Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University

Master's Programme in Building Technology

Digitaalisella tiedolla johtaminen korjausrakentamisessa

Alireza Ghassemi

Diplomityö
2022

Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University

Copyright ©2022 Alireza Ghassemi

Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University

Tekijä Alireza Ghassemi

Työn nimi Digitaalisella tiedolla johtaminen korjausrakentamisessa

Koulutusohjelma Master's Programme in Building Technology

Pääaine Construction Management

Vastuuopettaja/valvoja Apulaisprofessori Antti Peltokorpi

Työn ohjaaja(t) Apulaisprofessori Antti Peltokorpi

Yhteistyötaho Building 2030 -hanke

Päivämäärä 31.12.2022 **Sivumäärä** 80+6 **Kieli** Suomi

Tiivistelmä

Korjausrakentamisen suurin haaste piilee epätäydellisissä lähtötiedoissa, jotka muodostavat yllättäviä lisätöitä. Rakennusten lähtötiedoissa esiintyy puutteita, virheitä tai ne puuttuvat kokonaan.

Digitalisaation avulla on mahdollista lisätä tuottavuutta ja vähentää hukan syntymistä korjausrakentamisessa. Diplomityön tavoitteena on luoda digitaalisella tiedolla johtamisen malli korjausrakentamiseen. Se sijoittuu hankkeen suunnittelu- ja toteutusvaiheeseen ja sillä varmistetaan sujuvaa ja tehokasta tiedon virtausta digitaalisia työkaluja hyödyntäen.

Diplomityö toteutettiin suunnittelututkimuksena. Tutkimus koostuu kirjallisuuskatsauksesta, esihaastatteluista ja tapaustutkimuksista sekä Building 2030 –kokouksista. Esihaastatteluissa tutkittiin korjausrakentamisen luonne ja pyrittiin löytämään korjausrakentamisen merkittävimmät haasteet. Tapaustutkimuksissa suoritettiin työmaavierailuja, jonka yhteydessä haastateltiin työmaanjohtoa.

Korjausrakentaminen suoritetaan olemassa olevien lähtötietojen puitteissa. Epätäydelliset lähtötiedot heijastuvat käänteisessä suunnittelussa korjausrakentamisessa, eli alkuperäisen suunnitelman muokkaaminen vastaamaan todellisia rakenteellisia eroavaisuuksia. Diplomityön tuloksena kehitettiin digitaalisella tiedolla johtamisen malli, jonka päämäärä on ehkäistä lisätöiden syntymistä. Mallin perustana toimii BIM –tietomalli ja siihen on hyödynnetty pistepilvi- ja 360 –kuvateknologia. Malli hyödyntää visuaalista hallintaa, kaksisuuntaisia viestintäväyliä ja dokumentoitia sujuvan tiedon virtauksen ja tiedon hallinnan saavuttamiseksi.

Työssä huomattiin, miten pirstaloitunutta työmaan ja suunnittelijaryhmän yhteys on. Työssä korostui digitalisaation ja visuaalisen hallinnan mahdollisuudet tiedon virtauksen varmistamisessa korjausrakentamisessa.

Avainsanat Digitalisaatio, korjausrakentaminen, johtaminen, tiedon virtaus, tiedon hallinta

Author Alireza Ghassemi

Title of thesis Project management with digital information in renovation project

Programme Master's Programme in Building Technology

Major Construction Management

Thesis supervisor Associate professor Antti Peltokorpi

Thesis advisor(s) Associate professor Antti Peltokorpi

Collaborative partner Building 2030 –Program

Date 31.12.2022 **Number of pages** 80+6 **Language** Finnish

Abstract

The major challenge of renovation lies in incomplete initial data of the building. Usually there are either deficiencies in the initial data, errors or they are completely missing.

Digitalization enables increase in productivity and reduces waste in renovation construction. The goal of the master's thesis is to create a comprehensive model for renovation project management utilizing digital information. The model is compiled from existing digital sub-solutions, which takes place in the planning and construction phase of the project ensuring a smooth and efficient information flow using digital tools.

The master's thesis was carried out as a design research. The challenges of renovation construction were investigated with empirical study, and the literature review aimed to map the digital solutions developed for renovation construction. The research consists of a literature review, preliminary interviews and case studies, as well as Building 2030 meetings. The nature of renovation was investigated in the preliminary interviews also the most significant challenges in renovation projects were mapped. In the case studies, parties associated with project management were interviewed.

The renovation construction is carried out within the framework of the existing initial data and documents. Incomplete initial data is reflected in reverse engineering in renovation, i.e. modification of the original plan to reflect real structural differences. Reverse engineering makes renovation construction iterative in nature, where each iteration represents waste and non-value-adding additional work. As a result of the thesis, a comprehensive and digital model was developed for project management in renovation. The goal of the model is to prevent the creation of additional work. The basis of the model is BIM model into which point cloud and 360 image technologies have been integrated into. The model utilizes visual management, two-way communication channels and documentation to achieve a fluent information flow and an efficient information management.

During the research, it was noticed how fragmented the relations between the site and the design team is. The work emphasized the possibilities of digitalization and visual management in ensuring the information flow in renovation.

Keywords Digitalization, renovation, management, information flow, information management

Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University

Sisällys

Esipuhe 9
Lyhenteet 10
1 Johdanto 11
1.1 Tausta 11
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset 12
1.3 Tutkimusmenetelmät 12
2 Kirjallisuustutkimus 14
2.1 Digitalisaatio 14
2.1.1 Digitalisaatio rakentamisessa 16
2.1.2 Digitalisaation mahdollisuudet 17
2.2 Digitaaliset ratkaisut ja työkalut korjausrakentamisessa 19
2.2.1 Korjaus- ja uudisrakennusprojektien välinen ero 19
2.2.2 Fyysiset tiedonkeruutyökalut korjausrakentamisessa 20
2.2.3 Ohjelmistoratkaisut 23
2.2.3.1 Pistepilven luonti 23
2.2.3.2 BIM 23
2.3 Digitaalisella tiedolla johtaminen korjausrakennushankkeen eri vaiheissa 25
2.3.1 Esisuunnittelu 25
2.3.2 Suunnitteluvaihe 29
2.3.3 Toteutusvaihe 31
2.3.3.1 Suunnittelijaryhmä ja työmaa 31
2.3.3.2 Tietomallin hyödyntäminen työmaalla 33
2.3.4 Digitaalisen tiedon kriittisyys korjaushankkeen eri vaiheissa 35
2.4 Tiedon virtaus korjausrakentamisessa 37
2.4.1 Viestintä ja digitalisaatio 37
2.4.2 Tilannetietoisuus ja visuaalinen hallinta 39
2.4.3 Tiedon virtauksen rikkaus ja tehokkuus 40
3 Empiirinen tutkimus 42
3.1 Digitaalisten työkalujen käytön lähtötilanne korjaushankkeissa 42
3.1.1 Tietomallien käyttö korjaushankkeessa 42

3.1.2 Digitaaliset tiedonkeruutyökalut rakennuksen olosuhteiden ja lähtötietojen selvittämisessä 43
3.1.3 Lähtötietojen yhdistäminen korjaushankkeen tietomalliin ja työnkulkuun 44
3.1.4 Riskien minimointi paremmilla digitaalisilla työkaluilla 45
3.1.5 Esteet digitalisuuden hyödyntämisessä korjaushankkeissa 46
3.1.6 Digitaalisella tiedolla johtaminen korjausrakentamisessa ja digitaalinen kaksonen 48
3.1.6.1 Digitaalinen kaksonen ja korjausrakentaminen 48
3.1.7 Digitaalisella tiedolla johtaminen korjausrakentamisessa ja konevuokraus 49
3.1.7.1 360 asteen skannauspalvelu 49
3.1.8 Digitaalisella tiedolla johtaminen korjausrakentamisessa ja materiaalitoimitus 50
3.1.8.1 Materiaalitoimitus ja tiedon virtaus 51
3.2 Tapaustutkimusten tulokset 52
3.2.1 Korjaushanke A 52
3.2.2 Korjaushanke B 53
3.2.3 Korjaushanke C 55
3.2.4 Korjaushanke D 57
3.2.5 Korjaushanke E 60
3.3 Empiirisen tutkimuksen yhteenveto 62
4 Digitaalisella tiedolla johtamisen malli korjausrakentamiseen 64
5 Tulosten pohdinta 71
5.1 Kehitetyt digitaaliset ratkaisut ja työkalut korjausrakentamiseen 72
5.2 Digitaalisella tiedolla johtaminen korjausrakentamisessa 73
5.3 Digitaalisen tiedon tarpeellisuus korjausrakentamisessa 74
5.4 Tiedon virtauksen varmistaminen korjausrakennushankkeessa 75
6 Johtopäätökset ja yhteenveto 78
6.1 Johtopäätökset 78
6.2 Tutkimuksen luotettavuus 80
6.3 Jatkotutkimusaiheet 80
Lähteet 82

Esipuhe

Vihdoin opinnot tulevat päätökseen tällä diplomityöllä. Taakse olen jättänyt pitkän matkan, mutta edessä odottaa vielä pitempi matka.

Kiitän Antti Peltokorpea työni ohjauksesta sekä opinto-ohjauksesta koko opiskeluni ajan. Kiitän Hishamia, Roopea ja Krishnaa sekä Building 2030 –hankkeen yrityksiä erinomaisesta yhteistyöstä. Kiitän myös erityisesti perhettäni ja ystäviäni jokapäiväisestä tuesta. Kiitän myös itseäni, että olen aina pitänyt pääni pystyssä erityisesti vaikeimpina aikoina.

Vantaalla 24.1.2023

Alireza Ghassemi

Lyhenteet

As-built data	Todellisiin rakenteisiin pohjautuva tieto
As-designed data	Pohjapiirrustuksiin pohjautuva tieto
BIM	Tietomalli (Building Information Model)
BPM	Liiketoimintaprosessien mallinnus (Business process modeling)
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu (Computer-aided-Design)
IoT	Esineiden internet (Internet of Things)
Lean	Lean johtamisfilosofia
LVI	Lämpö-, vesi-/viemäri- ja ilmastointisuunnittelu
MBS	Tietomallinositus (Model Breakdown Structure)
PTS	Pitkän tähtäimen suunnitelma
VR	Virtuaalitodellisuus (Virtual Reality)
WBS	Työnositus (Work Breakdown Structure)

1 Johdanto

1.1 Tausta

Korjausrakentamisen merkitys yhteiskunnassa kasvaa jatkuvasti vuosi vuodelta. Lainsäädännössä rakennustekniset edellytykset muuttuvat, minkä vuoksi rakentamista päivitetään noudattamaan energiapoliittisia vaatimuksia. Markkinoiden uudet taloudellisesti kannattavammat talotekniset ratkaisut houkuttavat kiinteistön omistajia tekemään korjausinvestointeja. Rakennukset tarvitsevat jatkuvasti säännöllistä korjaus- ja kunnossapitoa.

Vaikka korjausrakentaminen on kasvava liikeala, siihen ei kuitenkaan ryhdytä yhtä helposti kuin uudisrakentamiseen. Korjausrakentamisen keskeisin ero uudisrakentamiseen on se, että korjausrakentaminen toteutetaan olemassa olevien lähtötietojen puitteissa, missä myöskin piilee korjausrakentamisen merkittävin haaste, lähtötietojen luotettavuus. Korjausrakentamista tehdään tyypillisimmin vanhoille rakennuksille, joiden pohjapiirustukset on piirretty paperille.

Vanhojen rakennusten lähtötiedot ovat heikosti saatavissa ja yleensä epätarkkoja, mikä muuttaa korjausrakentamisen hankkeen luonnetta iteroivaksi. Tässä iteraatiolla viitataan käänteiseen suunnitteluun eli purun jälkeen alustavista suunnitelmista poikkeavat rakenteet ja detaljit päivitetään toteutusvaiheessa alustavaan suunnitelmaan, esimerkiksi digitaaliseen tietomalliin. Parhaimmassa tapauksessa rakenne tai detalji vastaa suunnitelmia eikä suunnitelmien päivitystä tarvita ja pahimmassa tapauksessa suunnitelmia joudutaan päivittämään useampaan kertaan. Suunnitelmien päivitys hankkeen toteutusvaiheella syventää entistä enemmän työmaan ja suunnittelijaryhmän yhteistyötä ja tekee siitä hankkeen onnistumisen kannalta merkittävän.

Digitalisaation avulla on mahdollista lisätä tuottavuutta ja vähentää hukan syntymistä korjausrakentamisessa. Korjausrakentamisen aikana, hankkeessa tapahtuva tyypillinen iteraatio laskee hankkeen tuottavuutta, sillä jokainen iteraatiokierros on vain lisätyötä tuottamatta mitään rahallista arvoa hankkeelle. Rakennusteollisuudessa lisääntyvä kilpailu ja rakennusyritysten haasteet yhdessä tieto- ja viestintäteknologian nopean kehityksen kanssa edellyttävät alaan liittyvien liiketoimintaprosessien digitalisointia. Stoyonovan (2020) mukaan rakennusalan digitalisaatio vähentää merkittävästi rakentamisen riskejä ja parantaa infrastruktuurihankkeiden rahoituskelpoisuutta sekä parantaa niiden elinkelpoisuutta ja kiinteistön elinkaarta.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tässä diplomityössä tutkitaan digitaalisella tiedolla johtamista korjausrakentamisessa. Työn tavoitteena on kehittää kokonaisvaltainen digitaalisella tiedolla johtamisen malli korjausrakentamishankkeeseen. Kokonaisvaltainen malli koostetaan olemassa olevista digitaalisista osaratkaisuista. Se sijoittuu hankkeen suunnittelu- ja toteutusvaiheeseen ja sillä varmistetaan sujuvaa ja tehokasta tiedon virtausta digitaalisia työkaluja hyödyntäen.

Diplomityölle on luotu neljä tutkimuskysymystä, joihin vastaaminen antaa parempaa ymmärrystä korjausrakentamisen luonteesta ja haasteista, jotka ohjaavat työtä oikeaan suuntaan päätavoitteen saavuttamiseksi.

1) Mitä digitaalisia ratkaisuja ja työkaluja on kehitetty korjausrakentamiseen?
2) Miten digitalisaatiota on hyödynnetty korjausrakentamishankkeen eri vaiheissa?
    2a. Digitaalisen tiedon hyödyntämisen merkitys korjausrakentamisessa?
3) Miten digitalisaatiota hyödyntämällä voidaan varmistaa tiedon virtaus korjausrakentamisessa?

Diplomityön kirjallisuuskatsaus kattaa kaikkia kansainvälisiä digitaalisia ratkaisuja ja työkaluja. Empiirinen tutkimus keskittyy Suomessa toimivien yritysten käytäntöihin ja haasteisiin mitä erityisesti kohdataan Suomessa. Työssä tutkitaan, että miten digitaalista dataa voitaisiin hyödyntää korjaushankkeen esisuunnittelu-, suunnittelu- ja toteutusvaiheeseessa. Digitaalisella datalla viitataan kohteesta kerättyyn dataan.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Diplomityön tutkimusmuoto on suunnittelututkimus. Eskolan (2005) mukaan, suunnittelututkimuksen tulos pyrkii tavoittamaan tiettyjä tuloksia ja tavoitteita, olettaen ideaalista olosuhdetta tavoitteen saavuttamiseksi.

Suunnittelututkimus voi lisätä käytännön merkitystä. Suunnittelututkimuksella voidaan rakentavat yhä toimivampia ja tehokkaampia lähestymistapoja käytäntöihin, joiden vaikutusta tukevien periaatteiden selkeyttäminen paranee. (Collins ym. 2004). Suunnittelututkimuksen toinen motiivi liittyy tieteellisiin tavoitteisiin. Suunnittelututkimuksen tavoitteena on suorien käytännön sovellusten ja käytäntöjen vaikutusten ohella kehittää empiiriseen tutkimukseen pohjautuvia teorioita perinpohjaisella oppimisprosessilla ja sitä tukevien keinojen avulla. (diSessa ja Cobb 2004).

Työn kirjallisuustutkimuksessa pyritään selvittämään mitä digitaalisia ratkaisuja ja työkaluja on kehitetty korjausrakentamiseen sekä selvittää digitalisaation mahdollisuudet korjausrakentamisessa. Kirjallisuustutkimus muodostaa viitekehyksen työn empiiriselle tutkimukselle. Kirjallisuustutkimuksella pyritään vastaamaan empiirisessä tutkimuksessa esiintyviin haasteisiin.

