

OpenSpacen kuvamateriaalia työssään hyödyntäville käyttäjille kohdennetut kysymykset löytyvät liitteestä B. Taulukkoon 8 on listattuna yksilöhaastatteluun osallistuneiden tehtävänimikkeet ja pääasialliset työtehtävät sekä heidän työnantajansa ja kyseisen allianssiosapuolen rooli Assi-hankkeessa. Haastatteluun osallistui asiantuntijoita Assi-allianssin päätoteuttajan, tilaajan ja suunnittelun organisaatioista.

*Taulukko 8. Haastattelun osallistujat ja heidän roolinsa*

Yritys	Yrityksen rooli allianssissa	Haastateltavan tehtävänimike	Haastateltavan pääasialliset työtehtävät
Skanska Talonrakennus Oy	Päätoteuttaja	Tuotantoinsinööri	Laatu- ja aikatauluinsinöörin tehtävät
Skanska Talonrakennus Oy	Päätoteuttaja	Projekti-insinööri	Digi-insinöörin tehtävät, tietomallikoordinointi
Kanta-Hämeen hyvinvointialue Oma Häme	Tilaaja	Rakennuttajapäällikkö	Allianssin projektiryhmän jäsen ja johtoryhmän varajäsen, mukana useissa eri työryhmissä
AW2-arkkitehdit	Arkkitehtisuunnittelu	Arkkitehti	Kuuman 2. kerroksen vastuuarkkitehti
Rakennuttajatoimisto HTJ Oy	Tilaajan konsultti	Rakennuttajakonsultti	Päätoteuttajan laadunvarmistuksen, aikataulun ja työturvallisuuden valvonta
Sweco Finland Oy	Rakennesuunnittelu	Projektipäällikkö	Kuuman sairaalan vastuuhenkilö rakennesuunnitteluorganisaatiossa

OpenSpacen kuvamateriaalien tarkastelutiheys vaihteli haastateltavien välillä useasta kerrasta viikossa 2–3 kertaan kuukaudessa. Kuuman sairaalan rakennesuunnittelusta vastaava projektipäällikkö (sähköpostihaastattelu 15.11.2023) ja rakennuttajakonsultti (haastattelu 1.11.2023) tarkastelivat kuvamateriaalia aktiivisemmin rakennushankkeen

runkovaiheessa, sisävalmistusvaiheessa OpenSpace on heillä ollut käytössä harvemmin. Yleisesti haastattelujen perusteella OpenSpace todettiin työkaluna toimivaksi erityisesti työmaan tilannekuvan luomiseen. Haastattelun osallistujat tarkastelevat OpenSpacesta rakentamisen tilannetta työmaalla tai tiettyjen työvaiheiden tai alueiden toteumaa. Arkkitehti (haastattelu 30.10.2023) sanoi OpenSpacen olevan hyvä työkalu työmaan aikataulutilanteen konkreettiseen hahmottamiseen. Tuotantoinsinööri (haastattelu 29.9.2023) kertoi käyttävänsä OpenSpacea Congridiin tehtyjen havaintojen kuittauksessa. Hän kertoi tarkistavansa OpenSpacen kuvamateriaaleista, onko havaintoon määritetty tehtävä valmis ja kuittaavansa havaintoja sen perusteella pois. Näin hän säästää aikaa, kun yksittäisten asioiden vuoksi ei tarvitse siirtyä toimistosta työmaalle. (Tuotantoinsinööri, haastattelu 29.9.2023)

Haastateltavat totesivat kuvamateriaalin tarkastelun olevan lähes tai täysin itsenäistä toimintaa. Haastateltavista rakennuttajapäällikkö (haastattelu 27.10.2023) kertoi esittelevänsä ja tarkastelevansa kuvamateriaalia myös yhteisissä tilaisuuksissa. Hän kertoi hyödyntävänsä OpenSpacea esitellessään työmaata ja tulevan sairaalan tiloja suurille ryhmille, joiden kanssa työmaalle meneminen ei olisi mahdollista. Toisinaan OpenSpacesta saatetaan tarkastella rakentamisen tilannetta tietyssä paikassa myös kokousten yhteydessä hänen aloitteestaan. (Rakennuttajapäällikkö, haastattelu 27.10.2023) Erityisesti tuotantoinsinööri (haastattelu 29.9.2023) ja rakennuttajakonsultti (haastattelu 1.11.2023) noteerasivat OpenSpacen potentiaalin myös yhteiseen tarkasteluun esimerkiksi palaverissa. Tuotantoinsinöörin (haastattelu 29.9.2023) mielestä kuvamateriaalista voisi esimerkiksi tarkastella urakoitsijan kanssa yhteisesti peräkkäisten viikkojen kuvauksia ja siten todentaa viikon työsaavutusta yhteisesti. Rakennuttajakonsultti (haastattelu 1.11.2023) näki sen huonona asiana, että työkalua ei ole nostettu käyttöön yhteisissä palavereissa.

Haastatteluun osallistuneet suunnittelijat, arkkitehti (haastattelu 30.10.2022) ja projektipäällikkö (sähköpostihaastattelu 15.11.2023), pitivät erityisen hyvänä sitä, että he pääsevät virtuaalisesti tarkastelemaan työmaan tilannetta OpenSpacen avulla, vaikka käyvät harvemmin fyysisesti työmaalla. Molemmat suunnittelijat pitivät OpenSpacea hyvänä niissä tilanteissa, kun suunnitelmiin ollaan tekemässä muutoksia. OpenSpacesta voi näissä tilanteissa käydä tarkistamassa rakentamisen tilanteen kyseisessä paikassa. Tarkan toteumatiedon avulla voidaan paremmin arvioida, millaiset vaikutukset muutoksella on työmaan etenemiseen ja voidaanko muutosta ylipäättään enää toteuttaa. (Arkkitehti, haastattelu 30.10.2023; projektipäällikkö, sähköpostihaastattelu 15.11.2023)

### 6.2.1 OpenSpacen ominaisuuksien käytettävyys

Haastateltavat kertoivat tarkastelevansa OpenSpacesta yksittäisen kuvauskerran kuvamateriaalia, kahta eri ajankohdassa kuvattua 360°-kuvaa rinnakkain tai kuvia rinnakkain tietomallin kanssa. Tuotantoinsinööri (haastattelu 29.9.2023) kertoi käyttävänsä yleisimmin kahden eri aikaan kuvatun materiaalin tarkastelua rinnakkain ja tarkastelevansa näin töiden toteumaa tietyllä aikavälillä. Tietomallia hän kertoi hyödyntävänsä OpenSpacessa todella vähän, sillä tietomallin tarkasteluun hankkeessa on hänen tarpeisiinsa toimivampia ohjelmia käytössä. Projekti-insinööri (haastattelu 12.10.2023) toivoi tietomallin tarkasteluun mahdollisuutta tarkastella 360°-kuvaa ja tietomallia samassa kuvassa päällekkäin. Kyseinen ominaisuus on mukana OpenSpacen BIM+ -laajennusosassa. Erityisesti suunnittelijat mainitsivat tarkastelevansa 360°-kuvaa ja tietomallia rinnakkain (arkkitehti, haastattelu 30.10.2023; projektipäällikkö, sähköpostihaastattelu 15.11.2023). Arkkitehti (30.10.2023) kertoi havainneensa ristiriitoja suunnitelmien ja toteutuksen välillä tietomallin kanssa vertailussa, mikä on opettanut hänelle myös lisää tarkkuutta pohjakuvien laadinnassa. Tietomalli nähtiin yleisesti hyvänä lisänä OpenSpacen toimintoihin. 4D-mallille ei nähty OpenSpacen käytössä tarvetta ja projekti-insinööri (haastattelu 12.10.2023) totesi, että ainakaan puolitoista vuotta sitten edes OpenSpacen toteumaseurantatyökalu ei osannut tulkita 4D-mallia.

Tuotantoinsinööri (haastattelu 29.9.2023) kritisoi tiettyyn tilaan siirtymistä kuvamateriaalissa usein haastavaksi, etenkin silloin, jos tilat ovat pieniä ja kuvaaja on kävellyt tiheästi joka tilassa. Pohjakuvaan piirretty kuvaajan kulkema reitti näkyy pohjakuvassa melko paksuna viivana, joka skaalautuu kuvaa suurennettaessa pohjakuvan mukana ja peittää osittain pohjakuvan. (Tuotantoinsinööri, haastattelu 29.9.2023) Rakennuttajapäällikkö (haastattelu 27.10.2023) totesi, että siirryttäessä kuvamateriaalissa vanhempaan ajankohtaan samassa sijainnissa sijainti ei aina pysy aivan kohdallaan ja toivoisi sijaintitiedon paikkansapitävyyteen parannusta. Rakennuttajakonsultti (haastattelu 1.11.2023) sanoi tietomallin käytön OpenSpacessa vaativan hyviä tietoliikenneyhteyksiä. Myös projekti-insinööri (haastattelu 12.10.2023) totesi mallin käytön olevan haasteellista, koska hankkeen yhdistelmämalli on niin suuri, että tietomallin tarkastelu on hidasta käytettävästä ohjelmasta riippumatta. Pienemmissä hankkeissa tietomallin tarkastelu OpenSpacessa on selvästi ketterämpää. Hän myös totesi, että tietomallin laajempaa käyttöä OpenSpacessa saattaa osittain myös haitata se, että uuden tietomallin tarkasteluun käytettävän ohjelman käyttö vaatii opettelua, jolloin kynnys käyttöön saattaa kasvaa. (Projekti-insinööri, haastattelu 12.10.2023)

Osittain se, että haastateltavat eivät olleet käyttäneet joitakin OpenSpacen ominaisuuksia, johtui tiedonpuutteesta. Haastateltavat eivät välttämättä olleet tietoisia kaikista ohjelman ominaisuuksista. Toisaalta syynä käyttämättömyydelle oli saavutettavuus. OpenSpace tarjoaa laajempia ominaisuuksia, jotka myydään tavanomaisen sovelluksen laajennusosina, eivätkä laajennukset ole Assi-hankkeessa käytössä. Kukaan haastateltavista ei ollut päässyt testaamaan OpenSpacen kesällä 2023 julkaistua BIM+-laajennusta. Projekti-insinööri (haastattelu 12.10.2023) oli haastateltavista ainoa, jolla oli käyttökokemusta myös OpenSpace Track -laajennusosasta, eli OpenSpacen automatisoidusta toteumaseurannasta. Projekti-insinööri oli myös ainoa, joka oli käyttänyt OpenSpacen LiDAR-skannausta. LiDAR-skannauksen hyödyntämistä rajoittaa se, että päätoteuttaja ei tarjoa henkilöstölle laitteita, joissa on LiDAR-valmiudet, jolloin ominaisuutta ei pystytä ottamaan laajasti käyttöön. Toisaalta LiDAR-skannauksen ainoana hyötynä 360°-kuvaukseen nähden ovat mitattavat kuvat, mutta skannaus itsessään on työläs tehdä. (Projekti-insinööri, haastattelu 12.10.2023)