Työn empiirinen osuus jakautuu esihaastatteluihin ja tapaustutkimuksiin. Esihaastatteluun kutsutut henkilöt työskentelevät korjausrakentamisen projektijohdon, työmaanjohdon ja suunnitteluohjauken tehtävissä. Esihaastatteluun osallistuvat yritykset edustavat Suomessa toimivia rakennusteollisuuden yrityksiä, kuten rakennusliikkeitä ja konsulttiyrityksiä. Lisäksi, haastatteluihin osallistuvat myös materiaalitoimittaja, konevuokraamo ja rakennetun ympäristön digitalisaatioon keskittyvä yritys.

Empiirisen tutkimuksen esihaastattelut järjestetään Microsoft Teamsin välityksellä ja ne nauhoitetaan, jotta voidaan tarkentaa haastatteluissa tehtyjä muistiinpanoja. Building 2030 hankkeessa osallistuville yrityksille lähetetään sähköpostitse kutsu esihaastatteluun, jota he voivat vahvistaa tai hylätä. Kutsuviestissä kerrotaan lyhyesti, mitä teemoja esihaastattelu käsittelee, joita haastateltavat voisivat etukäteen pohtia. Building 2030 hankkeen yhteydessä pidetään palavereja etänä tai hybridi-muodossa, joissa saadaan diplomityölle rakentavaa palautetta ja ohjausta Building 2030 hankkeeseen osallistuneilta yrityksiltä.

Esihaastattelujen päälimmäinen tavoite on tunnistaa yleiset haasteet liittyen korjausrakentamiseen, korjausrakentamisen digitalisaatioon ja tutkia digitalisaation mahdollisuutta ratkaista korjausrakentamisen haasteet. Toisaalta, tapaustutkimukset keskittyvät varsinaisten haastattelujen ja dokumentoinnin lisäksi myös havannointiin työmaalla.

Building 2030 –hankkeessa osallistuville yrityksille ilmoitettiin esihaastattelujen jälkeen halusta suorittaa tapaustutkimuksia vierailemalla heidän korjauskohteilla. Tapaustutkimusten valinta tapauhtui tarjonnan mukaan. Yrityksistä tarjottiin yhteensä viisi korjauskohdetta, joita käytiin tutkimassa ja joista suppein hanke oli koulurakennuksen peruskorjaus ja laajennus. Diplomityön päätavoitteen toteuttamisen kannalta on tärkeää tutustua eri tyyppisiin korjauskohteisiin, koska niissä esiintyvät korjausrakentamisen keskeisten haasteiden lisäksi myös hankekohtaiset olosuhteet ja niiden edellyttämät haasteet. Tapaustutkimuksen päätavoitteena on itse haastattelun ja sen dokumentoinnin lisäksi pyrkiä observoimaan työmaan dynamiikkaa ja havannoimaan asioita, joita ei suoranaisesti haastattelemalla voida oivaltaa. Tapaustutkimuksissa annetaan haastateltaville vapaa muotoinen puheenvuoro kertoa hankeen arjesta.

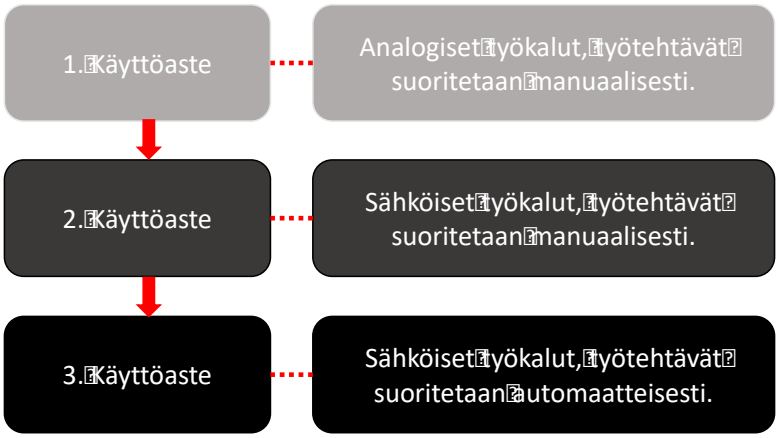
2 Kirjallisuustutkimus

Tässä luvussa käsitellään käsitettä digitalisaatio, miten digitalisaatiota määritetään rakentamisessa ja miten sitä hyödynnetään nykypäivänä korjausrakentamisessa. Oleellista on myöskin selvittää, missä korjaushankkeen vaiheessa sen hyödyntäminen olisi kriittisintä.

2.1 Digitalisaatio

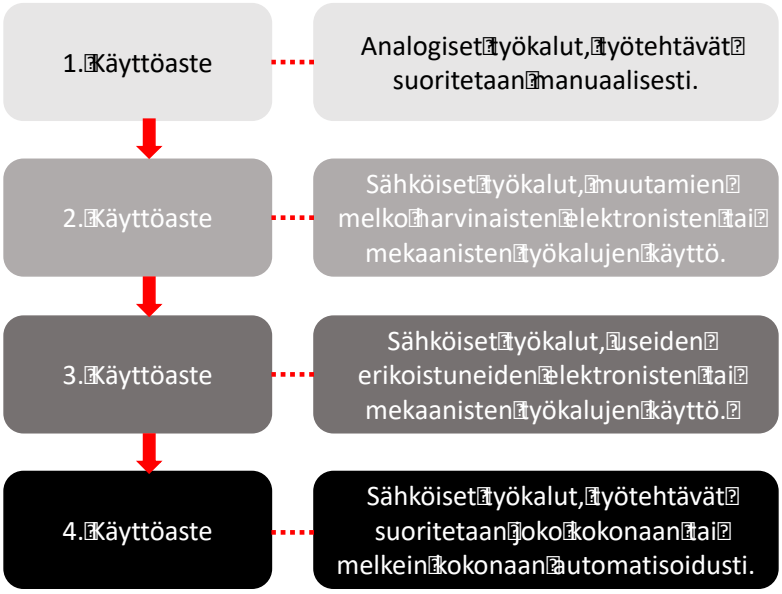
Digitalisaatio on ilmiö, jossa analogista dataa muutetaan digitaaliseksi kieleksi, joka puolestaan voi parantaa asiakkaiden ja yritysten välisiä liikesuhteita tuoden lisäarvoa koko taloudelle ja yhteiskunnalle (Reis ym. 2020). Parviainen ym. (2017) tarkentavat, että digitalisaatio toteutuu, kun analoginen data, kuten esimerkiksi fyysistä kuvamateriaalia ja fyysistä asiakirjaa muutetaan digitaaliseen muotoon. Digitalisaation päämääränä on hyödyntää digitaalisia teknologioita ja dataa luomaa tuloja, parantamaan liiketoimintaa, korvata tai muuntaa liiketoimintaprosesseja sekä luoda ympäristö digitaaliselle liiketoiminnalle, jossa digitaalinen tieto toimii ytimenä (Reis ym. 2020).

Keskeistä on ymmärtää, miten digitalisaation tarkoitus on muuttunut vuosien varrella, jotta voidaan ymmärtää mihin nykyajan digitalisaation käsitys pohjautuu. O'Connor ym. (1999) kehittivät automaatio- ja integraatiotoimenpiteitä, jotka perustuvat kolmeen teknologian käyttöasteeseen. Ensimmäinen käyttöaste ei sisällä sähköisiä työkaluja työtehtävien suorittamiseen, toisessa käyttöasteessa on käytössä sähköisiä työkaluja, joilla työtehtävät suoritetaan manuaalisesti. Kolmannessa käyttöasteessa on käytössä täysin automatisoitu järjestelmä työtehtävien suorittamiseksi. (Sezer ym. 2021).



Kuva 1. Automaatio- ja integraatiotoimenpiteet perustuen kolmeen teknologiseen käyttöasteeseen. (O'Connor ym. 1999).

Reilu kymmenen vuotta myöhemmin, Yang (2008) käytti neljää käyttöastetta arvioidakseen automaatioastetta. Yang (2008) lisäsi yhden teknologisen käyttöasteen O'Connor ym. (1999) kehittämään kaavaan (kuva 1). Yang (2008) jakoi kuvan 1. mukaista toisen tason käyttöasteen kahteen eri käyttöasteeseen, kuten kuvassa 2. on esitetty.



Kuva 2. Yang (2008) kehittämät automaatio- ja integraatiotoimenpiteet, jotka perustuvat neljään eri teknologiseen käyttöasteeseen.

Ensimmäisessä käyttöasteessa ei käytetä elektronisia tai mekaanisia työkaluja. Tehtävän suorittaminen on työvoimavaltaista ja vaatii vähäistä koneellistamista. Toisessa käyttöasteessa käytetään melko harvinaisia sähköisiä tai mekaanisia työkaluja. Prosessit hallitaan manuaalisesti ja työehtävien suorittaminen vaatii vähäistä koneellistamista. Kolmannessa käyttöasteessa on useita erikoistuneita sähköisiä tai mekaanisia työkaluja. Tehtävän suorittaminen sisältää enemmän koneistumista. Neljännessä käyttöasteessa hyödynnetään täysin tai melkein täysin automatisoituja järjestelmiä, jotka hallitsevat itsenäisesti tehtävien suorittamista. (Yang 2008).

Edellä mainitut käyttöasteet perustuvat asteikkoon, jossa tehtävät sijoitetaan manuaalisesti suoritettuihin tehtävien ja täysin automaation suorittamien tehtävien välille. Ensimmäinen käyttöaste ei sisällä sähköisiä työkaluja toiminnan suorittamiseen, toinen käyttöaste sisältää jonkin verran sähköisten työkalujen käyttöä ja viimeinen käyttöaste sisältää täysin automatisoidut järjestelmät toiminnan suorittamiseksi. (Sezer ym. 2021).

2.1.1 Digitalisaatio rakentamisessa

Nykypäivänä elämme digitalisaation aikakautta ja rakennusteollisuus on osa digitaalista muutosta. Teknologiatoimittajat ja rakennusyritykset esittävät ja ottavat käyttöön jatkuvasti uusia digitaalisia teknologioita. (Sezer ym. 2021).

Tästä huolimatta rakennusteollisuutta pidetään yhtenä digitaalisesti vähiten kehittyneistä toimialoista digitaalisten hyödykkeiden ja niiden käytön suhteen sekä se sijoittuu maatalouden ja metsästyksen kanssa viimeiselle sijalle, 22 alan digitalisaatioasteen tilastossa (Gandhi ym 2016). Rakennusalan digitalisaation painopiste on lisääntynyt nopeasti viimeisen vuosikymmenen aikana, mutta tulevina vuosina on odotettavissa merkittäviä muutoksia (Stoyanova 2020).

Digitalisoitu rakentaminen, kuten rakennustietomallien ja esivalmistettujen elementtien hyödyntäminen on noussut nykypäivänä yhdeksi hyödyllisimmistä työkaluista, jolla voidaan minimoida iteratiivista uudelleentyöstöä ja lisätyötä (Gebert ym. 2016). Yhdysvaltalaisen rakennustieteiden instituutin NIBS (2016) mukaan, rakennustietomalli määritellään seuraavasti: "jaettu tietoresurssi rakennuksesta, joka muodostaa luotettavan perustan päätöksenteolle rakennuksen elinkaaren aikana, varhaisimmasta suunnitteluvaiheesta purkamiseen asti”. Täten, projektitiedot integroidaan ohjattuun virtuaaliseen tietomalliympäristöön, näin tilaaja ja projektin muut sidosryhmät saavat visuaalisen kuvan lopputuloksesta. (Ding ym. 2019). Visuaalinen hallinta tarjoaa tietoa yhdellä silmäyksellä ja tarjoaa nopean ja oikean käsityksen tilanteesta, mikä auttaa ehkäisemään uusia muutoksia sekä uudelleentyöstöä (Greif 2017 ja Ding ym. 2019). Tähän mennessä tietomallinnus on tehostanut huomattavasti yhteistyötä ja reaaliaikaista tiedonvaihtoa hankkeen ensisijaisten sidosryhmien, kuten suunnittelijoiden, projektipäällikön ja urakoitsijoiden välillä. (Ding ym. 2019). Perinteiseen piirustustapaan verrattuna tietomallilla on monia etuja, kuten visualisointi, koordinointi, simulointi ja optimointi (Fischer ym. 2014). Digitaalisten teknologioiden ja prosessien kehittäminen ja niiden käyttöönotto ovat keskeisiä asioita tuottavuuden parantamisessa (Barbosa ym. 2017). Tällaiset innovaatiot tarjoavat uusia toimintoja arvoketjussa kiinteistön varhaisesta suunnitteluvaiheesta sen elinkaaren loppuun saakka (Sezer ym 2021).

Stoyanova (2020) esitti kahta eri tapaa, joilla voidaan lähestyä digitalisaatiota. Ensimmäinen lähestymistapa on nimeltään ylhäältä alas eli Top-Bottom ja toinen lähestymistapa on alhaalta ylös eli Bottom-Top –lähestymistapa. Top-Bottom –lähestymistavassa digitalisaatioon liittyy liiketoimintamallin muutos. Tällöin digitalisaatio on yritystasoinen ja se kohdistuu lähinnä yrityksen pitkän aikavälin visioon. Toisaalta, alhaalta ylös eli Bottom-Top –lähestymistapa on sovellettavissa projektitasolla, ja siinä digitalisaatio kohdistuu pieniin tai keskisuuriin aloitteisiin.

2.1.2 Digitalisaation mahdollisuudet

Stoyanova (2020) mukaan digitalisaation mahdollisuudet yrityksessä voidaan jakaa viiteen ryhmään seuraavasti:

1. Johtajuus – digitaalisia taitoja omaksuva johtoryhmä,
2. Digitaaliset kyvyt – työvoiman digitaalisten pätevyyksien ja taitojen varmistaminen,
3. Uudet käytännöt – tukea uusia käyttäytymistapoja ja työmenetelmiä yrityksessä työntekijöiden välillä,
4. Digitaaliset työkalut – omaksua, standardisoida ja hyödyntää uusia digitaalisia työkaluja yrityksessä ja
5. Henkilösuhteet – säännöllisen ja tehokkaan kommunikoinnin varmistaminen. Yhteistyön edistäminen perinteisin ja digitaalisin menetelmin.

Kirjallisuudessa digitalisaatiota tutkitaan pääosin toimiala- ja yritystasolla kuin projektitasolla. Rakennusala on kuitenkin projektipohjaista, eivätkä yritys- ja toimialatason mallit ole riittävän hienojakoisia tunnistamaan projektitason digitalisaation hyötyjä. (Stoyanova 2020). Sezer ym. (2021) suorittivat Ruotsissa tutkimuksen, jonka tavoitteena oli määrittää mitä digitalisoitavia toimintoja on olemassa rakentamisessa ja lajitella ne tärkeysjärjestykseen. Kyselyn vastaajat pisteyttivät toiminnot seuraavien ominaisuuksien perusteella;

- U = Toiminta on hyödyllistä digitalisoida; digitalisaatio mahdollistaa tehtävien nopeamman suorittamisen ja parantaa tuottavuutta suhteessa perinteiseen työskentelyyn
- E = Toiminta on helppo digitalisoida; helppo toteuttaa, käyttää ja oppia suhteessa perinteisiin työskentelytapoihin
- P = Eri sidosryhmät painostavat toiminnan digitalisointia (sosiaalinen paine); tilaaja, alihankkijat, tavarantoimittajat tai muut yrityksen jäsenet (kuten kollegat ja johto) vaativat joidenkin toimintojen digitalisoimista
- C = Suotuisat olosuhteet toiminnan digitalisoimiseksi (organisaatiotuki, koulutus/osaaminen, IT-infrastruktuuri); olemassa oleva digitalisaation edellyttämä organisatorinen tietämys ja tekninen infrastruktuuri.

Taulukko 1. 27 digitalisoituvaa toimintoa pisteytetyssä järjestyksessä. (Sezer ym. 2021).