### **6.2.2 Käyttö rakennustuotannon ohjauksessa**

Haastattelun osallistajat olivat sitä mieltä, että OpenSpacea voidaan hyödyntää niin turvallisuuden, aikataulujen kuin laadunkin hallinnassa. Turvallisuuspuutteet olisi kuitenkin syytä havaita ensisijaisesti välittömästi työmaalla kuljettaessa, ei vasta päiviä kierroksen jälkeen kuvamateriaalia tarkasteltaessa (tuotantoinsinööri, haastattelu 29.9.2023). Turvallisuudessa kuvamateriaalia voidaan hyödyntää perehdytyksen tukena (rakennuttajapäällikkö, haastattelu 27.10.2023). Myös suunnittelija voi havaita kuvamateriaalista poikkeamia, jotka korjaamalla voidaan vaikuttaa rakentamisen laatuun ja turvallisuuteen. Ajantasaisen toteumatiedon saaminen OpenSpacen kautta pitää suunnittelijat tietoisena työmaan etenemisestä, jolloin suunnittelu voi paremmin aikatauluttaa työmaa-aikaisia suunnitelmarevisioita. (Projektipäällikkö, sähköpostihaastattelu 15.11.2023)

Yleisesti haastateltavat kokivat kuvanlaadun riittäväksi työmaan tilannekuvan hahmotukseen. Erityisesti laadullisessa tarkastelussa OpenSpacen käytön haasteeksi muodostuu kuvanlaatu. Projektipäällikkö (sähköpostihaastattelu 15.11.2023) kritisoi kuvanlaadun olevan heikko erityisesti hämärissä tiloissa. Projekti-insinööri (haastattelu 12.10.2023) totesi, ettei edes uudemman kameran hankinnalla saavutettu kovinkaan merkittävää eroa kuvien laadussa, vaikka kameroissa jonkin verran eroa onkin. OpenSpace prosoi kuvaa siten, että kuvanlaatu heikkenee palvelimelle ladattaessa. Koska tämän palvelimelle ladatun 360°-kuvadatan säilyttäminen maksaa, on kuvanlaadun kehityksessä myös huomioitava, millainen kuva on riittävän laadukas. OpenSpacessa laadukkaampi kuva voidaan saavuttaa yksittäisillä 360°-valokuvilla. Koska kuvauksen resursoinnissa



on ollut haasteita työmaan videokuvauksessakin, koko valtavan työmaan kattava kuvaus valokuvilla ei olisi mahdollista. OpenSpacen käyttö hankkeessa olisikin otettava resurssisuunnittelussa huomioon, jotta kuvaukselle olisi varattu riittävästi aikaa. Toisaalta kuvaukseen käytettävän ajan saisi minimoitua, jos kuvaus pystyttäisiin yhdistämään muuhun työmaatyöskentelyyn. (Projekti-insinööri, haastattelu 12.10.2023)

OpenSpacea on kuvanlaadun haasteista huolimatta hyödynnetty myös yksityiskohtaisempaan laadulliseen tarkasteluun. Tuotantoinsinööri (haastattelu 29.9.2023) kertoi käyttäneensä OpenSpacea apuna tilanteessa, jossa väliseinätyyppi oli suunnitelmissa väärä ja seinä jouduttiin korjaamaan. Hän tarkasteli tällöin väliseinän toteutusta palamalla OpenSpacessa aiempiin kuvauksiin. 360°-kuvista voitiin tarkastella väliseinäran-kojen ja -levyjen tyyppiä. Saadun tiedon perusteella laadittiin väliseinän korjaussuunnitelma. Yleensä kuvanlaatu ei kuitenkaan ole riittävä pikkutarkkaan yksityiskohtien tarkasteluun. Tuotantoinsinööri kertoi esimerkiksi tarkastelleensa OpenSpacen kuvamateriaaleista väestönsuojien väliseinäarakenteista, onko väliseinälevyn alla vaneria. Kuvamateriaalista voitiin todentaa, että väliseinässä on 2 levyä, mutta kuva ei ollut riittävän tarkka todentamaan, että toinen levyistä olisi ollut suunnitelmien mukaisesti vaneria. Kuvanlaatu usein riittää jonkinlaiseen laadulliseen tarkasteluun, kuten talotekniikan kannakointien ja eristysten tarkasteluun tai väliseinien rankajaon todentamiseen. Mikäli kuvista haluaa tarkastella jotain tarkemmin, tarvitaan hieman tuuriakin: valaistusolosuhteiden on oltava hyvät ja kuvaajan on pitänyt osua juuri oikeaan paikkaan. (Tuotantoinsinööri, haastattelu 29.9.2023) Myös rakennuttajapäällikkö (haastattelu 27.10.2023) totesi, että tarkemmassa, laadullisessa kuvamateriaalin tarkastelussa tarvitaan usein tuuria, että kuva olisi riittävän tarkka juuri toivotussa sijainnissa.

Useimmat haastateltavat kokivat, että tahtityössä kuvausten ajoittaminen tahdin syklin mukaiseksi olisi toimivin tapa kuvausten organisointiin. Rakennuttajapäällikkö (haastattelu 27.10.2023) näki, että kuvausta olisi hyvä suorittaa noin kerran viikossa, mutta optimaalinen kuvaussykli riippuu käynnissä olevasta työvaiheesta. Kuvausväliksi riittäisi 2 viikkoa, mikäli työt eivät ole kyseisellä alueella käynnissä. Toisaalta taas sellaisissa työvaiheissa, joissa rakenteita ummistetaan, alueella voisi olla hyvä kuvata jopa kahdesti viikossa. Tällöin jäisi kuvamateriaalia siitä, mitä rakenteiden sisällä on ennen niiden ummistusta. (Rakennuttajapäällikkö, haastattelu 27.10.2023) Rakennuttajakonsultti (haastattelu 1.11.2023) piti myös tahdin mukaista viikon kuvaussykliä hyvänä, mutta totesi, että joissain tilanteissa työvaihe saattaa rajoittaa kuvausta. Esimerkiksi plaanovalujen aikana tahtialueelle ei pääse kuvaamaan. (Rakennuttajakonsultti, haastattelu 1.11.2023) Projekti-insinööri (haastattelu 12.10.2023) totesi, että mitä harvemmin 360°-kuvauksia tehdään, sitä enemmän asioita jää työmaalla pimentoon. Lisäksi hän arveli, että Assin

työmaalla on paikkoja, joista ei olisi otettu yhtäkään valokuvaa, ellei työmaalla olisi tehty 360°-kuvauksia.

Tuotantoinisinöörin (haastattelu 29.9.2023) mielestä kuvamateriaalin hyödyntäminen tahtituotannon ohjauksen tarpeeseen vaatisi prosessin kehittämistä. Hankkeessa käytetyssä viikon tahtiajassa kuvaus olisi hyvä ajoittaa loppuviikkoon, jolloin maanantaina voitaisiin kuvamateriaalista tarkastella edellisen viikon töiden toteumaa. Periaatteessa kuvamateriaalista voisi tällöin koostaa materiaalia tiistaina pidettävään aikataulupalaveriin, jossa työmaan aikataulutilannetta käydään urakoitsijoiden kanssa yhteisesti läpi. (Tuotantoinisinööri, haastattelu 29.9.2023) Projekti-insinöörin mielestä 360°-kuvausta olisi mahdollista hyödyntää tahtituotannossa esimerkiksi työalueiden siisteyden todentamisessa. Tarkkaa toteumaa erityisesti pienten talotekniikan komponenttien tapauksessa kuvamateriaalista olisi kuvanlaadun puutteiden vuoksi haastava todentaa. Hän myös totesi tahtituotannon perustuvan vahvasti työmaalla tehtäviin tarkastuksiin, kuten mestan vastaanottoihin ja luovutuksiin. Tarkastuksissa kamera voisi kuitenkin olla mukana, jolloin 360°-kuvaus voisi tukea muuta dokumentaatiota. (Projekti-insinööri, haastattelu 12.10.2023) Myös rakennuttajakonsultti (haastattelu 1.11.2023) korosti, että 360°-kuvaus ei missään tapauksessa korvaa työmaalla tehtäviä tarkastuksia, kuten urakoitsijan mestan vastaanottoja tai urakkavalvojien osakohdetarkastuksia.

Haastateltavat olivat yksimielisiä siitä, että 360°-kuvauksilla ei voida täysin korvata perinteisiä työmaakierroksia, vaan OpenSpace on perinteisiä tuotannon ohjauksen menetelmiä tukeva työkalu. Arkkitehti (haastattelu 30.10.2023) koki, että toteumaseurannan osalta työmaakierroksia voidaan korvata, mutta esimerkiksi yksittäisten detaljien katselut vaativat edelleen läsnäoloa työmaalla. Myös projekti-insinööri (haastattelu 12.10.2023) ja rakennuttajapäällikkö (haastattelu 27.10.2023) olivat sitä mieltä, että suunnittelijoiden osalta työmaakierroksia voidaan 360°-kuvauksella korvata jossain määrin, jos suunnittelija työskentelee toisella paikkakunnalla. Rakennuttajakonsultin (haastattelu 1.11.2023) työn kannalta OpenSpacea voisi jossain määrin hyödyntää hänen työssään päätoteuttajan laadunvarmistuksen onnistumisen todentamisessa yhdessä Congridin kanssa. Kuitenkaan kaikkea ei voida todentaa valokuvasta. Joissakin tapauksissa laadun todentamiseen vaaditaan myös tuntoaistia. Esimerkiksi vedeneristeiden paksuuden tarkastelussa ja kiinnittymisen pysyvyyden todentamisessa on oltava henkilökohtaisesti paikalla kokeilemassa, onko eriste kiinni alustassaan. (Rakennuttajakonsultti, haastattelu 1.11.2023) Rakennuttajapäällikkö (haastattelu 27.10.2023) mainitsi OpenSpacen mahdollistavan rakentamisen tilanteen tarkastelun esimerkiksi korvaavassa työssä, jos kulku työmaalle on estynyt esimerkiksi loukkaantumisen vuoksi.

### 6.2.3 Yhteentoimivuuden tarve muiden ohjelmistojen kanssa

Suurin tarve ja potentiaali ohjelmistojen väliseen yhteentoimivuuteen nähtiin haastattelujen perusteella OpenSpacen ja Congridin välillä. Projekti-insinööri (haastattelu 12.10.2023) koki OpenSpacen suurimmaksi ongelmaksi sen, että OpenSpaceen kerätty tieto ei liiku OpenSpacesta muualle. Assi-hankkeessa työmaan havainnot ja tarkastukset tehdään Congridiin. Havainnot käsitellään ja niitä myös mittaroidaan Congridin kautta. (Projekti-insinööri, haastattelu 12.10.2023) Tuotantoinsinööri (haastattelu 29.9.2023) ja projekti-insinööri (haastattelu 12.10.2023) näkivät tarpeellisimpana vähintäänkin yksisuuntaisen integraation Congridin ja OpenSpacen välillä siten, että OpenSpaceen tehty havainto siirtyy automaattisesti Congridiin. Rakennuttajakonsultti (haastattelu 1.11.2023) puolestaan koki, että Congridissa oleva valtava määrä havaintodataa rikastaisi myös OpenSpacen käyttöä.