Taulukko 1.	27 digitalisoituvaa toimintaa pisteytetyssä tärkeysjärjestyksessä					
Toiminnat	**U**	**E**	**P**	**C**	**Yhteensä**	**Sija**
Työmaapiirustusten ja 3D-mallien visualisointi	283	206	230	260	979	1.
Piirustusten, mallien ja järjestelmäasiakirjojen päivitys	148	160	170	187	665	2.
Aika- ja resurssisuunnitelmien päivitys	158	109	136	150	553	3.
Työjärjestelysuunnitelmien luonti ja päivitys	118	192	61	173	544	4.
Työmaapäiväkirjan ylläpito	31	216	61	99	407	5.
Projektiasiakirjojen keräys, päivitys ja tallennus	97	91	83	68	339	6.
Tilaajan kanssa tehtyjen sopimusten päivitys ja niiden noudattamisen seuranta	65	44	139	67	315	7.
Onnettomuuksien seuranta ja raportointi	47	82	100	74	303	8.
Poikkeamisten seuranta ja hallinta	55	61	110	74	300	9.
Laatutarkastukset ja niiden tallennus	78	41	87	63	269	10.
Rakennusmiesten työtuntien seuranta	69	27	82	41	219	11.
Projektin edistymisen seuranta ja hallinta	63	79	24	52	218	12.
Materiaalien ja palvelujen tilaus	60	55	51	46	212	13.
Materiaalimääräluetteloiden luonti	60	75	9	67	211	14.
Materiaalien ja laitteiden tilausseuranta	49	20	22	52	143	15.
Toimituksen seuranta ja lähetysluetteloiden käsittely	35	43	23	30	131	16.
Turvallisuustiedotteet ja koulutus henkilöstölle	35	26	23	31	115	17.
Rakennusmiesten tehtävien luonti, priorisointi ja allokointi	56	12	5	37	110	18.
Tavaratoimittajien ja alihankkijoiden kanssa tehtyjen sopimusten päivitys ja noudattamisen seuranta	30	14	55	11	110	19.
Tiedonvälitys rakennusprojektien ja yritysten kanssa	23	21	26	27	97	20.
Projektin rakennusmiesten oikean asiantuntemuksen varmistaminen	18	39	28	10	95	21.
Projektinaikaista jätehuollon parantaminen ja seuranta	11	45	13	12	81	22.
Alihankkijoiden edistymisen ja maksujen seuranta	27	11	38	1	77	23.
Rakennusprojektin ympäristövaikutuksen raportointi	7	1	48	19	75	24.
"Ongelma-ratkaisu" menetelmän toteutus työmaalle	35	0	17	20	72	25.
Henkilökunnan ja vierailijoiden paikannus työmaalla ja suojavarusteiden seuranta	7	23	26	14	70	26.
Projektinaikaisen energiankulutuksen seuranta ja parantaminen	0	0	22	12	34	27.

Huom. U=Hyödyllisyys; E=Helppokäyttöisyys; P=Eri sidosryhmien painostamat; C=Olosuhteiden sallima.

Tuloksista nähdään, että työmaapiirustusten ja 3D-mallien visualisointi on hyödyllisin toiminto digitalisoida, se on myös toiseksi helpoin toteuttaa ja siihen löytyvät haastateltuilta yrityksiltä merkittävät edellytykset. Toiseksi sijoittui piirustusten, mallien ja järjestelmäasiakirjojen päivitys ja kolmantena aika- ja resurssisuunnitelmien päivitys. Edellä mainitut toiminnot ovat kyselyssä ainoat toiminnot, jotka saivat jokaisista ominaisuuksista yli 100 pistettä. (Sezer ym. 2021)

Sezer ym. (2021) kehittivät rakennustoiminnan digitalisaatioasteen arvioinnin pohjautuen kuvissa 1. ja 2. esitettyihin teknologian käyttöasteen malleihin. Digitalisaatioasteita on kolme ja ne on määritetty seuraavista neljästä tiedonhallinnan toiminnoista, jotka ovat 1) tiedonkeruu, 2) tiedon tallentaminen, 3) tiedon analysointi ja sen 4) jakaminen muille sidosryhmille. Ensimmäisessä

käyttöasteessa tietoa käsitellään, tallennetaan, analysoidaan ja jaetaan manuaalisesti analogisessa muodossa. Toisessa käyttöasteessa tietoa käsitellään digitalisesti, mutta toimenpiteet tapahtuvat manuaalisesti. Kolmannessa käyttöasteessa tieto liikkuu digitalisesti ja toimenpiteet tapahtuvat automaattisesti.

Taulukko 2. Rakennustoiminnat kuten tiedonkeruu ja tiedonhallinta digitalisaatiokäyttöasteittain. (Sezer ym. 2021).

Taulukko 2.	Rakennustoiminnan digitalisaatioasteen arviointi			
Digitalisaatio-käyttöaste	**Tiedonkeruu**	**Tiedon tallentaminen**	**Tiedon analysointi**	**Tiedon raportointi**
1. Käyttöaste	**Manuaaliset tarkastukset**	**Paperille**	**Paperille**	**Paperille**
2. Käyttöaste	**Digitalisoituja tarkastuksia, mutta edellyttää käyttäjän tulkintaa**	**Digitalisoitu manuaalisesti**	**Manuaalisesti ohjelmistolla**	**Digitalisoitu mutta manuaalisesti jaettu**
3. Käyttöaste	**Digitalisoitu, ei edellytä käyttäjän tulkintaa**	**Digitalisoitu automaattisesti**	**Automaattisesti ohjelmistolla**	**Automatisoitu**

2.2 Digitaaliset ratkaisut ja työkalut korjausrakentamisessa

Tällä luvulla tutkitaan mitä korjausrakentamiseen kehitettyjä digitaalisia työkaluja on olemassa. Luvulla käsitellään digitaalisten työjalujen käyttö ja mahdollisuudet sekä haasteet. Työkalut on jaettu fyysisiin työkaluihin ja ohjelmistoratkaisuihin.

2.2.1 Korjaus- ja uudisrakennusprojektien välinen ero

Korjaus- ja uudisrakennushankkeilla on suunnitteluvaiheessa erilaisia piirteitä. Merkittävin parametri on lopullisten suunnitteluvalintojen ennakoimaton luonne. Suunnittelutehtävät tulee suorittaa aktiivisesti ylläpitäen kommunikaatiota purkutöiden, työmaatoiminnan ja korjausrakentamisen aikana. Korjausrakentamisen kohteiden jatkuvasti muuttuva tila vaikeuttaa suunnitteluratkaisujen esittämistä kokonaan digitaalisessa CAD-muodossa. Lisäksi, peruskorjaushankkeiden epänortogonaaliset geometriset muodot ja monimuotoisuudet ovat monimutkaisia geometrioita sekä hitaammin soveltavissa CAD:iin. (Rajala & Penttila 2006).

Volk ym. (2014) mukaan kun korjausrakentamiskohteita verrataan uudiskohteisiin, monilta olemassa olevilta rakennuksilta puuttuvat lähtötiedot tai niitä ei ole päivitetty tai sitten kohteesta löytyy ainoastaan hajanaista rakennustietoa. Nämä puutteet voivat johtua riittämättömästä projektinhallinnasta, epävarmuuksista eri projektivaiheissa, ajanhukasta tai kustannusten noususta peruskorjaus- tai kunnostusprosesseissa. (Volk ym. 2014 ja Ding ym. 2019). Rakennusprosessien rajoitetusta päivittämisestä johtuen, olemassa olevista rakennuksista puuttuvat usein rakennuksen tarkat lähtötiedot tai muita tärkeitä asiakirjoja, mitkä johtavat

rajoitettuun tietomallin hyödyntämiseen korjaushankkeissa. (Volk ym. 2014 ja Raja & Fernandes 2007).
Peruskorjaushankkeisiin liittyy useita riskejä ja epävarmuustekijöitä, jotka poikkeavat uudisrakentamisen riskeistä ja epävarmuustekijöistä, jotka vaikuttavat korjausrakentamishankkeen tehokkuuteen. Korjausrakentamisen osalta tiedetään, että hankkeessa esiintyy haasteita, joita ei esiinny uudisrakentamiseen ja jotka johtuvat olemassa olevan rakennuksen edellyttämistä vaatimuksista ja rajoitteista. Uudisrakentamisessa BIM-tietomalli voidaan integroida jo suunnitteluvaiheessa eikä ole lainkaan lähtötietoja, joita tulisi tallentaa tai päivittää. Näin ollen, prosessin alussa kerättävän tiedon määrä on pienempi verrattuna korjausrakentamiseen. (Elagiry ym. 2019).

Elagiry ym. (2019) suorittivat empiirisen tutkimuksen liittyen BIM-tietomallien haasteisiin. Tietomallin työkalujen teknisiin rajoituksiin liittyen, suurin osa haastateltuista koki tietomallin soveltuvan vain uudisrakentamisen ja suuriin peruskorjaustöihin, sillä työkalujen monimutkaisuus ja mallin luomiseen ja ylläpitoon käytetty aika eivät ole perusteltuja pienissä korjaustöissä. (Elagiry ym. 2019).

2.2.2 Fyysiset tiedonkeruutyökalut korjausrakentamisessa

Korjausrakentamiseen kehitetyt fyysiset digitaaliset työkalut ovat pääosin mittaustyökaluja, joita on suunniteltu selvittämään olemassa olevan rakennuksen rakenteelliset lähtötiedot. Fyysisiä laserskannereita käytetään saneerattavan rakennuksen mitoitukseen. (Tang ym. 2010).

Korjausrakentamisessa käytetyt tiedonkeruutekniikat, joita käytetään rakennuksen lähtötietojen selvittämiseen, voidaan jakaa kahteen pääryhmään: automaattiseen ja manuaaliseen tekniikkaan (Volk ym. 2014). Automaattiseen tekniikkaan kuuluvat fotogrammetria ja laserskannaus, kun taas manuaaliseen tekniikkaan kuuluvat perinteinen mittanauha ja laseretäisyysmittarit. Digitaalisessa fotogrammetriassa sovelletaan staattisiin kuviin kolmiulotteista pistepilveä. Laserskannerit toimivat siten, että usean vahvistetun valon pisteellä voidaan mitata skannerin etäisyyttä kohteesta. Mittanauhoilla mitataan perinteisellä tavalla esineiden välistä etäisyyttä. Laseretäisyysmittarit lähettävät laservalopulssin kohteeseen ja mittaavat ajan, joka kuluu lasersäteen heijastuksen palaamiseen ja sen avulla laskevat kohteen etäisyyttä. Taulukossa 3. on lyhyt vertailu rakennuksissa ja rakennustyömailla käytettävistä tiedonkeruutekniikoista. (D’Angelo ym. 2022).

Taulukko 3. Eri tiedonkeruumenetelmien suhteellinen vertailu. (D'Angelo ym. 2022).

Taulukko 3.	**Eri tiedonkeruumenetelmien suhteellinen vertailu**			
	Automaattinen		**Manuaalinen**	
	Kuvamittaus	**Laserskannaus**	**Mittanauha**	**Laaseretäisyys mittari**
Tarkkuus	**korkea**	**korkea**	**kohtalainen**	**korkea**
Kustannus	**kohtalainen**	**korkea**	**matala**	**matala**
Suoritusaika	**matala**	**kohtalainen**	**korkea**	**kohtalainen**
BIM:iin soveltuva	**kyllä**	**kyllä**	**ei**	**ei**
Asiantuntemuksen taso	**kohtalainen**	**kohtalainen**	**matala**	**matala**
Laitteen siirrettävyys	**kohtalainen**	**korkea**	**matala**	**matala**

Manuaalisia mittauksia tehdessä paikan päällä on mahdollista saada pysty- ja vaakasuuntaista ohjauspisteiden verkostoa, jonka avulla saadaan paikkatietoa. Ohjauspisteet on käsiteltävä rakennuksen tietomallin luomiseksi. Automaattisten tiedonkeruumenetelmien osalta laserskannaus mahdollistaa miljoonien spatiaalipisteiden mittaamisen sekunnissa, jolloin syntyy pistepilvi, jota voidaan käyttää monimutkaisten tietomallien luomiseen. (Liu ym. 2012). Laserskannerit ovat tunnettuja korkeasta tarkkuudesta ja laajasta peittoalueestaan. Laserskannaus on kontaktitonta mittausta ja mahdollistaa pitkän kantaman tiedonhankintaa. Laserskannerit mittaavat etäisyyden anturista lähellä oleviin pintoihin millimetri/senttimetri tarkkuudella, keräten tuhansista satoihin tuhansiin pistemittauksia sekunnissa. Yhdellä skannauskerralla voidaan tallentaa useita miljoonia kolmiulotteisia mittauspisteitä. (Tang ym. 2010). Fotogrammetrian avulla rakennustiimit voivat ottaa digitaalisia kuvia rakennuksesta ja hankkia tietyn ohjelmiston avulla luotettavaa tietoa tietomallin luomiseksi. Sekä manuaaliset että automaattiset menettelyt edellyttävät BIM-mallintajia hallitsemaan paikan päällä kerättyä tietoa ja kehittämään tietomallin. Manuaaliset tiedonkeruumenetelmät eivät vaadi erikoistuneilta asiantuntijoilta lisäosaamista ohjelmistojen ja laitteiden käyttöön sekä tutkimusten tekemiseen. Manuaaliset tiedonkeruumenetelmät ovat kuitenkin erittäin aikaa vieviä ja usein virhealttiita. Lisäksi manuaalinen lähtötietojenkeruu on aikaa vievää, työlästä ja vaatii ammattitaitoisia asiantuntijoita. Olemassa olevien lähtötietoihin perustuvan BIM-tietomallin luomista on mahdollista automatisoida. (Liu ym. 2012). Toisin kuin manuaaliset, automaattiset tiedonkeruumenetelmät vaativat erityisiä ja kalliita laitteita, sekä ammattitaitoisia käyttäjiä. Automaattiset menetelmät eivät toimi hyvin pienissä ja pimeissä sisätiloissa ja vaativat lisäohjelmistotyökaluja tietomallin luomiseen. (Tang ym. 2010).

Korjaushankkeen kohteen tietomallin luonti laserkannereilla, voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen:

- Tiedonkeruu, jossa rakennuksen keskeisistä paikoista otetut tiheät pistemittaukset kerätään laserskannauksella.
- Raa'an tiedon esikäsittely, jossa skannauksessa saadut pistemittaussarjat suodatetaan artefaktien kuten huonekalujen poistamiseksi ja yhdistetään yhdeksi pistepilveksi tai pintaesitykseen yhteisessä koordinaattijärjestelmässä.
- Tietomallin mallintaminen, jossa matalan tason pistepilvi tai pintaesitys muunnetaan semanttisesti rikkaaksi tietomalliksi. (Tang ym. 2010).

360-asteen panoraama tekniikka mahdollistaa kuvatun ympäristön visualisoinnin 360-asteisena, luoden käyttäjälle täysin todenmukaisen esityksen kuvatusta tilasta. Gheisari ym. (2016) sovelsivat korjausrakentamisen hankkeessa 360 asteen panoraamatiloja tietomalliin, jotta työmaan työntekijät pääsisivät sijainnista riippumattomasti käsiksi tarvitsemiinsa tietoihin interaktiivisessa ympäristössä. Hankkeessa liitettiin sisäkalusteet sekä osa LVI-järjestelmästä 360 asteen panoraamaan, helpottaakseen viimeistelytyön visualisointia ja kommunikointia alihankkijoiden kanssa (Gheisari ym. 2016). 360 asteen panoraamoja on käytetty myös työmaalla tapahtuvien rakennusprosessien tallentamiseen ja dokumentointiin. 360 asteen panoraamoja käytetään virtuaalikierrosten luomiseen monimutkaisissa rakennusprojekteissa omaisuudenhallintaan ja dokumentointiin. 360 asteen panoraamat tarjosivat yksinkertaisen tavan paikantaa ja visualisoida eri rakennuskomponentteja sekä dokumentoida mahdollisia rakennusprosesseissa esiintyviä ongelmia seuraavaa kokousta varten. (Pereira ym. 2017).

Kiinteistöpäälliköt voivat hyödyntää 360 asteen panoraamoja ymmärtääkseen paremmin tietyn rakennuksen olosuhteet. Verkkopohjaiset 360 asteen panoraama ratkaisut antavat kaikille sidosryhmille mahdollisuuden kommunikoida käyttämällä huomautuksia ja dokumentaatioliitteitä, jotka on lisätty kuviin. (Pereira ym 2019). Saarisen (2017) mukaan 360 panoraaman keskeisiksi haasteiksi muodostuu kuvan laatu, kiinteä näköalapaikka ja kuvan parallaksinen yhteensovitus, eli kuvakulman muuttuminen muuttuvan näköalapaikan nähden.

Armesto ym. (2016) esittelevät monianturi tiedonkeruujärjestelmän, joka pystyy automaattisesti ja samanaikaisesti kaappaamaan kolmeulotteista geometristä dataa, termografista, optista ja panoraamaista kuvaa, sekä luomaan ympäristön lämpötila-, suht. kosteus- ja valosaastekarttaa. Monianturi tiedonkeruujärjestelmä (IMAS) koostuu pyörillä varustetusta alustasta, joka on varustettu kahdella 2D-laserpäällä, RGB-kameroilla, lämpökameralla, kosteusmittarilla ja luksimittarilla. Yksi laserskannausantureista kartoittaa ympäristön ja hankkii sijaintidataa ja toinen rakentaa 3D-tietomallin. Termografiset ja optiset kuvat synkronoidaan ja linkitetään automaattisesti 3D-tietomalliin. Monianturi tiedonkeruujärjestelmässä mittauslaitteet on kiinnitetty yhteen alustaan mikä mahdollistaa sen, että mittaukset voidaan tehdä nopeasti ja samanaikaisesti. Toisaalta, laitteen keskeisimmäksi haasteeksi muodostuu korkea kustannus. Mittausten tekeminen ja eri antureidein datan käsittely ja niiden yhteensovitus yhteen tietomalliin on suhteellisen kallista. (Armesto ym. 2016).

2.2.3 Ohjelmistoratkaisut

2.2.3.1 Pistepilven luonti

Korjausrakentamisessa ohjelmistoratkaisut keskittyvät pääosin fyysisillä työkaluilla hankittujen tietojen prosessointiin. Kun rakennus on skannattu, alkaa rekisteröinti vaihe, jossa raaka skannausdata sovitetaan yhteiseen globaaliin koordinaattijärjestelmään. Tietojen esikäsittely voi sisältää myös manuaalisen tai automaattisen suodatuksen, jossa karsitaan hyödytöntä dataa kuten yksittäisiä pistepilven pisteitä, liikkuvia kohteita, heijastuksia tai antureita. Pistepilvitiedot voidaan sitten muuntaa pintadataksi, yleensä kolmion muotoisena pintaverkon muodossa riippuen mallinnusalgoritmista ja ohjelmistosta. (Tang ym. 2010).

Pistepilvien rekisteröinnin jälkeen seuraava vaihe on rakentaa skannatusta ympäristöstä kolmiulotteinen tietomalli. Nykyiset mallintamiskäytännöt sisältävät enimmäkseen manuaalisia toimintoja, kuten esimerkiksi kolmiulotteisen lankakehyksen piirtäminen pistepilvidatasta, pintojen luominen kehyksillä, kiinteiden kohteiden poiminta ja lopuksi 3D-objektien teksturointi. On kehitetty monia algoritmeja automatisoimaan manuaalisia prosesseja kuten reunantunnistusprosessi, etäisyystietojen sovitus 3D-pinnoille ja objektientunnistus. Pistepilvi voidaan hyödyntää 2D AutoCAD:ssä luomaan rakennuksen pohjapiirrustukset ja rakennusosat. (Hajian & Becerik-Gerber 2009).

CAD-pohjaisesta mallista on mahdollista luoda rakennukselle tietomalli (pohjapiirrustuksiin perustuva), mutta tällainen malli ei yleensä sisällä rakennuksen yksityiskohtaisia delajeja sellaisena, kuin niitä ollaan rakennettu tai kuten ne todellisuudessa ovat. Rakennuksen tiloja ei välttämättä rakenneta täsmälleen suunnitelman mukaisesti, sekä niihin ollaan voitu tehdä muutoksia myöhempien peruskorjausten yhteydessä. Pahimmassa tapauksessa rakennuksen tilojen suunnittelumalleja ei ole lainkaan olemassa. (Tang ym. 2010).

2.2.3.2 BIM

Semanttisesti rikkaat digitaaliset tietomallit, joita tunnetaan rakennustietomalleina tai Building Information Model, saavat huomiota suunnittelu-, rakennus ja kiinteistöjohtoryhmien keskuudessa. BIM-tietomalli edustaa rakennusta semanttisesti rikkaalla tavalla, toisin kuin perinteinen CAD-malli. CAD-malli esittää rakenteita itsenäisinä ja tasomaisina pintojen joukkoina, kun taas BIM-tietomallissa rakenteet on esitetty yhtenäisinä, volymetrisinä objekteina, jolla on useita pintoja, samoin kuin vierekkäisyyssuhteita muiden objektien ja mallin muiden kokonaisuuksien välillä. Lisäksi, BIMissä jokaiselle objektille löytyy omat olennaiset ominaisuudet, kuten materiaaliominaisuudet, hinta jne. (Tang ym. 2010).

Korjausrakentamisen suunnittelutyöt tulisi aloittaa mallipohjaisissa suunnitteluprojekteissa aikaisemmin kuin perinteisissä korjausrakennuksissa. Myös aikaisempiin suunnitteluvaiheisiin on kohdistettava enemmän resursseja, jos tietomallia aiotaan käyttää laajasti koko projektin ajan. Olennaista on, että rakennuksen geometrisestä 3D-mallista huolimatta (useimmiten mallinnettu CAD-järjestelmillä), BIM-konsepti kattaa entistä laajemmin kaiken tiedon rakennuksesta, sen suunnittelu- ja rakentamisprosessista sekä käyttö- ja kunnossapitovaiheista rakennuksen koko elinkaaren ajan. Valmistuksen konseptisuunnittelu on myös olennainen tietomallissa, koska tarkoituksena on hallita suunnittelun lisäksi myös varsinaisia rakentamisprosessin tietoja, kuten rakennusmateriaaleja, aikaa ja rahaa. BIM-tietomallilla on merkittävät mahdollisuudet toimia tiedon välityksen ja kommunikoinnin tietokantana, joka pystyy välittämään tietoa eri sidosryhmille heidän järjestelmille. (Hajian & Becerik-Gerber 2009).

BIM-tietomallit pystyvät parantamaan viestintää eri sidosryhmien välillä, jotka ovat tekemisissä rakennuksen kanssa sen eri elinkaareen vaiheissa. Korjausrakentamisessa BIM-tietomallilla on lukuisia käyttömahdollisuuksia, jotka vaihtelevat parannetusta korjaussuunnittelusta rakennuksen energiankulutuksen mallintamiseen. (Tang ym. 2010).

Ding ym. (2019) kehittivät teoreettisen viitekehyksen integroimalla BIM-tietomallin ja käänteisen suunnittelun korjausrakentamiseen. Viitekehys sisältää kolme ratkaisua:

1. BIM-tietomallin ja käänteisen suunnittelun eli tiedonkeruun skannausdataan perustuvan suunnittelun integrointi, tehostakseen tiedon hyödyntämistä ja tiedonkulun tärkeimpien sidosryhmien välillä korjaushankkeen eri vaiheissa.
2. BIM-tietomallin ja virtuaalitodellisuuden integrointi, tukeakseen sidosryhmiä ymmärtämään paremmin suunnittelua ja rakentamista.
3. Työnositus ja tiedon hyödyntämisen ja tärkeimpien sidosryhmien välisen vaihdon parantamiseksi eri vaiheissa. Kiinteistön syntyminen on ollut hyvin tiedossa viimeisen vuosikymmenen aikana, koska se voi helpottaa toissijaista suunnittelua vanhojen rakennusten kunnostusprosessissa.

Perinteisissä projekteissa tiedonkulku toimijoiden ja projektivaiheiden välillä on sekaista. Tietomallipohjaisissa projekteissa vuorovaikutus on kuitenkin joustavampaa ja päällekkäistä, kun tietoa kootaan ja jaetaan läpinäkyvästi eri käyttäjien kesken. BIM suoratoistaa tiedon jakamista ehdotetuista suunnitelmista, mikä mahdollistaa suunnittelutiimeille helpompaa yhteistyötä käyttämällä rakennusmallin "live-versiota" siiloissa ja tilannekuvissa. Suurin syy hankkeisiin liittyvään tiedon hukkaan on tehoton tiedon jakaminen ja kulku. (Al Hattab & Hamzeh 2013). BIM:n vahvuus, jota monet eivät ole vielä ymmärtäneet, on tietomallin mahdollistama ja vaatima yhteistyö eri sidosryhmien välillä koko projektin elinkaaren ajan (Azhar, 2011).

Elagiry ym. (2019) suorittivat kyselyn, jonka päämääränä oli määrittää BIM-tietomallien suurimmat haasteet ja mahdollisuudet korjausrakentamisessa. Kyselyssä suurin osa vastaajista korostivat visualisoinnin merkittävää vaikutusta ajan- ja kustannussäästöihin. Toissijaisiksi ajan- ja kustannussäästöihin vaikuttaviksi tekijöiksi sijoittuivat yhteistyötyökalut, tietomallinnus ja asiakirjanhallintajärjestelmät sekä tietomallin törmäystarkastelu (130 ääntä). Kyselyyn vastanneiden yritysten mukaan korjausrakentamisessa BIM-tietomallin merkittävimmät mahdollisuudet ovat olemassa olevan rakennuksen lähtötiedon tarkkuuden parantaminen, suunnitteluratkaisun visualisointi, projektikehitys- ja rakennustyöajan lyhentäminen, kustannussäästöt sekä tiedonhallinta. Tutkimukseen osallistujien mukaan haasteet, jotka ovat helpoiten ratkaistavissa BIM-tietomallilla ovat olemassa olevan rakennuksen epätarkat lähtötiedot (29%), epätarkat tiedot olemassa olevan rakennuksen skannatussa mallissa (24%) ja sidosryhmien yhteistyössä esiintyvät haasteet (17%). (Elagiry ym. 2019).

Digitalisaatio ja tietomallit mahdollistavat kehitystä korjausrakentamisalalla. Tällä hetkellä kehitystä rajoittaa haastava tiedonkeruuvaihe. Alustojen ja digitaalisten yhteentoimivien työkalujen käyttö tietomallinnusympäristössä voisi auttaa ratkaisemaan joitakin keskeisiä esteitä korjausrakentamisessa. Nämä ongelmat liittyvät erityisesti tiedonkeruuun ja olemassa olevan rakennuksen lähtötietojen. Mikäli alkutiedot ovat tarkkoja ja moitteettomia ja ne voidaan integroida kokonaan projektin tietomalliin, välttyen rakennustöiden aikana odottamattomilta toimenpiteiltä, jotka ovat kalliimpia hankkeen myöhemmissä vaiheissa. (Elagiry ym. 2019).

2.3 Digitaalisella tiedolla johtaminen korjausrakennushankkeen eri vaiheissa

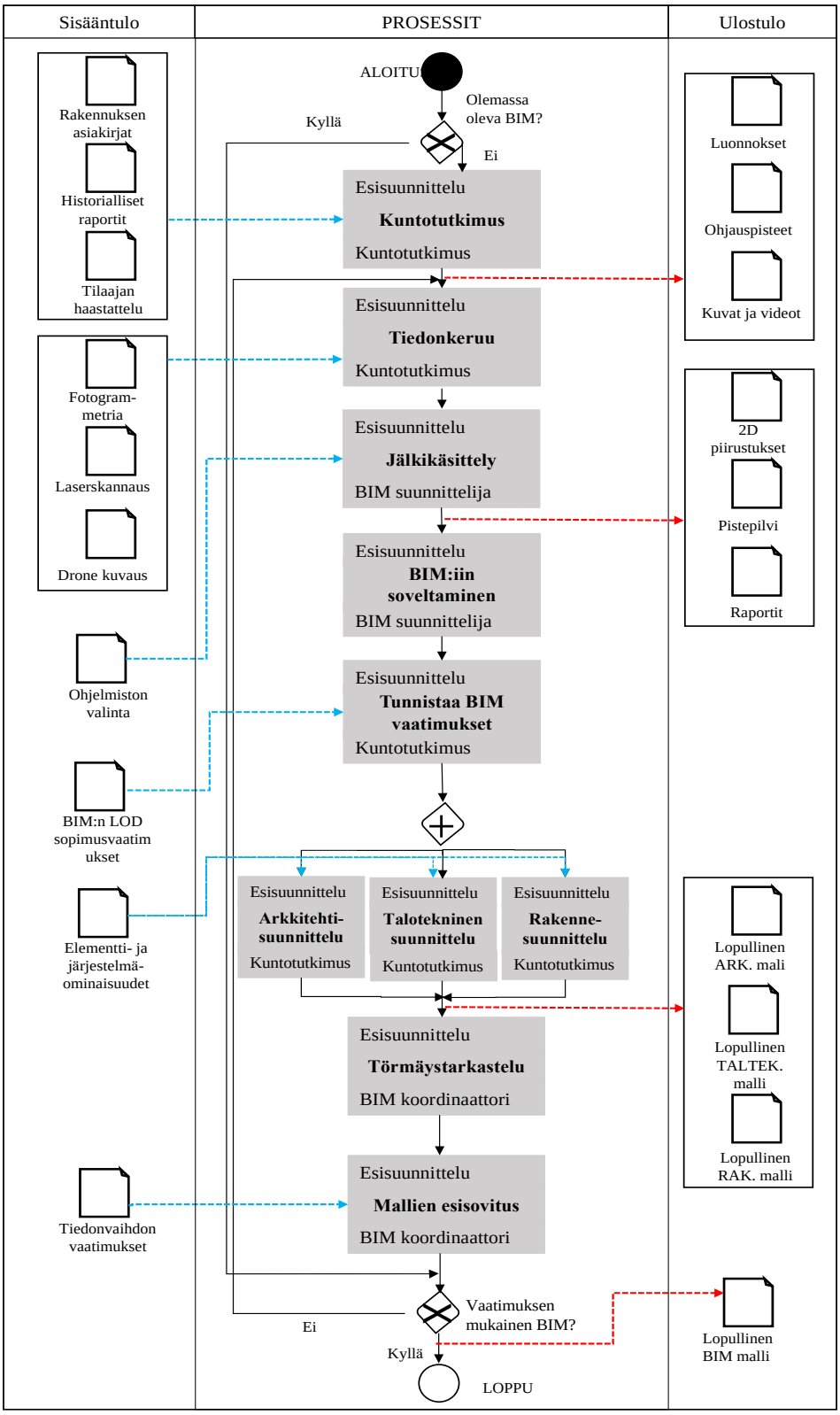
Rakennuksen lähtötietojen keruu ja niiden soveltaminen rakennuksen digitaalisiin malleihin on tärkeää, sillä näin voidaan tukea erilaisia toimintoja rakennuksen elinkaaren aikana. On hyvin yleistä, että rakennusosia ei rakenneta täsmälleen suunnitellulla tavalla joko rakennusvirheiden tai rakennusprosessin aikana tapahtuvien muutosten vuoksi (Tang ym. 2010). Tarkka ja oikea-aikainen laadunvalvonta ja rakennusvaiheessa esiintyvien virheiden havaitseminen edellyttävät rakennuksen oikea-aikaista lähtötietoa *as-built data* (Liu ym. 2013).

Tarkkojen lähtötietojen tarve on ratkaiseva myös projektin myöhemmissä vaiheissa, eli rakennuksen käyttö- ja kunnossapitovaiheessa *O&M*. Pohjapiirrustuksiin pohjautuva tieto *as-designed*, joka poikkeaa tilojen todellisista dimensioista, voi johtaa hyödyttömiin päätöksiin käyttö- ja kunnossapitovaiheessa. Tässä luvussa käsitellään digitaalisella tiedolla johtamisen käytäntöjä korjausrakentamisen eri vaiheissa. (Liu ym. 2013).

2.3.1 Esisuunnittelu

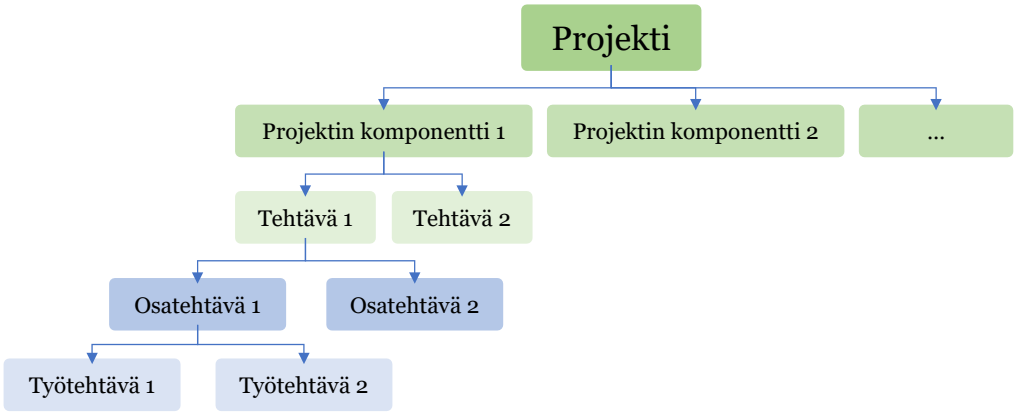
Korjausrakentamishankkeessa määritellään hankkeen tavoitteet ja laajuus. Esisuunnittelun ensimmäinen vaihe on tunnistaa mitä tietomallin vaatimuksia projektisopimuksessa vaaditaan. Esisuunnitteluvaiheessa tehdään paikkakartoitus ja skannataan rakennus. (D'Angelo ym. 2022). Vakiintunut rakennustietomalli saavuttaa kuitenkin arvoa vain, jos lähtötiedot ovat tarkkoja (Wang ym. 2016). Korjaushankkeiden osalta digitaalisen mallin oikeanmukaisuuteen ja tarkkuuteen vaikuttavat rakennustietojen hidas saanti ja epäjohdonmukaisuus alkuperäisten suunnittelupiirustusten ja todellisten rakenteiden välillä. Käänteistä suunnittelua hyödyntämällä voidaan kerätä rakennuksen geometrisiä tietoja vaivatta. Tiedonkeruulaitteiden avulla voidaan hankkia 3D-dataa useista suurista, monimutkaisista, epäsäännöllisistä ja epästandardisista kokonaisuuksista, mikä helpottaa kolmiulotteisen mallin nopeaa rekonstruointia. Kerättyä tietoa voidaan käyttää myös seurantaprosesseihin, kuten analyysiin, ohjeisiin, simulointiin, näyttöön, seurantaan, virtuaalitodellisuuteen jne. (D'Angelo ym. 2022).