Tuotantoinsinööri (haastattelu 29.9.2023) koki, että vaikka OpenSpacessakin on mahdollisuus tehdä havaintoja, näitä on turha ohjelmaan tehdä, jos tieto ei tämän jälkeen liiku ohjelmasta eteenpäin eikä poikkeama siten tule kenenkään tietoon. OpenSpaceen tehtyjen havaintojen manuaalista siirtämistä Congridiin hän ei myöskään nähnyt järkevänä. Kuitenkin OpenSpacea voitaisiin potentiaalisesti hyödyntää enemmän laadunhallinnassa, jos havainnot siirtyisivät pääasialliselle hankkeessa käytettävälle laadunvarmistuksen alustalle, eli Congridiin. (Tuotantoinsinööri, haastattelu 29.9.2023) Ohjelmistojen välisen integraation kehitystä olisi OpenSpacen kohdalla paljon. Yhdysvalloissa on laajemmin käytössä vastaava tuotannonhallinnan ohjelmisto Procure. OpenSpacen ja Procuren välinen integraatio on olemassa, mutta tämä ei hyödytä Suomessa, jossa Procurea ei käytetä. Procuren ja OpenSpacen välisen integraation toiminnasta ei kuitenkaan ole Assi-hankkeella käyttökokemusta tai tarkempaa tietoa sen toiminnasta. (Projekti-insinööri, haastattelu 12.10.2023) Kuvamateriaalista havaituista poikkeamista suunnittelijat viestivät useimmiten sähköpostitse tuotannolle (arkkitehti, haastattelu 30.10.2023; projektipäällikkö, sähköpostihaastattelu 15.11.2023). OpenSpacen ja Congridin välinen integraatio mahdollistaisi myös suunnittelun ja rakentajaosapuolen välisen kommunikation suoraan OpenSpacen kuvamateriaalien kautta. Arkkitehti (haastattelu 30.10.2023) totesi, että OpenSpacen field notes -havaintotyökalu voisi korvata sähköpostia kommunikoinnin välineenä, jos yhteisesti sovittaisiin OpenSpacen käytöstä tällaisen viestinnän työkaluna.

Osa haastateltavista koki, että projektipankin ja OpenSpacen välisestä integraatiosta voisi myös olla hyötyä. Tuotantoinsinöörin (haastattelu 29.9.2023) mielestä olisi hyvä, että OpenSpacessa olisi aina ajantasaiset pohjakuvat ja tietomalli. Assi-hankkeen

OpenSpaceen lisätyt pohjakuvat on viety ohjelmaan hyvin varhaisessa vaiheessa, eivätkä ne ole enää ajan tasalla. Lisäksi tietomallin ylläpito vaatii työtä, sillä yhdistelmämalli pitää koota OpenSpacea varten erikseen. Olisi hyvä, jos mallin saisi päivitettyä OpenSpaceen automaattisesti suoraan projektipankista. (Projekti-insinööri, haastattelu 12.10.2023)

#### **6.2.4 Automaation mahdollisuudet**

Suurimmalle osalle haastateltavista OpenSpacen käyttö ei ole tuonut uudenlaista manuaalista työtä. OpenSpace koettiin haastattelujen perusteella enemmänkin työkaluksi, joka mahdollistaa työmaan tarkastelun ilman siirtymistä työmaalle, eli se on koettu enemmänkin työtä helpottavana työkaluna. Kuitenkin haastateltavat tiedostivat kuvauksen tuoman ylimääräisen manuaalisen työn. Projekti-insinöörille (12.10.2023) ohjelman ylläpito teettää jonkin verran uutta manuaalista työtä, jota ei olisi tehtävänä ilman OpenSpacea. Toisinaan kuvaajalle saattaa käydä inhimillinen virhe, joka pitää korjata, jotta kuvaukset kohdistuvat oikein. Lisäksi työtä on OpenSpacessa käytettävän yhdistelmämallin kokoamisessa. Mikäli OpenSpacen havaintomahdollisuutta käytettäisiin Assi-hankkeessa, olisi havaintojen siirtäminen Congridiin uusi, manuaalinen työ. Suurimpana yksittäisenä OpenSpacen käytön myötä tullessa työnä kuitenkin on kuvaus, koska kuvausta ei ole saatu liitettyä muuhun työmaalla työskentelyyn. Tietomallin päivittäminen ja muu toistotyö olisi kuitenkin hyvä saada koneiden tehtäväksi. Olisi hyvä, jos manuaalista toistoa vaativat työt voitaisiin minimoida. (Projekti-insinööri, haastattelu 12.10.2023)

Automaation käytöstä kuvamateriaalin tarkastelun apuna saatiin haastattelutietoa niukasti. Osittain tämä johtuu siitä, että automaatio ei ole tällaisessa tarkoituksessa kovin laajasti rakennusalalla käytössä ja kokemusta aiheesta ei ole laajasti. Kuvamateriaalin tarkastelussa automaatiota on kuitenkin jo nykyteknologialla mahdollista hyödyntää toteumaseurannassa. Tuotantoinsinööri (haastattelu 29.9.2023), projekti-insinööri (haastattelu 12.10.2023) ja rakennuttajapäällikkö (haastattelu 27.10.2023) mainitsivat kuvauksen automatisoinnin mahdollisuuden. Kuitenkin rakennuttajapäällikkö pohti, miten robotin liikkuminen onnistuu siistissäkin työmaaympäristössä. Myös robotin ja kameroiden akkukeston riittävyys arvelutti suurella työmaalla. (Rakennuttajapäällikkö, haastattelu 27.10.2023). Projekti-insinööri totesi, että ei ole tietoinen, onko kuvausrobotteja hyödynnetty pitkäkestoisesti missään rakennushankkeessa ja arveli, että robotin käyttö on ollut pääasiassa kokeellista toimintaa. Hän myös pohti, että vaikka robotti onkin hintava, on sillä myös hintansa, että työmaalla joku kiertää erikseen kuvaamassa. Jos kuvausta ei saada yhdistettyä muuhun työmaalla tehtävään työhön, saattaa robotti jopa maksaa itsensä takaisin pitkäkestoisella työmaalla. Tietoa ei myöskään ole, kuinka työlästä robotin kulkureitin ohjelmointi on. Robotilla ei saavuteta hyötyä, mikäli reitin ohjelmointiin kuluu

yhtä paljon aikaa kuin ihmiseltä kuluisi työmaan kuvaukseen. (Projekti-insinööri, haastattelu 12.10.2023)

### **6.2.5 Ominaisuudet muihin vastaaviin ohjelmistoihin ja kilpaileviin teknologioihin verrattuna**

Valtaosalle haastateltavista Assi-hanke on ensimmäinen rakennushanke, jossa 360°-kuvaus on ollut käytössä, eikä käyttökokemuksia OpenSpacen kilpailevista sovelluksista heillä siksi ole. Tuotantoinisinööri (haastattelu 29.9.2023) kuitenkin kertoi hyödyntäneensä edellisessä kohteessaan vastaavaa Buildots-ohjelmaa, jossa oli käytössä myös automatisoitu toteumaseuranta. Tuotantoinisinööri ei kuitenkaan ole käyttänyt OpenSpacen Track -laajennusosaa, joten toteumaseurannan ominaisuuksien vertailua Buildotsin ja OpenSpacen välillä ei voida tehdä luotettavasti. Hän kuitenkin totesi, että OpenSpacessakin toteumaseuranta voisi olla hänen työnsä kannalta hyvä lisä, jolla voitaisiin osoittaa urakoitsijoille, jos työt eivät etene aikataulussa (tuotantoinisinööri, haastattelu 29.9.2023).

Kilpaileva ohjelmisto Buildots vertasi 360°-kuvauksen kuvamateriaalia hankkeen 4D-malliin ja laski automaattisesti rakentamisen toteumaa. Ohjelman avulla voitiin todentaa urakoitsijoiden töiden toteumaprosentti ja ohjelmasta nähtiin suoraan, missä kerroksissa ja lohkoissa työt olivat edenneet ja missä eivät. Ohjelman avulla pienetkin keskeneräiset työt tulivat näkyväksi, jolloin voitiin analysoida valmistumisen aikataulua paremmin. Buildots myös ilmoitti poikkeamista, mikäli asennuksen sijainti poikkeaa tietomallista. Ohjelma siis varoitti ennakkoon poikkeamista, jotka saattavat vaikuttaa seuraaviin työvaiheisiin. Näin ongelmat voitiin havaita hyvissä ajoin etukäteen ja niihin voitiin puuttua ajoissa. Tuotantoinisinöörin mielestä Buildotsin käyttöliittymä oli toimivampi ja helpokäyttöisempi kuin OpenSpacen. Hän myös kehui Buildotsin kuvanlaatua OpenSpacea paremmaksi sekä tietomallin ja 360°-kuvamateriaalin yhteensovitusta todella hyväksi. (Tuotantoinisinööri, haastattelu 29.9.2023)

Useampi haastattelun osallistuja oli hyödyntänyt aiemmissa rakennushankkeissa laserkeilausta, mutta käyttötarkoitus oli näissä tapauksissa yleensä toisenlainen kuin 360°-kuvauksessa. Tuotantoinisinööri (haastattelu 29.9.2023) totesi laserkeilauksen olevan hidas, mistä syystä laajamittainen hyödyntäminen Assin kokoisessa hankkeessa ei olisi hänen mielestään järkevää. Hän kuitenkin totesi, että laserkeilausta voitaisiin hyödyntää joidenkin tilojen, kuten leikkaussalien kohdalla. Projekti-insinööri (haastattelu 12.10.2023) kertoi, että Assi-hankkeessa on myös testattu laserkeilauksen pohjautuvaa toteumaseurannan työkalua, Imersoa. Ohjelma oli hänen mielestään vakuuttava, mutta hintansa vuoksi ohjelmaa ei otettu Assissa käyttöön. Imerson kohdalla keilaus oli

kohtuullisen yksinkertaista ja tekoälyn avulla pistepilven kohdistus hankkeen tietomalliin onnistui sujuvasti. Imerso havaitsi poikkeamia toteuman ja tietomallin välillä. Ohjelmasta voitiin tehdä havaintoja bcf-formaatissa, jota käytetään yleisesti tietomallien välisessä kommunikoinnissa, jolloin suunnittelijat voivat käsitellä ohjelman tuottamat havainnot na- tiivisovelluksessa. Projekti-insinööri koki, että vaikka laserkeilaus onkin datankeräyksen kannalta tehottomampaa, keilaamalla kerätty materiaali on kuitenkin niin paljon tarkem- paa, että sille löytyy enemmän käyttötarkoituksia. (Projekti-insinööri, haastattelu 12.10.2023)

### **6.2.6 Koettu hyöty hankkeelle**

Arkkitehti (haastattelu 30.10.2023) ja projektipäällikkö (sähköpostihaastattelu 15.11.2023) kokivat OpenSpacen omassa työssään hyväksi tavaksi pysyä ajan tasalla rakentamisen etenemisestä, vaikka pääsevätkin vain harvoin käymään työmaalla. Ra- kennuttajakonsultti (haastattelu 1.11.2023) ja tuotantoinsinööri (haastattelu 29.9.2023) sanoivat omassa työssään hyödyn ilmenevän siinä, että he ovat voineet tarkastella työ- maan tilannetta OpenSpacen kautta säästämällä matkan työmaalle. Projektipäällikkö (säh- köpostihaastattelu 15.11.2023) totesi, että 360°-kuvaus ei ole pakollinen toimintatapa, mutta rakennesuunnittelijan näkökulmasta toimiva lisätyökalu rakentamisen seurantaan. Tuotantoinsinööri (haastattelu 29.9.2023) koki, että 360°-kuvauksen käyttötarkoitus ja - laajuus olisi syytä määrittää heti rakennushankkeen alussa, jotta työkalu saataisiin par- haaseen käyttöön. Työskentelytapoja on hänen mukaansa vaikea muuttaa kesken hank- keen.