E. Pikas ym. (2015) ehdottavat alkuperäisten dokumenttien digitalisointia ja olemassa olevan rakennuksen ensimmäisen skannauksen suorittamista esisuunnitteluvaiheessa. Korjausrakentamishankkeen esisuunnitteluvaiheen ulostulo on digitaalinen tietomalli, joka edustaa rakennusta dimensioltaan ja kunnoltaan sellaisenaan, kuin se on. Tämän vaiheen kesto ja haasteellisuus riippuvat siitä, että millä tasolla digitalista BIM-tietomallia halutaan hyödyntää projektin läpivientiin ja mitä rajoituksia BIM-tietomallin käyttöön syntyy sidosryhmien toimesta, sekä millä tarkkuustasolla mallia vaaditaan. (D'Angelo ym. 2022).



Kuva 3. *BPM* eli liiketoimintaprosessien mallinnus, korjaushankkeen esisuunnitteluvaiheessa. (D'Angelo ym. 2022).

Ding ym. (2019) ehdottavat korjaushankkeen eri vaiheiden työtehtävien ositusta esisuunnittelun aikana. Työtehtävien ositus *WBS* yhdessä tietomallin osituksen *MBS* kanssa toimivat rakennushankkeen digitaalisten puitteiden tukevina teknologioina. Työtehtävien osituksella pyritään varmistamaan työtehtävien kattavan ja yksiselitteisen määrittelyn sekä varmistamaan tarkkaa tietoa ja sen välittämistä ensisijaisten sidosryhmien kesken. Hankkeen osituksen yhteydessä hankkeen tavoitteet määritellään ensin, keskittyen tuotteisiin, palveluihin ja ratkaisuihin, joita on tarjolla.



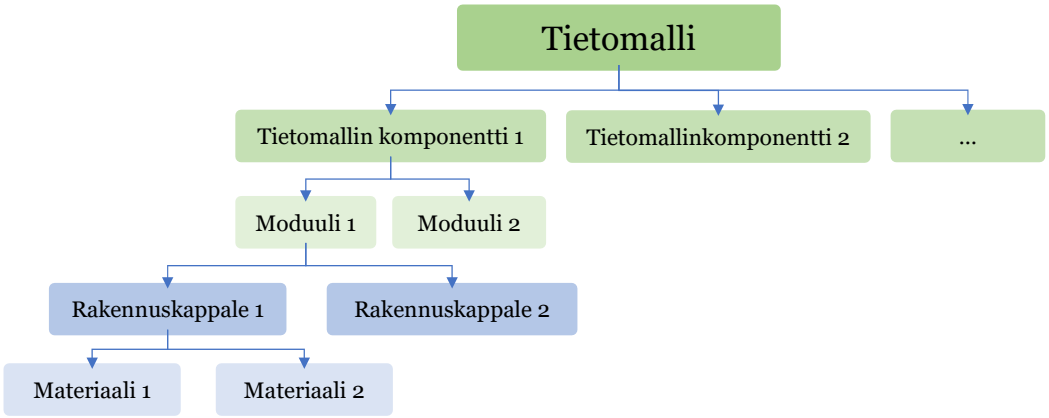
Kuva 4. Hankkeen ositus esisuunnitteluvaiheessa *Work Breakdown Structure*. (Ding ym. 2019).

Kuten kuvassa 4. on esitetty, hankkeen osituksessa korkein taso edustaa koko projektia, jota jaetaan pienempiin elementteihin, jotka edustavat alempaa hierarkista tasoa. Hierarkinen luokkajako jatkuu, kunnes projekti on pilkottu riittävästi työtehtävätasolle tehokkaan projektinhallinnan saavuttamiseksi. Hierarkisen jaon jälkeen osatyöt näkyvät kuvauksineen hankkeen osituksen kokonaiskuvassa. (Ding ym. 2019). Hierarkian alin taso sisältää työpaketteja ja jokainen tehtävä on allokoitu tietylle henkilölle, osastolle tai organisaatiolle (Haugan 2001).

Tehtävät, joille on määritelty tietty kesto ja joihin resurssit ja kustannukset ovat sidottu, ovat hallittavissa. Menetelmä voi määritellä projektityön yksityiskohtaisesti ja antaa selkeämmän käsityksen arvioidusta kestosta, kustannuksista ja resurssitarpeista. Suunnitteluvaiheessa työnositus ilmaisee kokonaiskuvan korjausprojektista, auttaa tärkeimpiä osallistujia ymmärtämään roolinsa ja vastuunsa, kuten kenen tulisi olla vastuussa alkuperäisen rakennuksen 3D-koordinaattien saamisesta, ja laatii visuaalisen projektin, jotta voidaan arvioida työmäärä. Tämä prosessi varmistaa, että osallistujat voivat hyödyntää täysimääräisesti kykyjään ja oivalluksiaan ja tehdä yhteistyötä projektin myöhemmissä vaiheissa luodakseen omistajalle suurimman mahdollisen arvon projektista. Ding ym. (2019).

2.3.2 Suunnitteluvaihe

Suunnitteluvaiheessa tulisi varmistaa viitekehys, jossa käyttäjillä on mahdollisuus saada tarkat rakennustiedot olemassa olevasta kunnostettavasta rakennuksesta. Täten, on hyödynnettävä käänteistä suunnittelua, saadakseen rakennuksesta tarkat ja luotettavat dimensiot. Keräämällä, yhdistämällä ja käsittelemällä alkuperäisen rakennuksen pistepilvitietoja insinöörit saavat tarkat rakennustiedot. Laserskannereista saadut tiedot vähentävät suunnittelutiimin riippuvuutta perinteisiin 2D-piirustuksiin 3D-suunnittelumallin luomisen yhteydessä. Tämän jälkeen, kerättyä pistepilvitietoa käytetään rakennuksen mallintamiseen tai muuttamaan sen fyysisen suunnittelumallin virtuaaliseen suunnitteluympäristöön. Virtuaalinen tietomalli helpottaa rakennuksen myöhempää toissijaista suunnittelua. Suunnitteluvaiheessa luodaan sarja erilaisia BIM-malleja, jotka eivät pelkästään tutki erilaisten jälkiasennusskenaarioiden toteutettavuutta, vaan myös arvioivat kustannuksia ja energiansäästöjä jokaista jälkiasennusta kohden. (Ding ym. 2019).

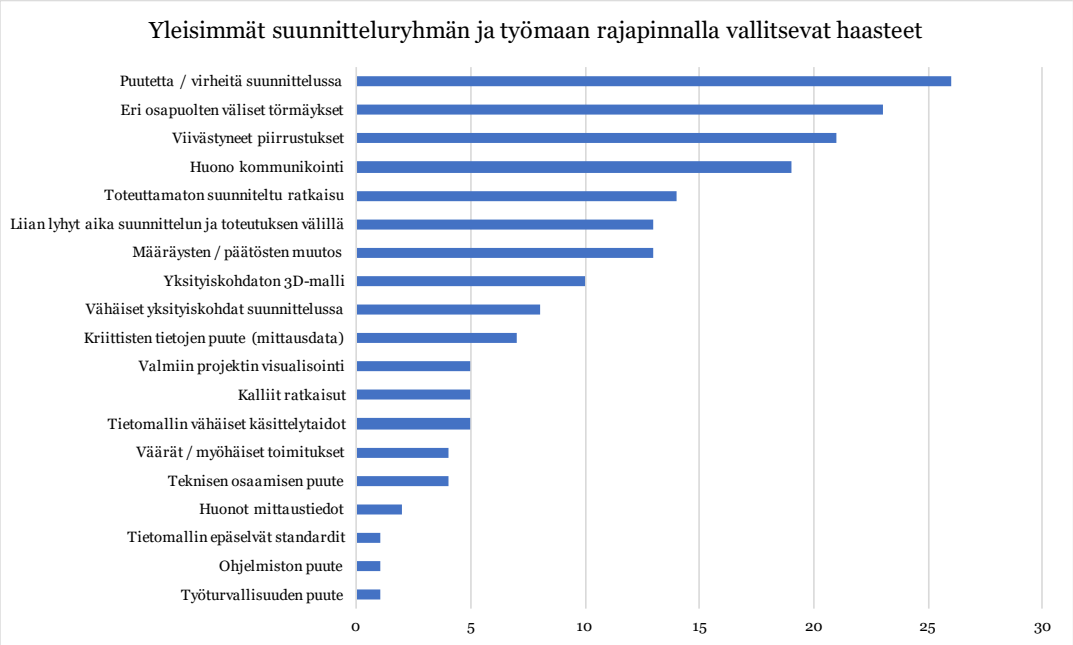


Kuva 5. Tietomallin ositus suunnitteluvaiheessa *Model Breakdown Structure*. Ding ym. (2019).

Tietomallin ositusta *Model Breakdown Structure* käytetään apuna suunnittelun mallinnusprosessissa ja toissijaisessa suunnitteluprosessissa. Tietomallin ositus *MBS* noudattaa työtehtävien jaolle *WBS* määriteltyä periaatetta. Tietomallin ositus määrittää selkeän laajuuden suunnittelumallille ja purkaa sen pienemmiksi ja hallittavissa oleviksi moduuleiksi laadun ja kustannusten hallitsemiseksi. Kuten kuvassa 5. esitetään, eri osapuolten erityistarpeiden täyttämiseksi tietomallin ositus hajottaa suunnittelumallin, kunnes yksityiskohtaiset materiaalit on osoitettu vastaavalle henkilökunnalle, havainnollistaen selkeän ja yksityiskohtaisen kokonaiskuvan olemassa olevasta rakennuksesta. Tietomalli sisältää kaikki

rakentamisen aikana tarvittavat tiedot, joiden avulla rakennuksen korjaustyöt voidaan suorittaa. (Ding ym. 2019).

Svalestuen ym. (2017) lähettivät 602:lle Norjan suurimmille urakoitsijoille kyselyn kartoittaakseen suunnittelijaryhmien ja työmaan väliset keskeiset haasteet uudis- sekä korjausrakentamisessa. Kyselyyn vastasi yhteensä 82 urakoitsijaa. Svalestuen ym. (2017) esittävät suunnittelijaryhmän ja työmaan rajapinnan yleisimmät haasteet kuvassa 6. Tärkeimmät havainnot ovat suunnitteluvirheet tai suunnittelun puute tietyllä alueella, eri osapuolten väliset ristiriidat, viivästyneet piirustukset ja huono viestintä. (Svalestuen ym. 2017).



Kuva 6. Yleisimmät haasteet suunnittelun ja työmaan rajapinnalla. (Svalestuen ym. 2017).

Suunnittelijat voivat hyödyntää tietomallia vaihtoehtoisten konseptien tutkimiseen, arvoanalyysin tekemiseen ja suunnitelmiensa optimointiin. *BIM* mahdollistaa yhteistyön eri osapuolten kesken ja mahdollistaa tietojen syöttämisen kaikilta suunnittelijoilta, luoden heille täydellisen kuvan tilaajan suunnitteluaikeista. Täten, arkkitehdit ja insinöörit saavuttavat yhteistä ja laadukkaampaa suunnittelua sen sijaan, että heillä olisi erillisiä ideoita ja laaatustandardit jäisivät saavuttamatta sekaisessa ja interatiivisessa suunnitteluvaiheessa. Ennen *Lean*-periaatteiden ja *BIM*:n käyttöönottoa suunnitteluvaiheen parantamiseksi on ymmärrettävä, että suurin tietohukkaa on epäoptimaalinen tiedon jakaminen. (Al Hattab & Hamzeh 2013).

BIM:n voima piilee sen kyvyssä mahdollistaa integroitu ja yhteistyöhön perustuva lähestymistapa suunnitteluun ja rakentamiseen. Leanillä viitataan tehokkaaseen

viestintään, yhteistyöhön ja yhteisen päämäärän saavuttamiseen, luoden samalla korkeaa asiakasarvoa tilaajalle. Leanillä pyritään vähentämään, ellei poistamaan kokonaan hukkaa projektin toteutuksen aikana. (Al Hattab & Hamzeh 2013). Lisäksi, esimerkiksi *VR* tehostaa yleistä suunnitteluviestintää ja digitaalista rakentamista. Erityisesti suunnitteluvaiheessa BIM:n ja VR:n integraatio antavat projektitiimille, erityisesti tilaajalle, mahdollisuuden arvioida rakennuksen materiaalit ja valaistuksen jatkosuunnittelua varten. (Ding ym. 2019).

Perinteisessä 2D CAD –suunnittelussa suunnittelijoiden on odotettava toistensa suunnittelun valmistumista. Suunnittelut pinotaan siiloihin ennen kuin ne voidaan vaihtaa suunnittelutiimien välillä. Tällöin tiedot voivat vanhentua, eli tietoa menee hukkaan. Vastaavasti tietomallipohjaisessa suunnittelussa, keskeneräisen tiedon vaihto suunnittelijoiden välillä on mahdollista jakamalla ja integroimalla suunnitteluryhmien rakennustietomalleja aina tarvittaessa. Tämä mahdollistaa suunnittelun reaaliaikaisia muutoksia ja parannuksia. Tieto on tällöin aina ajan tasalla ja suunnittelun visualisointi helpottaa osapuolten välistä kommunikaatiota sekä varmistaa jatkuvaa tiedonkulkua. (Al Hattab & Hamzeh 2013). Kuitenkin, kun tietomallit otetaan käyttöön suunnitteluvaiheessa, sen siirtämisessä rakennusvaiheeseen voi olla haasteita. Yleisimmät haasteet ovat ohjelmisto- ja laitteistoongelmat, kulttuuriset esteet, sopimus- ja oikeudelliset näkökohdat, sitoutumisen, koulutuksen ja tilaajan aktiivisuuden puute suunnittelussa. (Alarcón ym. 2013).

2.3.3 Toteutusvaihe

2.3.3.1 Suunnittelijaryhmä ja työmaa

Suunnittelijoiden ja työmaahenkilöstön väliset kommunikaatioon liittyvät haasteet aiheuttavat väistämättä virheitä ja korjauksia rakentamisen ja asennusprosessin aikana. Tiedonvaihdon ja kommunikaation tehostamiseksi, digitaalisten teknologioiden soveltamisella korjaushankkeen toteutusvaiheessa on kriittisiä vaikutuksia. Suunnittelun ja toteutusvaiheen välillä on perinteisesti ollut heikko yhteys tai ei ole ollenkaan ollut yhteyksiä. Suunnittelun ja toteutusvaiheen heikko yhteys on edellyttänyt suunnittelutietojen syöttämistä ja käsittelyä useampaan kertaan, johtaen epäjohdonmukaisuuksiin suunnittelu- ja valmistustiedoissa. Perinteinen työnkulku ei ole ollut kovin koordinoitunutta suunnittelu- ja rakentamisvaiheiden erottelun vuoksi, mikä on aiheuttanut virheitä suunnittelussa ja lisätöitä varsinaisessa rakentamis- ja asennusvaiheessa. Näin ollen muutokset, joita olisi pitänyt ottaa käyttöön suunnitteluvaiheessa, tapahtuvat hankkeen myöhemmässä vaiheessa, mikä lopulta vie ylimääräistä aikaa ja resursseja. (Ding ym. 2019).

Tietomallien käyttämisessä rakennustyömaalla on monia etuja verrattuna perinteiseen tapaan käyttää piirustuksia ja kirjallisia kuvauksia. Tietomallit voivat ratkaista yleisiä haasteita suunnittelun ja rakentamisen rajapinnalla. Yksi yhteisistä eduista BIM-asemien tai tablettien käytössä työmaalla on se, että projektia voidaan ymmärtää paremmin 3D-visualisoinnin avulla. Projektin visualisointi auttaa työntekijöitä ymmärtämään koko projektia ja rakennuksen tiettyjen elementtien suunnittelua. (Svalestuen ym. 2017).

Wileman (1993) korostaa, että visuaalinen viestintä voi olla tehokkaampaa kuin verbaalinen viestintä. BIM-laitteella on myös mahdollisuus lisätä viestinnän tehokkuutta entisestään, kun työntekijät voivat olla vuorovaikutuksessa mallin kautta. Lisäksi, rakennustyömailla käytettävillä BIM-laitteilla on mahdollisuus kaksisuuntaiseen viestintään. Kaksisuuntaiset viestintäkanavat helpottavat rakennustyöntekijöitä raportoimaan laatuvirheet ja edistymiset suoraan suunnittelijaryhmälle. (Svalestuen ym. 2017).

BIM-laitteen käyttö paikan päällä avaa uuden viestintäkanavan suunnittelun ja rakentamisen välille, mahdollistaen rajapinnalla esiintyvien ongelmien ratkaisemisen, kuten suunnittelijaryhmän ja työmaan välistä heikkoa viestintää ja viivästyneitä piirustuksia. Perinteisesti puhelut, sähköpostit, piirtäminen sekä esimiesten ja suunnittelupäälliköiden tapaamiset ovat olleet yleisiä viestintäkanavia. Nämä eivät kuitenkaan ole kovin tehokkaita keinoja kommunikoida esimerkiksi edistymisestä ja laatuvirheistä, sillä tieto kulkee pitkän matkan ennen kuin se saavuttaa määränpään. Tällaisissa pitkissä viestintäketjuissa tapahtuvat tyypillisesti virheitä ja väärinkäsityksiä, mitkä vaikeuttavat vastaamaan työmaalla kohdattuihin haasteisiin. BIM-laitteella työntekijät voivat helposti merkitä tietomalliin laatuvirheet ja lähettää virheraportin suunnittelutiimille. Tiedon rikastamiseksi työntekijät voivat ottaa tabletilla valokuvan rakennustyömaalta ja liittää sen virheraporttiin, jotta suunnittelijat näkevät tarkalleen, missä ongelma voisi olla. Tällainen suora kommunikointi rakennustyöläisten ja suunnittelijoiden välillä voisi vähentää johtajan tarvetta hallita ja jäljittää kaikkea tietoa. BIM-laite on dokumentointivaihtoehto, mikä tarkoittaa, että kaikki laitteesta lähetettävä tieto tallennetaan tietokantaan, joka on työmaajohdon käytettävissä. Svalestuen ym. (2017).

Perinteisesti suunnitteluryhmän suunnitelmien välitys rakennustyömaalle ovat olleet piirustukset ja niiden kuvaukset. Kun piirustuksia tarkistetaan, suunnittelija tulostaa uudet ja lähettää ne rakennustyömaalle. Tämä luo tarpeen valvoa näitä piirustuksia paikan päällä varmistakseen, että jokainen työntekijä käyttää suunnitelman uusinta versiota. Tietomallista paperille tulostettu piirustus vanhenee ajan myötä, toisaalta sidosryhmillä on mahdollisuus päästä käsiksi kaikkiin tietomallin ajantasaisiin piirustuksiin, ja malleihin. Lisäksi laitteen yhdistäminen langattomaan verkkoon

varmistaa uusimpien versioiden automaattisen lataamisen, minimoiden piirustuksia käyttävien työntekijöiden aiheuttamien virheiden riskiä. (Svalestuen ym. 2017).

2.3.3.2 Tietomallin hyödyntäminen työmaalla

Toimenpiteet lisätöiden vähentämiseksi tulisi suunnata tehostettuun tiedon hyödyntämiseen, eli tietomallin käyttöönottoon. Eastman ym. (2011) hyödynsi tietomallia saavuttaakseen integroitua tiedonhallintaa rakennusprojekteissa. Tuloksena, lisätöitä syntyi ainoastaan 0,2 % ja havaitsi nollakonfliktin sidosryhmien digitaalisten järjestelmien välillä. BIM luo kattavaa, luotettavaa, helposti saatavilla olevaa ja helposti korvattavaa rakennustietoa kenelle tahansa rakennuksen koko elinkaaren ajan.
Ding ym. (2019) mukaan BIM-tietomallin ja esivalmisteiden rakentamisen integraatio luo 3D-suunnittelumallista ainoan perustan valmistus- ja asennusprosessissa, muuttaen perinteisesti pirstoutuneita suunnittelu- ja rakentamisvaiheita. Sekä BIM että esivalmistettu rakentaminen poistavat 2D-piirustuksiin perustuvaa suunnittelua ja varmistavat suunnittelutietojen ainutlaatuisuutta. BIMin ja esivalmistetun rakentamisen integraatio on tietotekniikan ja teollistumisen tehokas sovellus, joka säästää työvoimaa, nopeuttaa peruskorjausprojektin etenemistä ja vähentää hukkaa. (Ding ym. 2019). Tietomallit voivat johtaa kevyempään rakennusprosessiin, jossa hyödynnetään enemmän esivalmistusta, näin paranee työnkulun vakaus, pienenevät varastointitarve ja tehostuu tiimityö (Alarcon ym. 2013).

Jos työmaalla olevat työntekijät hyödyntäisivät rakentamisen aikana interaktiivista virtuaalista ympäristöä, työntekijät ymmärtäisivät paremmin suunnittelun tarkoitusta. (Ding ym. 2019). Uudet teknologiat mahdollistavat suuremman määrän tiedonkeruuta ja parantavat myös rakennusmiehistön saatavilla olevan tiedon laatua (Dave ym. 2008), jotka tarjoavat reaaliaikaista tietoa rakennustyömaista. Nyt on mahdollista kerätä tietoa rakennustyömailta 3D-laserskannauksella ja fotogrammetrialla (Pica ym. 2021), sisäpaikannusjärjestelmillä (Reinbold ym. 2019), *Internet of Things* (IoT) -sovelluksilla (Dave ym. 2015) sekä droneilla ja kypäräkameroilla otetut reaaliaikaiset kuvat (Pirkl ym. 2016). Tämä tietovalikoima voi johtaa autonomisempiin rakennusmiehiin, ja se voidaan muuntaa merkitykselliseksi tiedoksi, joka lisää heidän tietoisuuttaan rakennustyömaalta ja nykyisestä tuotannon tilasta. Yksi tapa saada dataa rakennusprojektien tuotantovaiheessa työmaan käyttöön on visuaalisten hallintalaitteiden digitalisoinnin kautta. (Reinbold ym. 2020).

Van Berlo & Natrop (2015) toteavat, että BIM-tietomallin saatavuus työmaalla voi luoda merkittävän potentiaalin toteutusvaiheessa ja että rakennustyöntekijät hyötyvät visualisoinnista kommunikoidessaan tietomallin avulla. Työmaalla käytetyt työkalut voidaan jakaa kolmeen luokkaan:

1) Työmaalla asennetut tietokoneet (esim. BIM-asemat),
2) mobiililaitteet, kuten tabletit ja
3) erikoisympäristöt (BIM-luolat, VR). (Van Berlo & Natrop 2015).

Hewage ja Ruwanpura (2006) havaitsivat, että työmaalla oli tarvetta reaaliaikaiselle tietolähteelle. Työntekijät halusivat mahdollisuuden katsella 3D- ja 4D-piirustuksia (3D aikajanalla), teknisiä tietoja, turvallisuustietoja, sääpäivityksiä ja muuta projektiin liittyvää tietoa. Tämän tutkimuksen jälkeen Ruwanpura ym. (2012) kehittivät infokopin työmaalle, jonka avulla työntekijät pääsevät paikan päällä käsiksi materiaalihallintaan, työesittelyihin ja päivitettyihin piirustuksiin. Tämä johti myönteisiin tuloksiin tuottavuudessa, tehokkuudessa ja työntekijöiden tyytyväisyydessä.

Harstad ym. (2015) ovat myös dokumentoineet myönteisiä vaikutuksia tabletteja koskevasta tutkimuksestaan rakennustyömaalla. Tehtyjen tutkimusten perusteella voidaan todeta, että tabletit tarjoavat helpon pääsyn työmaalla tarvittaviin tietoihin. Tabletit ovat käteviä ja voivat lisätä projektin ymmärrystä ja luoda uuden viestintälinjan. Tabletilla työntekijät voivat ottaa kuvan työmaalta ja linkittää se oikealle henkilölle tietomallissa lyhyellä tekstikuvauksella. Näin työntekijöiden on helpompi löytää tietty laatuvirhe ja korjata se. Kun laatuvirhe on korjattu, työntekijät voivat ottaa tabletilla kuvan korjatusta virheestä ja merkitä se tietomallissa korjatuksi. (Harstad ym. 2015).

Skanska kehitti vuonna 2014 BIM-tietokonekioski prototyypin (Bråthen & Moum 2015). He asettivat 50 tuuman televisioon liitetyn tietokoneen rakennustyömaan jokaiseen kerrokseen. Nämä tietokonekioskit antoivat työntekijöille mahdollisuuden päästä käsiksi 3D-malliin paikan päällä. Laitteet sijoitettiin suojaavaan puiseen kaappiin, jossa oli internetyhteys (Bråthen & Moum, 2015). BIM-kioskeja käytettiin laajasti projektissa ja ne johtivat parempaan tuottavuuteen erityisesti talotekniikan työntekijöiden kohdalla.

Chenin ja Kamaran (2008) mukaan työntekijöiden tehokkain tapa hankkia tietoa paikan päällä on kerätä tietoa siellä missä he ovat ja silloin kun he sitä tarvitsevat. Sacks ym. (2013) kehittivät järjestelmän nimeltään KanBIM työnkulun hallintaan työmaalla. Järjestelmä visualisoi prosessi- ja tuotetietojen työnkulun reaaliajassa tietomallin avulla työntekijöille paikan päällä. Järjestelmän testaus työmaalla paljasti kaksi toivottua tulosta:

1) "Töiden etsimiseen" käytetyn ajan lyheneminen; ja
2) järjestelmä voi mahdollistaa työmaalla esimiesten valvomaa työn kaksinkertaistamisen.

Pääsy 3D-malleihin, joissa on 4D-esitys työnkulusta, antaa työntekijöille mahdollisuuden ymmärtää paremmin projektitietoja ja projektin työnkulkua. Tällä voi olla myönteinen vaikutus työntekijöiden tuottavuuteen ja tehokkuuteen. (Svalstuen ym. 2017). Ruwanpura ym. (2012) osoittivat samaa tulosta käyttämällä tietokoppia, joka on käytännössä sama kuin BIM-asema.

2.3.4 Digitaalisen tiedon kriittisyys korjaushankkeen eri vaiheissa

Jos korjaushankkeessa tieto ei kulje asianmukaisesti eikä sitä osata käsitellä, siirtää, hyväksyä tai sisäistää, niin syntyy lisätöitä. Love ja Li (2000) totesivat, että lisätyöt toteutusvaiheella ovat tarpeettomia uudelleentyöstöjä, joita suoritetaan väärällä tavalla alusta alkaen. Simpeh ym. (2015) havaitsivat, että uudelleentyöstöt johtuvat pääasiassa epävarmuuksista, jotka aiheutuvat puuttuvien, epäluotettavien, epätarkkojen tai ristiriitaisten tietojen vuoksi. Näin ollen, tämän kaltaiset pakolliset lisätyöt korjaushankkeen suorittamiseksi eivät tuota lisäarvoa ja ovat kalliita sekä aiheuttavat usein viivästyksiä, mikä vaikuttaa vakavasti rakennusprojektien tuottavuuteen ja suorituskykyyn. Esimerkiksi Barber ym. (2000) raportoi, että uudelleentyöstöt vaikuttivat kustannusten ylitykseen noin 23 % sopimuksen arvosta usean miljoonan punnan suuruisissa tiehankkeissa. Kuten aiemmin mainittiin, alkuperäisten suunnittelupiirustusten puute tai alkuperäisten rakennustietojen epätarkkuudet voivat olla alttiita suurille suunnitteluvirheille, jotka voivat johtaa uudelleentyöstöihin. (Ding ym. 2019).

Ding ym. (2019) sovelsivat Kiinassa sijaitsevassa kauppakeskuksen peruskorjauksessa BIM-tietomallia ja käänteistä suunnittelua yhdessä työtehtävien ja tietomallin osituksen kanssa tehostaakseen tiedon hyödyntämistä korjausrakentamisen eri vaiheissa. Tämän tuloksena korjaushankkeen suunnitelmien muutokset vähenivät 30%, uudelleentyöstöt vähenivät 25%, korjaushanke päättyi kaksi kuukautta etuajassa ja kustannuksessa tehtiin säästöjä esimerkiksi teräsrunkorakenteiden osalta peräti 7,41%.

D’Angelo ym. (2022) mukaan Yhdysvalloissa on suoritettu tutkimus, johon osallistui lähes 600 rakennusjohtajaa. Tutkimus osoitti, että jokainen rakennusprojektitiimin jäsen viettää yli 14 tuntia viikossa tietomalliin liittyvien konfliktien käsittelyyn. Nämä ristiriidat liittyvät organisatorisiin ja oikeudellisiin haasteisiin:

- Puutteellinen hanketieto (esim. virheelliset hanketiedot, heikko hanketietojen saanti ja hankkeen sidosryhmien kyvyttömyys jakaa helposti hanketietoja (Sadroud ym. 2018), (Volk ym. 2014), (Liu ym. 2015);
- sidosryhmien välinen kommunikaatiohäiriö (sidosryhmien vastuu epätarkkuuksien sattuessa, tiedon puute suoritettavista rooleista ja tehtävistä) (Lésniak ym. 2021);
- projektikokemuksen ja ammattitaitoisen henkilöstön puute (Ghaffarianhoseini ym. 2017);

- Tietomallin käyttöönottoa tukevien sopimus- ja mallistandardien puute (Ku ym. 2008).

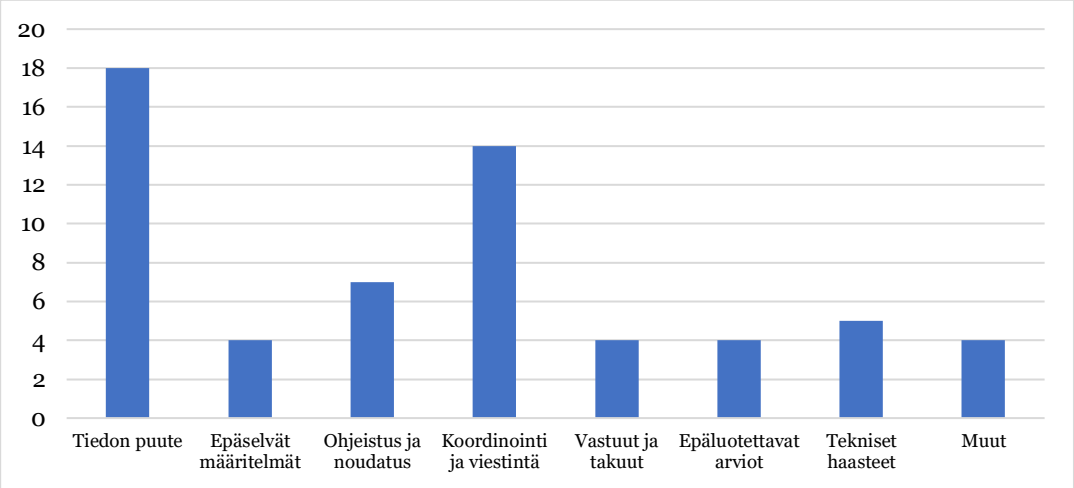
Esimerkiksi Fails Management Institute (FMI) arvioi, että pelkästään Yhdysvalloissa heikko viestintä aiheuttaa potentiaalisesti rakennusteollisuudelle 17 miljardin dollarin tappiot vuodessa ja huonot projektitiedot 14,3 miljardia dollaria, mikä edustaa yhdessä huonon viestinnän kanssa 31,3 miljardin dollarin tappiota vuodessa. (D'Angelo ym. 2022).

Kunnostus- ja muutostyöt tapahtuvat yleensä projektin luovutuksen, käytön ja kunnossapidon jälkeen, jolloin muutoksia ei välttämättä dokumentoida täysin. Tämä vaikeuttaa korjausrakentamisen suunnittelua ja rakentamista sekä lisää kustannuksia ja lisätöitä. Nykyään käyttöön otetut 3D-laserskannerit mahdollistavat valtavan määrän pistepilvitietojen nopean ja tarkan kaappauksen esisuunnitteluvaiheessa, mikä tuottaa erittäin tiheitä ja monimutkaisia koordinaattidatapisteitä fyysisen kohteen pinnoille (Anil ym. 2011). Laserskannauksen integroiminen tietomalliin voi tuottaa merkittäviä etuja perinteisiin lähestymistapoihin verrattuna, erityisesti helpottamalla nopeaa ja tarkkaa tiedonkeruuta olemassa olevissa olosuhteissa (Wang ym. 2016). Laserskannauksella voidaan dokumentoida valmiit olosuhteet ja toimintavaiheen muutokset, jotta varmistetaan BIM:ssä käsiteltyjen tietojen oikeellisuus. (Ding ym. 2019).