Hankkeessa on tullut vastaan yksittäisiä tilanteita, joissa kuvausmateriaalista on havaittu poikkeama, jota on lähdetty havainnon myötä ratkomaan. Projekti-insinöörin (haastattelu 12.10.2023) mukaan on vaikea arvioida, tuottaako OpenSpacen käyttö todellista arvoa. Kuitenkin hän pohti, että OpenSpacen kautta havaitun virheen ei tarvitse olla suuri, mutta jos se havaitaan riittävän ajoissa, saavutetaan palvelun käytöllä kustannussäästöjä. Ra- kennuttajapäällikkö (haastattelu 27.10.2023) arvioi, että 360°-kuvauksen ja OpenSpa- cen käytön suurin hyöty tullaan näkemään vasta tulevaisuudessa. Säännöllisillä 360°- kuvauksilla tallennetaan jatkuvasti tietoa huollolle ja investoinneille. Ajansäästöä, mitä on vaikea mitata rahassa, on palvelun käytön myötä jo saavutettu. (Rakennuttajapääl- likkö, haastattelu 27.10.2023). Toteumaseuranta olisi myös hyvä saada OpenSpacen käyttöön mukaan, jotta palvelun avulla voitaisiin tarkentaa aikatauluseurantaa ja mah- dollisesti kustannusvalvonnan avulla kehittää kustannusennustamista. Fotogrammetrian kehityksen myötä 360°-kuvausta voitaisiin hyödyntää paremmin myös laadunhallin- nassa. (Projekti-insinööri, haastattelu 12.10.2023)

Tulevaisuuden kannalta on hyvä pohtia, kenelle hankkeen osapuolelle 360°-kuvauksesta aiheutuvat kustannukset kuuluvat. Allianssihankeessa kustannukset ovat hanke-  
muodon luonteen vuoksi yhteiset, mutta muissa urakkamuodoissa asia ei ole yhtä sel-  
keä. Kuvamateriaali ei välttämättä ole riittävä dokumentaatioon, joka olisi päätoteuttajan  
tarpeiden mukainen käytötapa. Myös suunnittelijat ja tilaaja hyötyvät kuvamateriaalista  
selvästi. Toisaalta tilaaja saattaa haluta palvelun kautta nähdä investointinsa etenemistä.  
Tällöin päätoteuttajalle saattaa olla hyötyä palvelun käytöstä jo tarjouspyyntövaiheessa,  
jos voidaan silloin esittää, että työmaalla käytetään 360°-kuvausta. (Projekti-insinööri,  
haastattelu 12.10.2023) Tuotantoinsinööri (haastattelu 29.9.2023) nosti esiin, että 360°-  
kuvauksen käyttö tuo myös imagohyötyä hankkeelle.

Vastaavia ohjelmistoja 360°-kuvausten tarkasteluun on muitakin kuin OpenSpace, eikä  
OpenSpace välttämättä ole toimivin 360°-kuvauksen hyödyntämiseen, vaikka onkin yksi  
markkinoiden johtavista sovelluksista. OpenSpacen laajennusosat ovat hintavia ja niiden  
hyötyä on vaikea osoittaa. Myös tutkittua tietoa vastaavien työkalujen hyödyistä löytyy  
jonkin verran, päätoteuttajayrityksen sisältä melko vähän. Heikko rakennusalan markki-  
natilanne vaikuttaa siihen, ettei uusia teknologioita lähdetä yhtä herkästi testaamaan,  
kun kokemusta teknologiasta ei ole ja hyödyt eivät ole selvästi nähtävillä. 360°-kuvaus  
näyttäisi kuitenkin tulleen rakennusosalalle jäädäkseen, ja käyttöä voitaisiin lisätä, mikäli  
kuvamateriaalin keräys pystyttäisiin automatisoimaan. (Projekti-insinööri, haastattelu  
12.10.2023)

### **6.3 Haastatteluvastausten yhteenveto**

Yleisenä konsensusena haastateltavien kesken niin yksilö- kuin ryhmähaastattelujen-  
kin perusteella voidaan todeta, että OpenSpacea ei hyödynnetä Assi-hankkeessa niin  
laajasti, kuin olisi voitaisiin, vaan potentiaalia olisi enempään. 360°-kuvaus koettiin hy-  
väksi dokumentaatiota ja tuotannon ohjausta tukevaksi työkaluksi, mutta perinteisiä me-  
netelmiä ei voida 360°-kuvauksella korvata täysin. 360°-kuvauksen avulla voidaan pitää  
konkreettinen työmaan toteumatieto kaikkien allianssin osapuolten nähtävillä.

Palvelimelle ladatun 360°-kuvamateriaalin heikko kuvanlaatu on esteenä tarkemmalle  
laadulliselle tarkastelulle. Kuva on riittävän laadukasta tilannekuvan luomiseen ja aika-  
taulutilanteen tarkasteluun, mutta tarkempia yksityiskohtia on vaikea erottaa kuvista. Ku-  
vanlaatuun voidaan jossain määrin vaikuttaa valitsemalla työmaalla käytössä olevista  
360°-kameroista uudempi kameramalli kuvaukseen, mutta tälläkään kuvanlaatuun ei  
saavuteta merkittävää parannusta. Suuri ongelma kuvanlaadussa on myös työmaan  
vaihtelevat valaistusolosuhteet. Kuvauksen aikana voidaan käyttää hämärissä tiloissa

otsalamppua, mutta otsalampun valo ei ratkaise ongelmaa, sillä valo kohdistuu ainoastaan kuvaajan eteen.

Haastatteluvastauksista ilmeni tarve kuvausvastuun jakamiselle useammalle henkilölle. Kuvaus on erillisenä, omana tehtävänä suorittaessa aikaa vievä prosessi. Toimiva tapa kuvausten järjestämiseen olisi haastatteluiden perusteella myös kuvauksen yhdistäminen muihin työmaalla tehtäviin kierroksiin tai mittauksiin. Kuvauksia tekevät kuvailivat haastattelussa OpenSpacen kuvauksiin käytettävää mobiilisovellusta helppokäyttöiseksi, joten kuvaustehtävien opastus uusille kuvaajille on nopea tehtävä. Kuvauksen automatisoinnista keskusteltiin sekä kuvaajien että käyttäjien kanssa, mutta kuvausrobottien käyttöön suhtauduttiin melko skeptisesti. Laajaa ja pitkäaikaista käyttökokemusta ei tietävästi kuvausroboteista ole, joten robotin käyttökin olisi uuden asian opettelua, joka sitoo sekä rahaa että robotin operoijan työaika.

Haastateltavat toivoivat ohjelmistojen välisen yhteentoimivuuden kehitystä erityisesti OpenSpacen ja Congridin välillä. OpenSpace on yhdysvaltalainen yritys, joten ohjelmistojen väliset integraatiot painottuvat Yhdysvalloissa laajemmassa käytössä oleviin rakennusalan ohjelmistoihin, jotka eivät ole Suomessa laajasti käytössä. OpenSpacen ja Congridin välisellä havaintojen tiedonsiirrolla OpenSpacea voitaisiin hyödyntää enemmän työmaan ja suunnittelun välisenä kommunikoinnin välineenä. Ohjelmien välinen integraatio lisäisi OpenSpacen käyttöä erityisesti laadun ja turvallisuuden hallinnassa. Tarvetta nähtiin myös ajantasaisimpien suunnitelmien automaattiselle päivitykselle projektipankista OpenSpaceen. Assissa projektipankkina toimii Sokopro. Yhdistelmämallin koostaminen ja päivittäminen OpenSpaceen vaatii nykyisellään manuaalista työtä. Tämä myös johtaa siihen, että tietomalli päivitetään muutaman kuukauden välein, eikä tietomalli ole ajan tasalla. Manuaalinen työ saataisiin poistettua ohjelmien välisellä integraatiolla.

Valtavan työmaalta kerätyn 360°-kuvamateriaalin perusteellinen läpikäynti manuaalisesti on lähes mahdotonta ja vaatisi suurta määrää kuvamateriaalin tarkastelijoita. Yleisesti kuvamateriaalista tarkastellaankin Assissa toteuman yleiskuvaa tai kuvista etsitään tiettyä yksityiskohtaa. Kuvamateriaalin hyödyntämistä voisi edistää kuvien automaattisella tarkastelulla tietokonenäköön ja fotogrammetriaan perustuvalla teknologialla. Automaattista toteumaseurantaa käyttäneet haastattelun osallistujat kokivat automaation käytön tässä tarkoituksessa hyödylliseksi. Kuitenkin käytettävän ohjelmiston antamat huomiot on tarkistettava edelleen manuaalisesti, mutta tarkastettava kuvamateriaali vähenisi automaation avulla.



## 7. POHDINTA

Diplomityössä etsittiin vastauksia seuraaviin 360°-kuvauksen hyödyntämistä rakennustuotannon ohjauksessa käsitteleviin tutkimuskysymyksiin kirjallisuuden, tapaustutkimuksen ja haastatteluiden avulla:

- Miten 360°-kuvausta on hyödynnetty rakennustuotannon ohjauksessa?
- Mitkä ovat kokemukset 360°-kuvauksen hyödyntämisestä rakennustuotannon ohjauksessa?
- Miten 360°-kuvauksen hyödyntämistä rakennustuotannon ohjauksessa voidaan kehittää?

360°-kuvaus on sekä kirjallisuuden että haastattelujen perusteella koettu moniin muihin tiedonkeruutapoihin verrattuna nopeaksi ja toimivaksi tavaksi työmaan laajaan kuvaukseen ja toteumatiedon keräykseen. Kirjallisuuden perusteella 360°-kuvausta on hyödynnetty erityisesti työmaan toteumaseurannassa. Ajantasaista, 360°-kuvista saatua toteumatietoa voidaan käyttää aikataulujen hallinnassa. Markkinoilla on tarjolla ohjelmia, joiden avulla 360°-kuvista voidaan laskea rakentamisen toteumaa automaattisesti. Lisäksi 360°-kuvauksen käyttöä turvallisuuskoulutuksissa on tutkittu. Tutkimuksessa kuvamateriaalia on käytetty virtuaalitodellisuuden luomisessa, jossa apuna on hyödynnetty myös lisättyä todellisuutta. Tietokonenäön hyödyntäminen 360°-kuvamateriaalin tarkastelussa mahdollistaisi myös automaattisen laadullisen tarkastelun.

Diplomityön tutkimuskohteessa viikoittaiset 360°-kuvaukset on otettu mukaan työmaan toimintaan. Kuvamateriaalin käyttö rakennustuotannon ohjauksen tarkoituksiin on runsaasta kerätystä kuvamateriaalista huolimatta jäänyt kohteessa melko vähäiseksi. Haastattelujen perusteella kuvausten ajoittaminen tahtituotannon kulun mukaisesti mahdollistaisi 360°-kuvauksen käytön tahtituotannon ohjauksen ja seurannan työkaluna. 360°-kuvauksia ei juurikaan ole kohteessa hyödynnetty tässä tarkoituksessa. Teknologia on vielä melko uutta rakennusalalla ja kyseessä onkin monelle tutkimuskohteessa ensimmäinen hanke, jossa 360°-kuvaus on käytössä. Koska teknologia on uutta, menetelmä on vielä kokeellinen ja prosessiin etsitään vielä toimivaa muotoa. Vain harva hyödyntää tutkimuskohteessa 360°-kuvausten materiaalia aktiivisesti työssään tuotannon ohjauksen tarkoituksiin. 360°-kuvaus kuitenkin tukee työmaan dokumentaatiota. Hyötyä laajasta dokumentaatiosta 360°-kuvilla saattaa ilmetä tulevaisuudessa.

Tutkimuskohteessa 360°-kuvaus koettiin erityisen hyväksi rakentamisen tilannekuvan hahmotukseen. Kuvauksista on selvästi hyötyä sellaisille henkilöille, joiden päivittäinen työ ei ole työmaalla, kuten suunnittelijoille ja tilaajan edustajille. 360°-kuvauksen käyttö lisää rakentamisen läpinäkyvyyttä hankkeen kaikille osapuolille. Kuvamateriaalia voidaan hyödyntää myös esimerkiksi esittely- tai perehdytysmateriaalina. Työmaahenkilöstön ja tuotannon ohjauksen tarpeisiin kuvamateriaali on harvoin riittävän laadukasta. Tuotannon ohjauksen käytössä kuvamateriaalista olisi tarpeen tarkastella töiden tarkkaa toteumaa tai mahdollisia laadullisia puutteita, joiden tarkastelua kuvanlaatu rajoittaa. Heikko kuvanlaatu johtuu osittain työmaille ominaisesta kuvausolosuhteiden vaihtelusta. Mikäli kuvien tarkastelussa hyödynnettäisiin automaatiota, huono kuvanlaatu heikentäisi myös automaation toimintaa. Kuvanlaatua heikentää myös kuvamateriaalin pakkaaminen palvelimelle ladattaessa. Kuvanlaadussa on kuitenkin työssä saatujen haastatteluvastausten perusteella eroa 360°-kuvauksen tarkasteluun käytettävän ohjelman mukaan, joten kuvanlaatu on myös osittain palveluntarjoajan ja ohjelmistokehityksen ratkaistavissa oleva asia.

Suurimmaksi yksittäiseksi 360°-kuvaukseen liittyväksi manuaaliseksi työksi todettiin kuvamateriaalin keräys. Mikäli kuvaus joudutaan suorittamaan omana, erillisenä työtehtävänä, on kuvaus huomattavasti työaikaresurssia vaativa tehtävä. Automaation mahdollisuuksia kuvamateriaalin keräykseen pohdittiin niin kirjallisuudessa kuin haastatteluisinkin. Automaation ja robotin käytön 360°-kuvauksessa todettiin kuitenkin olevan vielä kokeellista eikä tätä nähty vielä toistaiseksi realistiseksi vaihtoehdoksi toteuttaa kuvauksia tutkimuskohteessa. Haastatteluiden perusteella kuvausvastuun jakaminen useammalle henkilölle tai kuvauksen yhdistäminen muihin työmaakerroksiin nähtiin parhaiksi ratkaisuksi kuvamateriaalin keräykseen. Haasteita kuvaukseen tuo kuitenkin myös kameroiden akun kesto. Esimerkiksi tutkimuskohteen kokoisella, suurella työmaalla kameran akkukesto ei ole riittävä kuvaukseen esimerkiksi TR-mittauksen aikana. Tarkoituksenmukaista kuvausten kattavuutta on myös syytä pohtia. Mikäli kuvamateriaalia ei voida hyödyntää riittävällä tarkkuustasolla tuotannon ohjauksen tarpeisiin, on syytä harkita viikoittaisen kuvauksen tarpeellisuutta. Mikäli kuvausta optimoitaisiin työvaiheen mukaan, veisi myös kuvauksen aikatauluttaminen ja kuvausreittien optimointi työaikaa. Yleiseen rakentamisen tilannekuvan hahmottamiseen, dokumentaation tueksi ja esittelymateriaaliksi saattaisi riittää harvempikin kuvausväli.

Kirjallisuusselvityksessä havaittiin runsaasti kehittämismahdollisuuksia 360°-kuvamateriaalin tarkastelun automatisoinnissa. Automatisoidulla toteumaseurannalla voidaan Alizadehsalehi & Yitmen (2019) selvityksen mukaan saavuttaa hyötyä projektinhallinnan on-

nistumisessa. Paneru & Jeelani (2021) käsittelivät tutkimusartikkelissaan laajasti tietokonenäön mahdollisuuksia rakennusalalla ja nostivat esiin tietokonenäön hyödyntämättömän potentiaalin rakentamisen laadunhallinnassa. Automaatioon ei tämän diplomityön haastatteluissa suhtauduttu aivan yhtä toiveikkaasti. Toisaalta tietokonenäön ja fotogrammetrian tuomat mahdollisuudet eivät välttämättä olleet haastateltaville ennalta tuttuja. Kaikki haastateltavat eivät esimerkiksi olleet tietoisia automaattiseen toteumaseurantaan käytettävän OpenSpacen Track -laajennuksen ominaisuuksista. Kuitenkin haastateltavista ne, jotka olivat testanneet tai hyödyntäneet työssään automatisoitua toteumaseurantaan myös kokivat menetelmän toimivaksi ja hyödylliseksi. Toteumaseurannan automatisointi edistäisi työkalun käyttöä tuotannon ohjauksessa.

Kirjallisuudessa Barbosa & Costa (2022) esittivät tutkimuksensa tuloksena 360°-kuvauksen käyttöä rakennustyömaan toteumaseurantaan kuvaavan prosessin, jossa kuvattua materiaalia verrattiin 4D-malliin. Diplomityön tutkimuskohteessa Assissa 4D-malli ei ole käytössä, eikä tälle ole ainakaan 360°-kuvamateriaalin tarkasteluun käytettävän OpenSpacen käytön kannalta tarvetta. OpenSpacen automatisoidun toteumaseurannan laajennusosa ei osaa tulkita 4D-mallia. Kuitenkin haastattelun perusteella 4D-mallista saattaa olla hyötyä automatisoidussa toteumaseurannassa, sillä kilpaileva ohjelma Buildots vertaa työmaalta kuvattua 360°-kuvamateriaalia 4D-malliin. 4D-mallin tarve riippuu siis toteumaseurantaan käytettävästä ohjelmasta, eikä se ole välttämätön, vaan 4D-mallin tarve on arvioitava tapauskohtaisesti käytettävän työkalun mukaan. Laadukas tietomalli auttaa suunnitelmien vertausta 360°-kuvissa nähtävään rakentamisen toteumaan ilman toteumaseurantatyökaluakin. Mikäli toteumaseuranta automatisoidaan, tietomallin merkitys korostuu entisestään.

Ohjelmistokehityksessä on huomattavaa kehityspotentiaalia ohjelmistojen väliseen yhteentoimivuuteen liittyen. OpenSpace mahdollistaa integraatiot useiden eri ohjelmien välillä, mutta nämä ohjelmat vastaavat ennemminkin Yhdysvaltojen markkinaa. Suomessa on usein käytössä eri ohjelmat, eikä esimerkiksi diplomityön tutkimuskohteena oleva Assi-hanke hyödy näistä integraatioista. Mikäli 360°-kuvamateriaalia aiotaan hyödyntää tuotannon ohjauksessa, on tämä syytä huomioida jo käytettävien ohjelmien valinnassa. Nykyisellään OpenSpacessa oleva tieto ei projektilla liiku muihin ohjelmiin, jolloin OpenSpacen havainto-ominaisuus ja mahdollisuus hyödyntää ohjelmaa kommunikointiin jää kokonaan hyödyntämättä. Kirjallisuusselvityksen perusteella järjestelmien yhteentoimivuudella ja tiedonsiirron automatisoinnilla voidaan vähentää manuaalista työtä ja siten tehostaa työskentelyä lean-periaatteiden mukaisesti. Duarte-Vidal et al. (2021)

mukaan ohjelmistojen välinen yhteentoimivuus ehkäisee tiedon pirstaloitumista ja edistää automaation käyttöä. Kuitenkin laajassa ohjelmistokentässä haasteena onkin oikeiden ohjelmistojen valinta tukemaan tarvittavaa käyttötarkoitusta.

## 7.1 Tutkimustulosten luotettavuuden arviointi

Tapaustutkimuksen ja haastattelujen osuuksissa havaitut käytännöt perustuvat ainoastaan yhden rakennusprojektin kokemuksiin 360°-kuvauksen käytöstä. Otanta haastattelututkimuksessa on pieni ja vaikka haastatteluun osallistuikin asiantuntijoita eri yrityksistä, työkalun käyttökokemukset perustuivat pitkälti samaan rakennushankkeeseen. Haastatteleamalla asiantuntijoita myös muilta hankkeilta, joissa 360°-kuvausta on hyödynnetty olisi voitu saada vastauksiin enemmän hajontaa ja mahdollisesti löytää työkalulle käyttötarkoituksia, joita ei ole tutkimuskohteessa kokeiltu. Tutkimuskohteena toimi suuri sairaalahanke, joten tutkimuskohteesta saatujen tulosten perusteella ei voida luotettavasti päätellä, kuinka hyvin 360°-kuvaus soveltuu pienempiin rakennushankkeisiin.

Hyvin laajasti erilaisia rakentamisen digitaalisia ratkaisuja hyödyntävässä tutkimuskohteessa ovat myös 360°-kuvauksen rajoitteet, puutteet ja ongelmat nousseet hyvin esiin. Jos tällaisessakin hankkeessa imun saaminen 360°-kuvauksen hyödyntämiseen ja kuvauksiin on haastavaa, menetelmän ottamisen laajempaan käyttöön voidaan olettaa olevan vaikeaa myös muissa rakennushankkeissa. Kirjallisuusselvityksessä löydetty tutkimustieto uusien teknologioiden käyttöönotosta tukee tätä oletusta.

Tutkimuksessa hyödynnettiin kirjallisuudesta löytyviä tietoja sekä tutkimuskohteen toimintatapoja. Tutkimuksessa ei ilmennyt, millaisia toimintatapoja 360°-kuvauksen hyödyntämiseen rakennustuotannon ohjauksen apuna on löydetty muissa rakennushankkeissa. Esimerkiksi automatisoitua toteumaseurantaa ei ole tutkimuskohteena olevassa hankkeessa ole käytössä, joten tämän mahdollisuuden hyötyjen käsittely jää tässä diplomityössä vajavaiseksi. Tutkimustulokset perustuvat pääasiassa OpenSpace-ohjelman käyttöön ja ominaisuuksiin. Haastattelututkimuksessa käsiteltiin hieman yhden haastattelun osallistujan vastausten perusteella myös kilpailevaa ohjelmaa, Buildotsia, josta haastateltavalla oli hyviä käyttökokemuksia. Tulosten perusteella ei voida kuitenkaan verrata näitä ohjelmia luotettavasti, vaikka haastattelun perusteella Buildotsin toiminnassa vaikuttaisi olevan etuja OpenSpaceen nähden. Tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että ennen 360°-kuvamateriaalin tarkasteluun käytettävän ohjelman valintaa onkin tärkeää tutustua laajasti markkinoilla oleviin vaihtoehtoihin ja eri ohjelmien ominaisuuksiin ja ohjelmistojen välisten integraatioiden mahdollisuuksiin.

Tutkimusta erilaisista rakennustyömaan tiedonkeruumenetelmistä ja kuviin perustuvasta, automatisoidusta tarkastelusta on tehty jonkin verran, mutta harva näistä käsittelee erityisesti 360°-kuvauksista tai rakentamisen sisätyövaihetta. Myöskään tutkimusta teknologian käytöstä tahtituotannossa ei ole tehty. Tässä työssä onnistuttiin kokoamaan yhteen 360°-kuvauksen käyttöön liittyviä hyviä käytäntöjä sekä soveltamaan tutkimustietoa tietokonenäköön perustuvasta automaattisesta kuvamateriaalin tarkastelusta 360°-kuvaukseen. Empiirisen tutkimuksen perusteella saatiin myös uutta tietoa teknologian käytöstä ja mahdollisuuksista tahtituotannossa.