Yksittäisten geometristen primitiivien mallintaminen voi olla melko nopeaa, mutta esimerkiksi ison rakennuksen mallintaminen voi vaatia tuhansia primitiiviä. Yhdistetty mallinnusaika voi olla useita kuukausia keskikokoiselle rakennukselle, mikä on usein pullonkaula valmiin tietomallin luontiprojektin valmistumisessa. (Tang ym. 2010). Koska samantyyppiset primitiivit on mallinnettava kaikkialla rakennuksessa, vaiheet ovat erittäin toistuvia ja työläitä (Hajian & Becerik-Gerber 2009).

Rakennusprojektin tuotantovaihe on monimutkainen prosessi, joka sisältää useita samanaikaisia osaprosesseja ja toimintoja. Siitä puuttuu usein avoimuus ja läpinäkyvyys ja se keskittää tiedon, mikä johtaa päätöksenteossa pullonkauloihin (Dave ym. 2008 ja Akinci 2015). Thaleia Konstantinou ym. (2021) suorittivat tutkimuksen, jonka päämäärä oli tunnistaa, millaista tietoa sidosryhmät tarvitsevat korjausrakentamisen eri vaiheissa ja joiden avulla voidaan jäsentää työnkulkua kaikkien toimijoiden välillä. Tutkimus kartoitti korjaushankeen prosessia, korostaakseen tärkeimmät pullonkaulat korjausprosessin tehostamiseksi (Taulukko 4). Tutkimukseen osallistui 17 korjaushanketta, joista saatiin 42 kappaletta kokonaan vastattua kysymyslomaketta hankkeiden eri osapuolilta.

Taulukko 4. Tärkeimmät pullonkaulatyypit korjausrakennushankkeessa. (Thaleia Konstantinou ym. 2021).



Kuten taulukossa 4 selviää, tutkimuksessa tunnistettiin seitsemän pääkategoriaa korjausrakennushankkeen pullonkaulatyypeille, joista kaksi kategoriaa saivat yli puolet äänistä 32/60. Nämä kaksi eniten ääniä saaneet kategoriat olivat *tiedon puute* 18 äänellä ja *koordinointi ja viestintä* 14 äänellä. Loput kategoriat saivat keskimäärin neljä ääntä. Tiedonkulku sidosryhmien välillä on peruskorjausprosessin kannalta olennaista. Koordinointi- ja viestintäkysymyksissä yleisesti katsottiin ratkaisevan tärkeäksi määritellä selkeästi kaikkien sidosryhmien vastuut koko prosessin ajan. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää viestintävälineiden kehittämisessä, mikä helpottaa korjaustyön kulkua, johtaen tehokkaampaan peruskorjaukseen. (Thaleia Konstantinou ym. 2021).

2.4 Tiedon virtaus korjausrakentamisessa

Digitaalisella tiedolla johtaminen korjausrakentamisessa tavoittelee tehokkaampaa korjausrakentamista sekä uudelleentyöstön ja hukan vähentämistä. Iteratiivinen lähestymistapa korjausrakentamisessa on seurausta rajoitetusta viestinnästä ja tiedon jakamisesta. Kun tietoa jaetaan erissä ennenaikaisesti, tieto kulkee edestakaisin eri suunnittelutoimijoiden välillä useissa kierroksissa. Puutteellisen suunnittelun hylkäämisen yhteydessä, suunnittelu on työstettävä uudelleen. (Svalstuen ym. 2017). Knotten ym. (2015) puoltavat, että mitä monimutkaisempia prosessit ovat, sitä suurempi tarve synkroniselle kommunikaatiolle.

2.4.1 Viestintä ja digitalisaatio

Hyvä viestintä on avaintekijä digitalisaation onnistumissa. Täten, yritysten tulee olla luovempia suhteessa käytettyihin sosiaalisiin kanssakäymisen kanaviin. Yritysten täytyy mahdollistaa uusia ja tehokkaampia työskentelytapoja sekä kannustaa muutoksia asenteissa ja käyttäytymisessä. Yksi potentiaalinen muutos olisi ottaa käyttöön interaktiivisempia alustoja kuten sisäinen sosiaalinen media, joka tukee organisaation sisäistä ja avointa keskustelua. (Stoyanova 2020). Jotkut ammattilaiset

ovatkin asteittain ehdottaneet muutoksia menetelmiin ja teknologioiden soveltamiseen, joiden tarkoituksena on ratkaista ongelmat ja määritellä uudelleen teollisuuden perinteistä rakennetta (Pattini ym. 2021). Ensimmäinen sysäys muutokseen on tiedonvaihdon digitalisoinnissa, joka edellyttää prosessisuhteiden ja lähestymistapojen uudelleenorganisointia (Mosey ym. 2016).

Tiedonkulku on korjaushankkeen onnistumisen kannalta olennaista. Projektin digitaaliset alustat tarjoavat kaikille tiimin jäsenille välittömän pääsyn projektitietoihin, mikä nopeuttaa tiedonkulkua. Videokonferenssit helpottavat kommunikointia muiden osallistujien kanssa jopa pitkiä matkoja. (Sozen & Sagsan 2009).

BIM-tietomallia on ehdotettu työkaluksi tukemaan projektin yhteistä kehittämistä. BIM-tietomalli on projektin eri sidosryhmille jaettu alusta, joka sisältää kaikki projektiin liittyvät dokumentit ja tiedot. BIM edistää tiedon jakamista ja yhteistyötä osapuolten kesken. (Antwi-Afari ym. 2018). Tietomallia käyttämällä voidaan automatisoida suunnittelun päivittyminen yhdessä näkymässä kun mallia muokataan ja muille mukana oleville toimijoille voidaan välittömästi ilmoittaa tarvittavista muutoksista (Hardin, 2015). Tämä hyödyttää projektia vähentäen suunnittelun iteraatioita ja uudelleentyöstöä, mikä säästää aikaa ja estää kustannusten ylitykset (Al Hattab & Hamzeh 2013). Pattini ym. (2021) korostavat, että digitaalinen ympäristö vaikuttaa merkittävästi ihmissuhteisiin tukemalla koko projektin suunnittelua ja toteutusta sekä sen kehityksen visualisointia.

Tiedon virtauksen hallinta tuotannonhallinnassa on yksi koko projektin tehokkuuteen vaikuttavista kriittisistä näkökohdista. Nykyään ilman asianmukaista viestintäliittymäprotokollaa *Messaging-Interface Protocol* tuotannonhallintajärjestelmän perustana, organisaatiot eivät pysty kehittymään vastaamaan uusia liiketoiminnan tarpeita. (Dave ym. 2014). Tehokas tuotannonhallintajärjestelmä perustuu tarkan ja oikea-aikaisen tiedon saatavuuteen. Työmaan ja toimiston välillä tarvitaan erittäin yhteentoimiva viestintäjärjestelmä, joka tarjoaa tietoa työtehtävien statuksesta reaaliajassa. Tiedonkulku vaikuttaa merkittävästi kaikkiin muihin resurssivirtoihin, näin ollen sitä on varsin tärkeää hallita kevyen tuotannonhallinnan osalta. (Dave ym. 2010 ja Sacks ym. 2010).

Ylimääräiset kustannukset rakentamisessa syntyvät viivästyksistä, laatukustannuksista, jälkitöistä, tarpeettomista kuljetusmatkoista, pitkistä etäisyyksistä, tehottomista johtamis- tai laitevalinnasta sekä huonosta rakennettavuudesta (Alarcon, 1997). Tutkimukset osoittavat, että hukkaa syntyy usein huonosta tiedonhallinnasta (Svalstuen ym. 2017). Love & Li (2000) osoittavat, että rakentamisen aikana lisätyöt syntyvät usein epätäydellisistä ja virheellisistä tiedoista. Loven & Li:n (2000) tutkimus viittaa siihen, että uudelleentyöstöt johtavat työn tehottomuuteen useissa hankkeissa rakennustyömailla.

Samuelson (2003) väittää, että rakennusalan alhaisia tuottavuuslukuja selittää se, että tietotarpeita ja kommunikaatiokäyttäytymistä rakennustyömailla ei tyydytetä riittävästi. Lofgrenin (2007) mukaan rakennustyömaalle siirrettävän tiedon määrä voi olla merkittävän suurta, mikä alentaa usein tiedon laatua työmaalla. Tämän seurauksena rakennustyöntekijät joutuvat suorittamaan hitaita ongelmanratkaisuja ja rakentamisen jälkitöitä (Svalstuen ym. 2017).

2.4.2 Tilannetietoisuus ja visuaalinen hallinta

Yksi visuaalisen hallinnan määritelmistä on tarjota tietoa visuaalisesti tehtävää suorittaville siten, että tietoa voidaan hakea yhdellä silmäyksellä ja siirtää välittömästi tehtävän suorittamiseen. Visuaalinen hallinta pyrkii helpottamaan tehtävien suorittamista tarjoamalla nopean ja oikean käsityksen tehtävästä. Ihmisen näköaisti välittää 80–85 % ihmisen tekemistä havainnoista, oppimisesta, kognitiosta ja toiminnasta (Ripley ym. 2010). Ihmiset ovat huomanneet, miten tärkeässä asemassa näköaistiin luottaminen on tehtävien suorittamisen aikana jo ennen kuin tutkimukset vahvistivat sen tärkeyttä. (Greif 2017).

Tilannetietoisuus eli *Situational Awareness* on lähtöisin sotilaallisista operaatioista, ja se määritellään "ympäristön elementtien havaitsemiseksi aika- ja tilamäärässä, niiden merkityksen ymmärtäminen ja niiden aseman projisoiminen lähitulevaisuudessa". (Endsley 1995). Tilannetietoisuus käsittelee kolme hierarkista vaihetta: elementtien havainnointi nykytilassa, nykytilan ymmärtäminen ja tulevan tilan hahmottaminen (Reinbold ym. 2020). Monissa rakennusprojekteissa kenelläkään mukana olevista johtajista ja työntekijöistä ei ole riittävää tietotasoa tietääkseen nykyisen projektitilanteen, eikä hän siten ymmärrä mitä ja missä tapahtuu, mikä tekee mahdottomaksi ennustaa tulevasta tilasta (Dave ym. 2008; Akinci, 2014). Tietoa rakennusprojektien tuotantovaiheesta, kuten projektitehtävien tilasta, logistisista ongelmista, materiaalien ja laitteiden puutteesta ei yleensä ole saatavilla ja kun ne ovat saatavilla, perustuvat ne viikoittaisiin tapaamisiin ja tilanneraportteihin, jotka ovat usein subjektiivisia (Seppänen 2009).

Kärkkäisen ym. (2019) mukaan projektin ja tehtävän tilasta tietämättömyyttä voidaan korreloida prosessien erittäin alhaiseen läpinäkyvyyden tasoon, työnkulun keskeytyksiin ja ajanhukkaan tiedon etsimisessä päätöksentekoa varten. Tilannetietoisuuden lisääminen tuotantovaiheessa mahdollistaa projektipäälliköitä sekä muita työntekijöitä tekemään parempia ja ennakoivampia päätöksiä. Rakennustyömailla kerättävän tiedon määrä ja laatu lisääntyvät uusien teknologioiden avulla, täten on mahdollista käsitellä kerättyä dataa ja jakaa ne eri rooleihin tuotantovaiheen aikana, syventäen eri osapuolten tietoisuutta projektin nykytilasta sekä lisäten heidän itsenäisyytensä päätöksentekoprosessissa. Nykypäivänä on käytettävissä uusia tekniikoita keräämään reaaliajassa tietoa rakennustyömailla. On välttämätöntä ottaa käyttöön visuaalisen hallinnan laitteita,

jotka tiedonkulun lisäämiseksi tarjoavat digitaalista kerättyä tietoa rakennusprojektien osapuolille, kuten rakennusmiehille ja johdolle tueten päätöksentekoa reaaliajassa päivitetyllä tiedolla. (Reinbold ym. 2020).

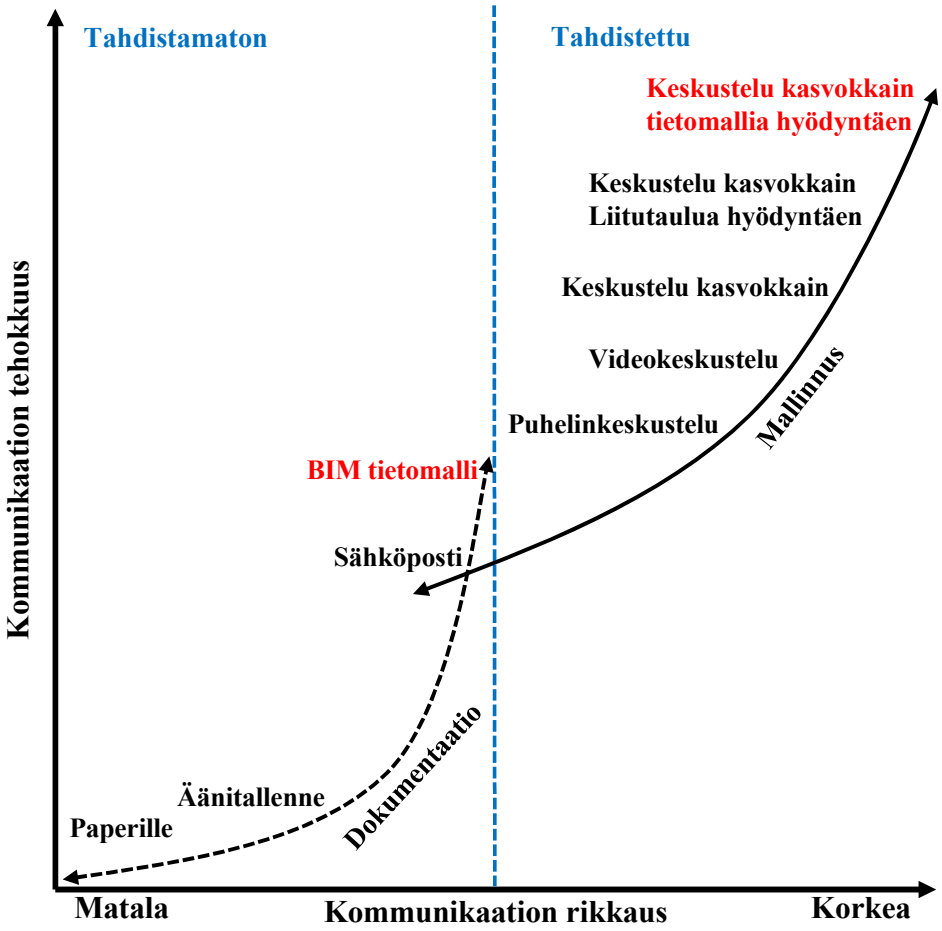
2.4.3 Tiedon virtauksen rikkaus ja tehokkuus

Käsitys siitä, että viestinnällä voi olla eri rikkausasteita, perustuu siihen, kuinka paljon ymmärrystä erityyppiset välitetyt tiedot tarjoavat. Daft ja Lengel (1983) selittävät, että rikas informaatio tarjoaa merkittävää ja uutta ymmärrystä, toisaalta vähemmän rikkaat tiedot tarjoavat vain vähän uutta ymmärrystä. Lisäksi viestinnän erityyppiset kanavat/mediat vaikuttavat suoraan sen rikkauteen. Lengel ja Daft (1988) tunnustavat, että viestintävälineet eroavat kyvystään välittää tietoa ja he korostavat, että mitä enemmän tietoa voidaan välittää median kautta, sitä rikkaampi media on. Lisäksi, Lengel ja Daft (1988) määrittelevät kolme tärkeää ominaisuutta rikkaalle viestintävälineelle:

1) kyky käsitellä useita tietoja samanaikaisesti,
2) kyky helpottaa nopeaa palautetta ja
3) kyky luoda henkilökohtainen fokus.