## 7.2 Jatkotutkimusehdotukset

Diplomityön tutkimuksen edetessä ilmeni tarvetta 360°-kuvauksen käyttöä rakennusalalla käsittelevälle jatkotutkimukselle. Esimerkiksi seuraavia teemoja olisi tarpeen tutkia alalla lisää:

- 360°-kuvauksen ja tietokonenäön hyödyntäminen laadunhallinnassa- ja varmistuksessa
- 360°-kuvauksen teknologian soveltuvuus rakennusalalle kuvanlaadun puutteiden osalta
- 360°-kuvauksen ja automatisoidun toteumaseurannan käyttö tahtituotannossa
- toteumaseurannan automatisoinnin tuoma manuaalinen työ
- robotiikan käyttö 360°-kuvauksessa
- 360°-kuvauksen soveltuvuus eri kokoisiin rakennushankkeisiin

Tarvetta olisi poikkitieteelliselle tutkimukselle automaation hyödyntämisestä rakennustyömailta kerätyn 360°-kuvamateriaalin tarkastelussa. Tutkimuksessa olisi hyvä selvittää ratkaisuja kuvamateriaalin laadun haasteisiin niin sovelluskehityksen kuin rakennustuotannonkin näkökulmasta. Myös automatisoidun toteumaseurannan käytöstä 360°-kuvamateriaalin tarkastelussa nimenomaan tahtituotannossa olisi kiinnostava saada tutkimustietoa molempia toimintatapoja käyttävästä tutkimuskohteesta. Diplomityössä käsiteltiin myös pintapuolisesti automaation käytön myötä tulevaa manuaalista työtä. Tutkimustiedon saaminen siitä, missä määrin automaation tuottamien havaintoraporttien käsittely vaatii manuaalista työtä, olisi myös tarpeen.

Robotiikan käyttö kuvauksessa herätti myös keskustelua haastattelututkimuksessa. Robotin käyttö vastaavaan tarkoitukseen on ollut lähinnä kokeellista, ja pitkäkestoisemmasta käytöstä olisi tarpeellista saada käyttökokemuksia, jotta rakennusalalla voitaisiin arvioida robotin käytön hyöty-panossuhdetta. Tämä diplomityö ei myöskään tuonut tietoa

siitä, miten 360°-kuvaus soveltuu eri kokoihin rakennushankkeisiin. Pienemmissä hankkeissa kuvauksen aiheuttama työmäärä on luonnollisesti pienempi, mutta myös hyödyt saattavat pienemmissä, helpommin hallittavissa rakennushankkeissa jäädä pienemmiksi. Tästä voisi myös olla tarpeen saada tutkimustietoa eri kokoisista tutkimuskohteista.

## 8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä diplomityössä tutkittiin 360°-kuvauksen hyödyntämistä rakennustuotannon ohjauksen näkökulmasta. Kirjallisuuden perusteella todettiin, että uudet, digitaaliset työkalut koetaan usein hintaviksi ja kokeelliseksi toiminnaksi, minkä vuoksi niitä ei ole otettu rakennusalalla laajaan käyttöön. Käyttööntovaihe on lisäksi usein haastava tuottavuuden kannalta, ja aluksi tuottavuus saattaa ennenkin notkahtaa kasvun sijasta. Empiirisessä tutkimuksessa havaittiin, että 360°-kuvauksen ottaminen laajempaan käyttöön rakennustuotannon ohjauksessa on haastavaa jopa tutkimuskohteessa, joka on palkittu digitaalisten työkalujensa laajasta hyödyntämisestä. Empiirisessä tutkimuksessa havaittiin myös kohteessa käytössä olevan 360°-kuvausohjelmiston puutteita, jotka rajoittavat ohjelman käyttöä. Kirjallisuusselvityksen perusteella samat haasteet oli myös tunnistettu aiemmissa aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa. Diplomityön tuloksena tunnistettiin neljä tärkeintä kehityskohdetta, jotka tällä hetkellä rajoittavat 360°-kuvauksen käyttöä rakennustuotannon ohjauksen tukena. Kehityskohteet ovat:

1. 360°-kuvamateriaalin keräys
2. kuvanlaatu
3. automaatio kuvamateriaalin tarkastelussa
4. ohjelmistojen yhteentoimivuus.

Kuvaus on tehtävänä työläs ja aikaa vievä, mikäli sitä ei voida yhdistää työmaalla tehtäviin muihin töihin ja kierroksiin. Lisäksi kuvausta rajoittaa suurella työmaalla tarkoitukseen käytettävien kameroiden akkukesto. Kuvanlaadun puutteet rajoittavat erityisesti tarkempaa laadullista tarkastelua. Kerätyn kuvadatan määrä on niin suuri, että palvelimelle ladattaessa kuvadata pakataan, jolloin kuvanlaatu heikkenee. Myös työmaan valaistusolosuhteet heikentävät kuvien laatua. Huonolaatuinen kuva heikentää myös automaation toimintaa, mikäli sitä käytetään kuvamateriaalin tarkastelussa. Automaatiota voidaan hyödyntää toteumaseurannassa ja sitä kautta aikataulujen hallinnassa, mutta teknologiaa ei hyödynnetä rakennusalalla kovinkaan laajasti. Tietokoneäön ja fotogrammetrian kehityksellä voitaisiin lisätä automaatiota myös työmaan laadulliseen tarkasteluun. Kehittämällä erityisesti OpenSpacen ja tuotannonhallintasovellus Congridin välistä yhteentoimivuutta voitaisiin 360°-kuvamateriaalin tarkastelusta tehdä vuorovaikutteisempaa.

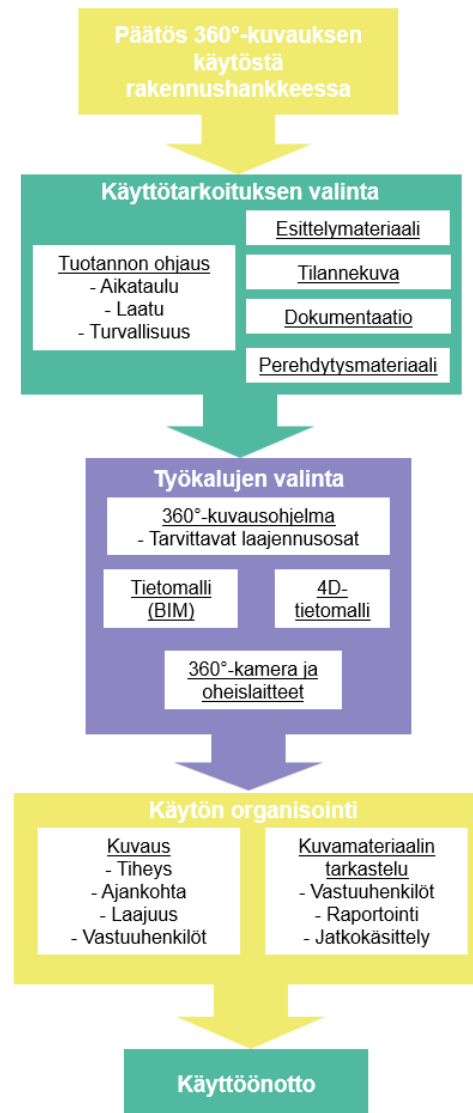
Vaikutusmahdollisuudet kehityskohteisiin ovat työmaahenkilöstön osalta rajalliset. Työmaahenkilöstö voi itse vaikuttaa erityisesti kuvamateriaalin keräykseen ja jossain määrin

myös kuvanlaatuun. Kuvanlaatuun voidaan vaikuttaa työmaan valaistuksella, kameravaliinnoilla, huolellisella kuvauksella sekä ajoittamalla kuvaus valoisaan ajankohtaan päivänvalon maksimoimiseksi. Kuvamateriaalin keräystä voidaan kehittää työmaalla yhdistämällä kuvaus muihin työmaan tehtäviin ja kierroksiin. Tulevaisuudessa automaatiota voidaan mahdollisesti hyödyntää kuvauksessa, mutta toistaiseksi automaatio esimerkiksi robotin avulla on vielä kokeellista toimintaa eikä ole yleistynyt työmailla. Robotiikka kehittyy jatkuvasti ja tulee mahdollisesti yleistymään, mikäli robottien hinnat laskevat. Ohjelmistojen yhteentoimivuuden ja automaation kehitys on pitkälti palveluntarjoajien ohjelmistokehityksen ratkaistavissa. Tärkeimmät ratkaisut diplomityössä havaittuihin kehityskohtiin tehdäänkin ohjelmistokehityksen kentällä. Ratkaisut vaativat kuitenkin ohjelmisto- ja rakennusalan yhteistyötä, jotta kehityssuunta olisi paremmin työmaan ja rakennustuotannon tarpeisiin vastaava. Toisaalta teknologian potentiaalia jää rakennusalalla paljon hyödyntämättä. 360°-kuvista tehtävän automaattisen toteumaseurannan teknologia on jo olemassa, mutta mahdollisuutta ei vielä hyödynnetä rakennusalalla kovin laajasti. Tutkimustieto kuitenkin tukee haastatteluvastauksistakin havaittuja automaattisen toteumaseurannan hyötyjä projektinhallinnan onnistumisessa.

Nykyisillä diplomityön tutkimuskohteessa käytössä olevilla toimintatavoilla 360°-kuvauksen käyttö rakennustuotannon ohjauksen tarkoituksiin on vähäistä ja käyttö satunnaista. Tämän vuoksi myös hyödyt tuotannon ohjauksessa jäivät pieniksi. Hyöty hankkeelle painottuu ennemminkin työmaan toiminnan tarkastelun mahdollistamiseen muille hankkeen osapuolille. Kuvamateriaalin avulla toimijat, jotka käyvät työmaalla vain harvoin, kuten suunnittelijat ja tilaajan edustus, voivat tarkastella rakentamisen etenemistä virtuaalisesti 360°-kuvauksen avulla. Näin kaikilla hankkeen osapuolilla on saatavissa konkreettista dataa rakentamisen edistymisestä ja siten rakentamisen läpinäkyvyyttä alliansiosapuolten välillä voidaan edistää. Työmaan laajasta dokumentoinnista 360°-kuvauksella saattaa myös ilmetä hyötyä tulevaisuudessa rakennuksen elinkaaren aikana. Haasteista huolimatta 360°-kuvauksen käytössä on siis nähtävissä myös hyötyä. 360°-kuvauksella ei kuitenkaan parhaassakaan tapauksessa ole tarkoitus korvata täysin perinteisiä tuotannon ohjauksen menetelmiä, vaan toimintatapa on jatkossakin tuotantoa tukevaa toimintaa. Automaatiikan tuottamat havainnot on jatkossakin tarkasteltava manuaalisesti, sillä tietokone ei tunnista esimerkiksi syy-seuraussuhteita. Toimintatavoissa ja teknologiassa on runsaasti kehityspotentiaalia. Mikäli työssä esitetyt haasteet saadaan ratkottua, 360°-kuvaus saattaa tulevaisuudessa muodostua yleisesti käytetyksi toimintatavaksi ja siten edistää työmaiden ja rakennusalan digitalisaatiota sekä tuottavuutta.

360°-kuvauksen käyttöönotossa olisi hyvä noudattaa kuvassa 18 esitettyä prosessia.





**Kuva 18.** 360°-kuvauksen käyttöönoton prosessikaavio rakennushankkeessa

Kun rakennushankkeessa päätetään 360°-kuvauksen käytöstä, ensimmäiseksi olisi tärkeää määrittää 360°-kuvauksen käyttötarkoitus hankkeessa. Mikäli kuvausta päätetään hyödyntää tuotannon ohjauksen tarkoituksiin, kasvavat myös käytettävien työkalujen ja työaikaressurssien vaatimukset. Käyttötarkoituksen perusteella valitaan käytettävät digitaaliset työkalut ja kamerakalusto. Käyttöön valitun 360°-ohjelman ja mahdollisesti automaattisen toteumaseurannan valinnan perusteella määritellään myös tarve tietomallille tai 4D-mallille. Tämän jälkeen suunnitellaan käyttötarkoitusta palvelevat kuvauskäytännöt sekä tarve kuvamateriaalin tarkastukselle, jatkokäsittelylle ja havaintojen raportoinnille. Määrittelemällä käyttötarkoitus ja valitsemalla käyttötarkoituksen mukaiset toimintatavat sekä työkalut voidaan optimoida 360°-kuvauksen käytön resursseja paremmin tarkoitusta palveleviksi.

## LÄHTEET

- Ahveniston sairaala (2023). Aluehallitus päätti Assi-sairaalan lisäosien rakentamisesta. 14.8.2023. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.9.2023): <https://ahvenistonsairaala.fi/uutiset/aluehallitus-paatti-assi-sairaalan-lisaosien-rakentamisesta/>.
- Ahveniston sairaala (2021). Medialle. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.6.2023): <https://ahvenistonsairaala.fi/tietoa/medialle/>.
- Ahveniston sairaala (n.d.a). Usein kysytyt kysymykset. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.6.2023): <https://ahvenistonsairaala.fi/tietoa/ukk/>.
- Ahveniston sairaala (n.d.b). Tietoa. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.6.2023): <https://ahvenistonsairaala.fi/tietoa/ukk/>.
- Alizadehsalehi, S., & Yitmen, I. (2019). A concept for automated construction progress monitoring: Technologies adoption for benchmarking project performance control. *Arabian journal for science and engineering*. Vol 44(5), s. 4993–5008.
- Balandran, C. (2020). OpenSpace prototypes 3D scan with new iPhone LiDAR. 13.10.2020. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.9.2023): <https://www.openspace.ai/blog/3d-scan-construction-iphone-lidar/>.
- Barbosa, A. S. & Costa, D. B. (2022). Use of BIM and visual data collected by UAS and 360° camera for construction progress monitoring. *IOP conference series. Earth and environmental science*. Vol. 1101(8), 082007.
- Barbosa, F., Woetzel, J., Mischke, J., Ribeirinho, M. J., Sridhar, M., Parsons, M., Bertram, N., & Brown, S. (2017). Reinventing construction: A route to higher productivity. McKinsey Global Institute. 155 s. Saatavissa (viitattu 3.6.2023): <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/mgi-reinventing-construction-a-route-to-higher-productivity-full-report.pdf>.
- Bosché, F. (2010). Automated recognition of 3D CAD model objects in laser scans and calculation of as-built dimensions for dimensional compliance control in construction. *Advanced engineering informatics*. Vol 24(1), s. 107–118.
- Bølviken, T. & Koskela, L. (2016). Why hasn't waste reduction conquered construction? 24th Annual conference of the international group for lean construction. Boston, USA. 20.–22.7.2016, s. 3–12.
- Braun, A., Tutas, S., Borrmann, A. & Stilla, U. (2020). Improving progress monitoring by fusing point clouds, semantic data and computer vision. *Automation in construction*. Vol. 116, 103210.
- Deng, H., Hong, H., Luo, D., Deng, Y. & Su, C. (2020). Automatic indoor progress monitoring for tiles based on BIM and computer vision. *Journal of construction engineering and management*. Vol. 146(1), 04019095.

Duarte-Vidal, L., Herrera, R. F., Atencio, E. & Muñoz-La Rivera, F. (2021) Interoperability of digital tools for the monitoring and control of construction projects. *Applied sciences*. Vol. 11 (21), 10370.

Eiris, R., Gheisari, M. & Esmaeli, B. (2018). PARS: Using augmented 360-degree panoramas of reality for construction safety training. *International journal of environmental research and public health*. Vol. 15(11), 2452.

Fisher, R. B., Breckon, T. P., Dawson-Howe, K., Fitzgibbon, A., Robertson, C., Trucco, E. & Williams, C. K. I. (2013). *Dictionary of computer vision and image processing*. Somerset: Wiley. 372 s.

Flores, J. (2023). Reality Capture 101. 15.3.2023. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.9.2023): <https://www.openspace.ai/blog/reality-capture-101/>.

Gao, S., & Low, S. P. (2014). *Lean construction management the Toyota way*. 1. painos. Springer Singapore. 390 s.

Golparvar-Fard, M., Peña-Mora, F. & Savarese, S. (2011a). Integrated sequential as-built and as-planned representation with D<sup>4</sup>AR tools in support of decision-making tasks in the AEC/FM industry. *Journal of construction engineering and management*. Vol. 137(12), s. 1099–1116.

Golparvar-Fard, M., Peña-Mora, F. & Savarese, S. (2011b). Monitoring changes of 3D building elements from unordered photo collections. *IEEE international conference on computer vision workshops*. 2011, s. 249–256.

Golparvar-Fard, M., Peña-Mora, F., & Savarese, S. (2015). Automated progress monitoring using unordered daily construction photographs and IFC-based building information models. *Journal of computing in civil engineering*. Vol. 29(1), 04014025.

Hamledari, H., McCabe, B. & Davari, S. (2017). Automated computer vision-based detection of components under-construction indoor partitions. *Automation in construction*. Vol. 71, s. 78–94.

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2022). *Gaudeamus. Tutkimushaastattelu: Teemahaastattelun teoria ja käytäntö*. 551 s.

Holdener, D., Nebiker, S. & Blaser, S. (2017). Design and implementation of a novel portable 360° stereo camera system with low-cost action cameras. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences – ISPRS Archives*, Vol. 42(2), s. 105–110.

Holm, H. T., Van Veen, A. R., Wertebach, S. & Johansen, P. R. (2018). *Lean methodology in design and construction*. Ad Notam. 167 s.

Insta360 (2023a). Store. Insta360 ONE X. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.8.2023): [https://store.insta360.com/product/one\\_x?c=1908&from=nav](https://store.insta360.com/product/one_x?c=1908&from=nav).

Insta360 (2023b). Store. Insta360 X3. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.8.2023): <https://store.insta360.com/product/x3?c=2118&from=nav>.

Junnonen, J.-M. (2022). *Talonrakennushankkeen tuotannonhallinta* (2. painos). Rakennustieto Oy. 86 s.

Keskiniva, K., Saari, A. & Junnonen, J.-M. (2021). Takt production monitoring and control in apartment renovation projects. *Buildings* 2021. Vol. 11(13), s. 1–18.

Kozlovská, M. & Klosova, D. (2022). Influence of takt time planning on construction efficiency. *IOP conference series. Materials science and engineering*. Vol. 1252(1), 12044.

Lean construction institute (2023a). Our mission & vision. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.10.2023): <https://leanconstruction.org/about/mission-vision/>.

Lean construction institute (2023b). What is lean thinking? Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.11.2023): <https://leanconstruction.org/lean-topics/what-is-lean-thinking/>.

Lehto, E. (2020). Rakentamisen tuottavuus. Raportteja 41. Palkansaajien tutkimuslaitos. Helsinki. 42 s. Saatavissa (viitattu 8.5.2023): <https://labore.fi/wp-content/uploads/2020/05/Raportteja41.pdf>.

Liker, J. K. (2020). *The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. 2. painos. McGraw-Hill. 352 s.

Lohilahti, O. (2017). Rakennusalalla työn tuottavuus ei ole kasvanut 40 vuodessa—Onko allianssista tai leanista apua? *Rakennuslehti*. Saatavissa (viitattu 6.5.2023): <https://www.rakennuslehti.fi/2017/09/rakennusalalla-tyon-tuottavuus-ei-ole-kasvanut40-vuodessa-onko-allianssista-tai-leanista-apua/>.

Martinez, E. & Pfister, L. (2023). Benefits and limitations of using low-code development to support digitalization in the construction industry. *Automation in construction*. Vol 152, 104909.

Navon, R. & Sacks, R. (2007). Assessing research issues in automated project performance control (APPC). *Automation in construction*. Vol 16, s. 474–484.

Netek, R., Burian, T. & Macecek, M. (2020). From 360° camera toward to virtual map app: Designing low-cost pilot study. *Computer animation and virtual worlds*. Vol. 31(6).

Ohno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. 1. painos. Productivity press.

Omar, T. & Nehdi, M.L. (2016). Data acquisition technologies for construction progress tracking. *Automation in construction*. Vol. 70, s. 143–155.

OpenSpace (2023a). Face blurring in OpenSpace. Verkkosivu. Päivitetty 23.6.2023. Saatavissa (viitattu 11.9.2023): <https://support.openspace.ai/en/articles/5478411-face-blurring-in-openspace>.

OpenSpace (2023b). Field Notes: OpenSpace mobile app. Verkkosivu. Päivitetty 9.10.2023. Saatavissa (viitattu 16.10.2023): <https://support.openspace.ai/en/articles/2836045-field-notes-openspace-mobile-app>.

OpenSpace (2023c). Measurement tool. Verkkosivu. Päivitetty 6.7.2023. Saatavissa (viitattu 16.10.2023): [https://support.openspace.ai/support/s/article/Measurement-Tool?language=en\\_US](https://support.openspace.ai/support/s/article/Measurement-Tool?language=en_US).

OpenSpace (2023d). OpenSpace. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.9.2023): <https://www.openspace.ai/>.

OpenSpace (2023e). OpenSpace BIM+. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.9.2023): <https://www.openspace.ai/products/bimplus/>.

OpenSpace (2023f). OpenSpace Capture. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 13.9.2023): <https://www.openspace.ai/products/capture/>.

OpenSpace (2023g). Getting started with OpenSpace Track. Verkkosivu. päivitetty 6.10.2023. Saatavissa (viitattu 5.12.2023): [https://support.openspace.ai/support/s/article/Getting-Started-with-OpenSpace-Track?language=en\\_US](https://support.openspace.ai/support/s/article/Getting-Started-with-OpenSpace-Track?language=en_US).

OpenSpace (2023h). OpenSpace in partnership with Skanska and BIMvirtual: The start of a data-driven journey. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.6.2023): <https://www.openspace.ai/resources/case-studies/openspace-in-partnership-with-skanska-and-bimvirtual-the-start-of-a-data-driven-journey/>.

OpenSpace (2023i). OpenSpace introduces new product for BIM technology to be adopted by the field. 8.6.2023. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.9.2023): [https://www.openspace.ai/press-releases/openspace-introduces-new-product-for-bim-technology-to-be-adopted-by-the-field/?utm\\_source=linkedin&utm\\_campaign=openspace-bim-plus-press-release&utm\\_medium=organic-social](https://www.openspace.ai/press-releases/openspace-introduces-new-product-for-bim-technology-to-be-adopted-by-the-field/?utm_source=linkedin&utm_campaign=openspace-bim-plus-press-release&utm_medium=organic-social).

OpenSpace (2023j). OpenSpace Track. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.6.2023): <https://www.openspace.ai/products/track/>.

OpenSpace (2023k). OpenSpace 3D Scanning Demo. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.9.2023): <https://www.openspace.ai/resources/videos/openspace-3d-scanning-demo/>.

OpenSpace (2023l). Taking a capture: Manual 360 photos. Verkkosivu. Päivitetty 23.6.2023. Saatavissa (viitattu 16.10.2023): <https://support.openspace.ai/en/articles/5063826-taking-a-capture-manual-360-photos>.

OpenSpace (2023m). Taking a capture: 360 video. Verkkosivu. Päivitetty 7.7.2023. Saatavissa (viitattu 16.10.2023): <https://support.openspace.ai/en/articles/2476366-taking-a-capture-360-video>.

OpenSpace (2023n). The Tech. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 13.9.2023): <https://www.openspace.ai/the-tech/>.

OpenSpace (2023o). Uploading your 360 video capture – Desktop Sync App. Verkkosivu. Päivitetty 7.7.2023. Saatavissa (viitattu 16.10.2023): [https://support.openspace.ai/support/s/article/Uploading-your-360-Video-capture-Desktop-Sync-App?language=en\\_US](https://support.openspace.ai/support/s/article/Uploading-your-360-Video-capture-Desktop-Sync-App?language=en_US).

OpenSpace (2023p). Walking the project site with OpenSpace. Verkkosivu. Päivitetty 17.6.2023. Saatavissa (viitattu 21.9.2023): <https://support.openspace.ai/en/articles/3564935-walking-the-project-site-with-openspace>.

Paneru, S. & Jeelani, I. (2021). Computer vision applications in construction: Current state, opportunities & challenges. Automation in construction. Vol. 132, 132103940–.

Peltokorpi, A., Lehtovaara, J., Tikka, T., Heinonen, H. & Hänninen, O. (2022). Uusien toimintamallien jalkauttaminen rakentamisessa. Building 2030 osahankkeen loppuraportti. Aalto yliopisto, rakennustekniikan laitos. 3.2.2022. Saatavissa (viitattu 28.6.2023): [https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2022-02/Building2030-Toimintatapojen-muutos-loppuraportti-2022-02-03\\_0.pdf](https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2022-02/Building2030-Toimintatapojen-muutos-loppuraportti-2022-02-03_0.pdf).

Puusa, A & Juuti, P. (2020). Laadullisen tutkimuksen näkökulmat ja menetelmät. Gaudamus Oy. 947 s.

Qureshi, A. H., Alaloul, W. S., Wing, W. K., Saad, S., Musarat, M. A., Ammad, S., & Kineber, A. F. (2023). Automated progress monitoring technological model for construction projects. Ain Shams engineering journal. Vol 14(10), 102165.

Reja, V. K., Varghese, K. & Ha, Q. P. (2022). Computer vision-based construction progress monitoring. Automation in construction. Vol. 138, 104245–.

Remes, J., Mischke, J., & Krishnan, M. (2018). Solving the productivity puzzle: The role of demand and the promise of digitization. International productivity monitor. Vol. 35, s. 28–51.

Roh, S., Aziz, Z. & Peña-Mora, F. (2011). An object-based 3D walk-through model for interior construction progress monitoring. Automation in construction. Vol. 20, s. 66–75.

RT 103239 (2020). Allianssimalli hankkeen toteutusmuotona. Allianssimallin yleiskäytäntö. Rakennustietosäätiö. 18 s.

Salminen, J. (2021). Lean rakentamisessa: Arvoa luovan rakentamisen periaatteet, menetelmät ja työkalut. RIL 276-2021. RIL ry, Helsinki. 255 s.

Seppänen, O. (2020). Digitaalinen tilannekuva mahdollistaa tuottavuusloikan. Rakennuslehti 30.11.2020. Saatavissa (viitattu 2.7.2023): <https://www.rakennuslehti.fi/blogit/digitaalinen-tilannekuva-mahdollistaa-tuottavuusloikan/>.

Seppänen, O., Lappalainen, E., Lehtovaara, J., Reinbold, A., Aikala, A. & Zheng, Y. (2022). Building 2030: Visuaalinen johtaminen ja tilannekuvan käyttö. Loppuraportti. 28.3.2022. Saatavissa (viitattu 28.6.2023): [https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2022-04/Building2030-visuaalinen-johtaminen-ja-tilannekuvan-kaytto\\_1.pdf](https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2022-04/Building2030-visuaalinen-johtaminen-ja-tilannekuvan-kaytto_1.pdf).

Skanska (2023). Skanska lyhyesti. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.6.2023): <https://www.skanska.fi/tietoa-skanskasta/skanska-suomessa/skanska-lyhyesti/>.

Skanska (2022). Digitalisaatio ja innovaatiot. Verkkosivu. Päivitetty 16.12.2022. Saatavissa (viitattu 28.6.2023): <https://www.skanska.fi/tietoa-skanskasta/vastuullisuus/digitaalisaaio-ja-innovaatiot/>.

Talamo, C., & Bonanomi, M. M. (2020). The impact of digitalization on processes and organizational structures of architecture and engineering firms. Research for development, s. 175–185.

Tekla (2023). Tekla BIM Awards Suomi. ASSI – Ahveniston sairaala -allianssi. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.6.2023): <https://www.tekla.com/fi/bim-awards/assi-%E2%80%93-ahveniston-sairaala-allianssi>.

Tilastokeskus (2023). Arvonlisäykseen perustuva työn tuottavuus toimialoittain 1976–2017. Tilastokeskuksen maksuttomat tilastotietokannat. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.6.2023):

[https://statfin.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin\\_Passiivi/StatFin\\_Passiivi\\_tut/statfinpas\\_tut\\_pxt\\_002\\_201700.px/](https://statfin.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin_Passiivi/StatFin_Passiivi_tut/statfinpas_tut_pxt_002_201700.px/).

Turkan, Y., Bosché, F., Haas, C. T. & Haas, R. (2013). Tracking secondary and temporary concrete construction objects using 3D imaging technologies. *Computing in civil engineering*, s. 749–756.

Uvarova, S. S., Orlov, A. K. & Kankhva, V. S. (2023). Ensuring efficient implementation of lean construction projects using building information modeling. *Buildings*. Vol 13, 770.

Xu, M., Li, C., Zhang, S. & Le Callet, P. (2020). State-of-the-art in 360° video/image processing: Perception, assessment, and compression. *IEEE journal of selected topics in signal processing*. Vol. 14(1), s. 5–26.

Yang, J., Park, M.-W., Vela, P. A., & Golparvar-Fard, M. (2015). Construction performance monitoring via still images, time-lapse photos, and video streams: Now, tomorrow, and the future. *Advanced engineering informatics*. Vol. 29, s. 211–224.

Yoon, S.-W., Chin, S., Kim, Y.-S. & Kwon, S.-W. (2006). An application model of RFID technology on progress measurement and management of construction works. 23rd international symposium on robotics and automation in construction. Tokio, Japani. ISARC2006, s. 779–783.

Zhang, X., Bakis, N., Lukins, T. C., Ibrahim, Y. M., Wu, S., Kagioglou, M., Aouad, G., Kaka, A. P. & Trucco, E. (2009). Automating progress measurement of construction projects. *Automation in Construction*. Vol. 18(3), s. 294–301.

Zhong, B., Wu, H., Ding, L., Love, P. E. D., Li, H., Luo, H. & Jiao, L. (2019). Mapping computer vision research in construction: Developments, knowledge gaps and implications for research. *Automation in construction*. Vol. 107, 102919.

Yksilöhaastattelut:

Arkkitehti. AW2-arkkitehdit. Haastattelu 30.10.2023.

Projekti-insinööri. Skanska Talonrakennus Oy. Haastattelu 12.10.2023.

Projektipäällikkö. Sweco Finland Oy. Sähköpostihaastattelu 15.11.2023.

Rakennuttajakonsultti. Rakennuttajatoimisto HTJ Oy. Haastattelu 1.11.2023.

Rakennuttajapäällikkö. Kanta-Hämeen hyvinvointialue Oma Häme. Haastattelu 27.10.2023.

Tuotantoinisinööri. Skanska Talonrakennus Oy. Haastattelu 29.9.2023.

Ryhmähaastattelu:

Aikatauluinsinööri ja urakkavalvoja. Skanska Talonrakennus Oy. Ahveniston sairaala Assi, Osastorakennus. Ryhmähaastattelu 4.10.2023.

Laatuinsinööri. Skanska Talonrakennus Oy. Ahveniston sairaala Assi, Kuuma sairaala. Ryhmähaastattelu 4.10.2023.

Urakkavalvoja. Skanska Talonrakennus Oy. Ahveniston sairaala Assi, Osastorakennus. Ryhmähaastattelu 4.10.2023.



## LIITE A: OPENSOURCE-KUVAAJIEN HAASTATTELUKYSYMYKSET

1. Kerro työtehtävästäsi/roolista Ahveniston sairaala -allianssissa.
2. Kuinka paljon 360°-kuvausten aloittaminen vaati perehtymistä?
3. Paljonko käytät 360°-kuvaukseen aikaa?
  - 3.1. Onko aika riittävä tai viekö kuvaus liikaa aikaa?
  - 3.2. Kierrätkö kuvauksen aikana alueen kattavasti vai jääkö joitain alueita kuvaamatta?
4. Millaisia haasteita olet kohdannut kuvauksia tehdessäsi (esimerkiksi työmaalla liikkumiseen tai teknologiaan liittyen)?
  - 4.1. Kuinka toimivaksi koet OpenSpace-sovelluksen kuvaajan näkökulmasta?
5. Mitä asioita kuvausten organisoinnissa voitaisiin tai pitäisi kehittää?
6. Voitaisiinko kuvaus automatisoida?
  - 6.1. Mitä lisäarvoa automatisoinnilla voidaan saavuttaa?
7. Koetko, että 360°-kuvauksista on konkreettista hyötyä hankkeelle? Miten mahdollinen hyöty ilmenee?

## LIITE B: OPENSPACEN KÄYTTÄJIEN HAASTATTELUKYSYMYKSET

1. Kerro työtehtävästäsi/roolistasi Ahveniston sairaala -allianssissa.
2. Kuinka usein tarkastelet OpenSpacen kuvausmateriaaleja? Millaisissa tilanteissa?
3. Mitä OpenSpacen ominaisuuksia olet hyödyntänyt? (kuvamateriaalin tarkastelu, split view, tietomalli, field notes, LiDAR-skannaus, shared folders, toteumaseuranta, raportit)
  - 3.1. Oletko kokenut käyttämäsi ominaisuudet toimiviksi?
  - 3.2. Kaipaanko OpenSpaceen lisää toiminnallisuuksia, millaisia?
  - 3.3. Jos et ole käyttänyt lainkaan jotain ominaisuutta, miksi?
4. Millaisten näkökulmien hallintaan (esimerkiksi laatu, aikataulu, turvallisuus jne.) koet OpenSpacen soveltuvan?
  - 4.1. Miten kuvanlaatu vaikuttaa tarkasteluun edellä mainituissa näkökulmissa?
  - 4.2. Miten kuvaustiheys vaikuttaa tarkasteluun edellä mainituissa näkökulmissa?
5. Tukevatko viikoittaiset 360°-kuvaukset tahtituotannon seuranta tai ohjausta?
  - 5.1. Voidaanko kuvauksella korvata perinteisiä menetelmiä, kuten työmaakerroksia?
6. Olisiko OpenSpacen yhteentoimivuudessa muiden hankkeessa käytettävien järjestelmien (esim. Congrid, Sokopro) kanssa etua?
  - 6.1. Voidaanko yhteentoimivuuden kehityksellä lisätä käyttöä laadun- tai turvallisuudenhallinnassa?
7. Onko laadukkaasta tietomallista tai 4D-mallista etua OpenSpacen käytössä?
8. Mitkä asiat OpenSpacen käytössä voidaan automatisoida?
  - 8.1. Tuleeko OpenSpacen käytön myötä uudenlaista manuaalista työtä tilalle?
9. Oletko hyödyntänyt muita 360°-kuvauksen tarkasteluun tarkoitettuja ohjelmistoja?
  - 9.1. Millaiset toiminnallisuudet ovat olleet OpenSpaceen verrattuna?
10. Oletko hyödyntänyt muita automatisoituja edistymisen seurannan teknologioita (esim. laserkeilaus)?
  - 10.1. Millaiset toiminnallisuudet olivat 360°-kuvaukseen verrattuna?
11. Koetko, että 360°-kuvauksista on konkreettista hyötyä hankkeelle? Miten mahdollinen hyöty ilmenee?