Reaaliaikaiset viestintävälineet voivat lähettää ja vastaanottaa tietoa reaaliajassa. *Itsedokumentaatiot* ovat viestintävälineitä, jotka voivat tallentaa lähetetyt tiedot tarvitsematta toista tallennuslähdettä, esimerkiksi kun kasvokkain tapahtuva kommunikaatio voidaan tallentaa tallennuslaitteeseen. Tiedon virtauksessa yksi oleellisimmista tekijöistä on suhteellinen aika, jonka lähettäjä käyttää tiedon koodaamiseen ja vastaanottajat sen purkamiseen. On mahdollista lähettää sähköposti lyhyessä ajassa, jossa on linkki 100-sivuiseen asiakirjaan, jonka lukeminen kestää tietysti kauemmin. Tiedonkulun kaistanleveydellä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon informaatiota viestintävälineet voivat välittää tiettynä ajankohtana esimerkiksi kasvokkain tapahtuva tapaaminen välittää sekä ilmeet ja äänensävyt että viestin samaan aikaan lisäksi, jonka aikana vastaanottaja voi esittää kysymyksiä reaaliajassa. Kasvokkain tapahtuva tiedon välitys on rikkaampaa kuin paperidokumentteilla välittyvä viestitys, jonka lukeminen ja siihen vastaaminen kestävät suhteellisesti kauemmin. (Svalstuen ym. 2017).

Amblerin (2002) malli osoittaa, että tehokkain kommunikaatiomuoto on kasvokkain taulun ääressä. BIM-tietomalli on selvästi paljon rikkaampi viestintäalusta kuin liitutaulu ja se mahdollistaa parempaa kommunikointia. Kuva 7. näyttää kuinka BIM-tietomalli ja BIM-laitteet sopivat Amblerin malliin. Kuvaan 7. on lisätty Emmittin määritelmä viestinnästä, viittaen siihen, että on joko asynkroninen tai synkroninen viestinä, mikä tekee kuvan 7. mallista rikkaamman, sillä se antaa selkeämmän kuvan siitä, millainen viestintäkanava pystyy reaaliaikaiseen viestintään. (Svalstuen ym. 2017).



Kuva 7. Amblerin malli. (Svalstuen ym. 2017).

3 Empiirinen tutkimus

Empiirisen tutkimuksen päällimmäinen tavoite on tunnistaa korjausrakentamisen merkittävimmät haasteet. Empiirisessä tutkimuksessa keskitytään myös siihen, että miten yritykset kohtaavat korjausrakentamisen haasteita nykypäivänä. Empiirisessä tutkimuksessa pyritään myös kartoittamaan korjausrakentamisen luonne ja sen yleiset käytännöt.

Tässä luvussa perehdytään tutkimukseen esihaastattelujen ja tapaustutkimusten kautta. Esihaastattelut koostuvat viidestä kysymyksestä liittyen digitalisoituun korjausrakentamiseen. Esihaastattelujen tarkoitus on kartoittaa korjausrakentamisen merkittävimmät haasteet ja tutustua korjausrakentamisen luonteeseen. Esihaastatteluihin osallistuu yrityksiä rakennusteollisuuden eri aloilta, minkä vuoksi on mahdollisuus perehtyä tutkimusaiheeseen eri alojen näkökulmista. Esihaastatteluihin osallistuvat seitsemän eri yritystä. Haastateltavat ovat Suomen johtavia rakennusyhtiöitä, teknisen alan suunnittelu- ja konsulttiyhtiöitä, rakennetun ympäristön digitalisointia edistäviä yhtiöitä, materiaalitoimittajia sekä konevuokraamoja. Esihaastatteluista neljä noudattaa viiden kysymyksen puitteissa suunniteltua haastattelua ja loput kolme haastattelua ovat vapaamuotoiset. Esihaastatteluja varten luodut kysymykset ovat seuraavat:

1. Käytättekö tietomalleja korjaushankkeissa hankekehityksessä, suunnittelussa tai tuotannon ohjauksessa?
2. Mitä digitaalisia työkaluja käytetään rakennuksen olosuhteiden ja lähtötietojen selvittämisessä?
3. Miten lähtötietoja yhdistetään hankkeen tietomalliin ja työnkulkuun?
4. Mitä hankkeen riskejä voisi vähentää paremmilla digitaalisilla työkaluilla?
5. Mitkä ovat esteitä digitaalisuuden hyödyntämisessä korjausrakentamisessa?

3.1 Digitaalisten työkalujen käytön lähtötilanne korjaushankkeissa

3.1.1 Tietomallien käyttö korjaushankkeessa

Esihaastatteluissa tuli ilmi, että kaikki haastateltut materiaalitoimittajaa lukuun ottamatta hyödyntävät tietomalleja työssään. Tietomalleja hyödynnettiin eri tarkoituksiin, kuten suunnitteluun, korjaushankkeen tilanteen hahmotukseen ja koordinointiin. Suunnittelua varten korjauskohde skannataan ja siitä saadusta raa’asta datasta muodostetaan pistepilvi, jota integroidaan olemassaolevaan tietomalliin. Täten, suunnittelijoilla on mahdollista suunnitella tietomallipohjaisesti olemassa olevan rakennuksen todellisilla geometrisillä mitta-arvoilla. Korjaushankkeen tilanteen visualisointia hahmotusta varten hyödynnettiin hankkeen tai töiden edistymisen seurantaa ja esitystä varten. Erityisesti COVID-19 pandemian aikana, kun työmaavierailulle ei päästetty ulkopuolisia, työmaanjohto esitti muilla visuaalisilla menetelmillä hankkeen edistymistä tilaajalle, viranomaisille tai muille kolmansille osapuolille. Tietomalleja käytetään työmaalla myös koordinointia

varten. Varsinkin kun on kyseessä iso korjaushanke, niin tietomallista otetuilla näyttökaappauksilla voidaan erittäin nopeasti esittää jonkin detaljin sijainti.

Tietomallien käyttö tietysti vaihtelee hankkeitain. Jos on isompi hanke, niin käytetään tietomallia niissä ja jos puhutaan korjausrakentamisessa siinä pitää hyväksyä sen mallin tarkkuuden rajallisuus. Mikä tahansa se malli ei voi olla eikä korjausrakentamisessa hyödynnetty malli voi olla yhtä tarkka mitä se on uudisrakentamisessa, missä tehdään kaikki koneella. H1.

Muutamassa hankkeessa on ollut vain pistepilvet, tällöin ei tiedetä siitä mallista muuta kuin, että se on joku pinta, eli siellä on jotain. Sinulla on vain "Surface Mesh", sinulla ei ole selkää tietoa mitä sen takana on, onko se esimerkiksi betonia tai kevytseinää. Tämä on se usein se ongelma. Monessa hankkeessa nähty se, että kun on vanhojen rakennesuunnitelmien mukaan mallinnettu rakenteet, ne eivät sitten tosielämässä aina pidä paikkaansa. Etenkin jos on vaikka 50- 60-luvulla rakennettuja taloja, niin niiden rakennekuvat ovat erittäin suuntaa antavia. H1

Yhdessä kouluhankkeessa kaikki tekivät hienoa työtä ja mallinsivat rakennuksen ja sitten kun rakenteet oikeasti avattiin, niin mikään siitä ei pitänyt paikkaansa, tämä on se ongelma. H1

Lähtötietojen saatiin liittyen, tässä parin viime vuoden aikana on kehittynyt hurjasti ja meillä on omat tuotantoyksiköt, kehitysosasto kehittänyt 360-kuvaaminen. Sitä me ollaan käytetty sähkösuunnitteluun, siitä ei mitään röntgen kuvaa saa, mutta sillä kumminkin pystymme välttämään turhia työmaakäyntejä. Pystymme dokumentoimaan 360 jokainen huone sujuvasti kävellen sieltä. Se on tavallaan nopeuttanut ja helpottanut monissa peruskorjaushankkeissa meidän toimintaa. H1

Tietomalleihin liittyen haasteeksi muodostuu aina se, että kuinka tarkkaan ne olemassa olevat rakenteet kuitenkaan ovat siinä mallissa. Suunnitelmat muuttuvat aika vauhdikkaasti, niin kaikki suunnittelijat eivät edelleenkään jostain syystä suunnittele mallipohjaisesti. Edelleen osa suunnittelijoista suunnittelee 2D:nä ja sitten vasta suunnitellaan malliin. On paljon vanhoja rakenteita, niin mallintaminen ei ole samalla tavalla kuin uudisrakennuskohteissa. Korjausrakennushankkeen tietomalleihin en uskalla luottaa ihan samalla tavalla kuin uudisrakennushankkeen malleihin. H2

Meillä mallit valmistuvat yleensä silloin kun asennus on tehty paikan päällä, niin todetaan, että miten rakennustyöt on tehty. Ne ovat lähinnä hahmotukseen, mutta hyvin vähän siitä on ollut oikeasti hyötyä. Tietomallien pitäisi pohjautua siihen, että olisi kaikki paikat avattuja ja oikeasti päästy laserkeilaamaan ja mittaamaan, jotta tietomalli vastaisi todellista tilannetta. H3

3.1.2 Digitaaliset tiedonkeruutyökalut rakennuksen olosuhteiden ja lähtötietojen selvittämisessä

Yleisin digitaalinen tiedonkeruutyökalu osoittautui esihaastatteluissa olevan laserskanneri. Muita hyödynnettyjä olosuhdemittareita olivat kosteus-, lämpö- ja pölymittarit sekä lämpökamerat ja antureita valun kuivumisen seurantaan. Seinien, lattian tai katon sisäisiä rakenteita raudoitteita lukuun ottamatta ei kuitenkaan voida tiedonkeruutyökaluilla havaitsemaan. Esihaastatteluissa myönnettiin, että paras keino saada selville rakennuksen sisäiset rakenteet, on purkaa rakenteet auki, jotta todelliset dimensiot, haitta-aineet ja ynnä muut yllätykset saadaan yhdellä kerralla selville. Täten, hankkeen myöhemmissä vaiheissa vältytään uusista mahdollisista yllätyksistä, vähentäen iteraatiokierroksia sekä säästäen rahaa ja aikaa.

Jos hanke on normaalia isompi, niin on usein myös tietomalli koordinaattori, mikä yhdistää eri suunnittelualueen mallit ja tekee niistä erilaisia tarkasteluja joko aistinvaraisesti silmillä tai sitten suorittaa koneelliset törmäystarkastelut. H1

Raudoitteita pystytään kartoittamaan etukäteen. H2

Laserkeilausta ollaan käytetty ja se liittyy siihen tietomalliin. Minulla on kokemusta etäluettelosta, olosuhdehallinnasta sekä rakenteista, että perusolosuhteesta, mikä mielestäni nykyään pitää käytännössä olla, jos halutaan luotettavasti saada työmaaolosuhteita. Lisäksi, lämpökameraa ja tämän tyyppisiä tiedonkeruulaitteita on ollut hankkeen alussa käytössä, kun rakenteita vielä selviteltiin. H3

Lämpömittari. Piikkauskoneella purkaamalla saadaan selville yllätykset. Kohteet laserkeilataan, kun purkutyö on tehty. Olosuhteenseurantaan, meillä on kohteissa antureita mittaamassa läpötilaa, kosteutta ja pölyjä. Sitten kuivumista me seurataan erilaisilla antureilla, joita laitetaan valuun tai rakenteen sisään. H4

3.1.3 Lähtötietojen yhdistäminen korjaushankkeen tietomalliin ja työnkulkuun

Esihaastatteluihin osallistuneet yritykset korostivat laserkeilauksen merkitystä lähtötietojen yhdistämisessä korjaushankkeen tietomalliin. Olemassa olevien rakennusten lähtötiedot ovat haastateltujen mukaan lähinnä suuntaa antavia kuin sen verran luotettavat, joiden pohjalta voitaisiin suunnittella. Täten, yleistä oli purkaa rakenteet, laaserkeilata tilat ja integroida rekisteröity pistepilvi korjaushankkeen tietomalliin. Tietomallin avulla työnjohtojen kesken pidetään palavereja, joiden aikana katsotaan missä vaiheessa projektissa tai työvaiheessa mennään. Tietomalli selkeyttää työnkulun esittämistä palavereiden aikana.

Käytännössä kaikki hankkeet missä itse olen ollut, niin projektipankki on ollut se, minkä kautta tieto virtaa. Sielä ovat mallit, suunnitelmat, asiakirjat ja muut dokumentit. *Main Hub* on projektipankki mikä on meillä käytössä. Projektipankissa on kansioista muodostunut puurakenne ja siellä on tietovaranto millä kaikki urakoitsijat, suunnittelijat ja rakennuttajat elämme. Eli sinänsä tietyt järjestelmät eivät ole keskenään yhteydessä, mutta tavallaan se dokumentaatio on sillä lailla järjestäytynyt. H1

Jos kyseessä on varsinkin korjausrakentaminen, niin jos mitä enemmän tietoa on saatavilla sieltä työmaalta, niin se helpottaa ymmärtämään mitä tapahtuu varsinkin silloin kun muutetaan suunnitelmia. H1

Meidän työjohtajan ja aliurakoitsijan työjohdon kesken pidetään katselmuksia järjestelypalavereita mallin alla, katsotaan mitä taloteknisiä töitä on edessä lähiviikkoina ja etukäteen katsotaan ne kipukohdat mitä siellä on ja tulee olemaan. Tietomalli on jatkuvassa käytössä ja sitä hyödynnetään koko ajan. Lisäksi, jokaisessa hankkeessa on projektipankki, jonne tallennetaan kaikki. Se on nähtävissä kaikille, joilla on oikeus. H2

Yleisesti kun hahmotetaan hanke tilaajalle, niin tietomalli on ehdoton koska tässä on kaikkea erityistä tekniikkaa, myös esitysmekaniikkaan liittyviä asioita, joita taas 2D suunnitelmissa on hirveän vaikeaa esittää. Digitaalinen suunnittelumalli, jossa on kaikki yksityiskohdat esitettynä, on mielestäni tilaajan hahmottamisen kannalta välttämätön. Kerran viikossa tai joka toinen viikko tehdään pieni elokuva, jossa uudet asiat mitkä ovat tapahtuneet työmaalla kuvataan, jonka päälle työmaapäällikkö selostaa niin, että video menee hyvässä muodossa rakennuttajalle, suunnittelijoille ja myös viranomaisille. Se on ihan näppärä tapa levittää informaatiota ja tämmöinen elokuva on hyvä ja se on saanut hyvää palautetta rakennuttajalta ja suunnittelijoilta ja viranomaisilta. H2

Lähtötietietoja yhdistetään tietomalliin ja työnkulkuun meillä sillä tavalla, että siitä oltiin tehty tässä hankkeessa semmoinen prosessikaavio, jossa näkyi missä järjestyksessä laserkeilaus suoritetaan ja saadaan keilaustieto suunnitteluryhmälle tietyiltä osalohkoilta. Suunnitteluryhmien perusteella on tiedossa, että kuka sen tiedon tallentaa ja kuka alkaa sitä hyöyntämään, kuten rakennessunnitelija, talotekninen suunnittelija ja sitä kautta reikäsuunnitteluun liittyvät prosessit ja se että miten se näkyy tänne meille asti. Me otamme sitten lopputulemana, että mittatiedot täsmentyvät ja sitten tietenkin reikäsuunnittelu. H3

Korjauskohteessa pitäisi olla inventointimalli riittävän luotettava, että saadaan siitä tilamallista käyttökelpoinen. Ennen kuin inventointimalli saadaan tehty, niin täytyy tehdä ensin esitutkinta. Se menee siinä pieleen, kun mitat eivät täsmää. Tavallaan se hyöty siitä mallista häviää. H4

3.1.4 Riskien minimointi paremmilla digitaalisilla työkaluilla

Digitaaliset työkalut mahdollistavat sujuvampaa tiedonkulkua ja tiedon vaihtoa, mutteivät suoranaisesti poista riskejä, vaan helpottavat niiden käsittelyä. Digitalisaatiolla on mahdollista lisätä eri osapuolien tietoisuutta korjaushankkeen tilasta tai työtehtävistä. Mikäli, digitaalisilla työkaluilla voitasiin tunnistaa tärkeimmät työt ja priorisoida ne tärkeysjärjestykseen, niin muille hankkeen osapuolille olisi myöskin selvää työtehtävien tärkeysjärjestys.

Digitaalisilla työkaluilla voidaan myös vähentää turhia työmatkoja. Esimerkiksi BigRoom tapaamisia voidaan pitää etänä tai hybridinä, jolloinka tapaamisiin voidaan osallistua joko paikan päällä tai muualla.

Digitaalisilla työkaluilla voidaan minimoida väärinymmärryksiä eri osapuolten kesken dokumentaation avulla. Esimerkiksi digitaalinen hankintajärjestelmä tallentaa tilaukset, joihin on kirjattu sekä materiaalitoimittajan, että työmaalla kirjattu tuotenumero. Täten voidaan välttyä väärien materiaalien toimittamisesta työmaalle sekä jos työmaalla hankintoja tekee useampi henkilö, niin kaikki osapuolet ovat tietoisia tulleista ja tulevista materiaaleista.

Jos tämmöinen asiakin tunnistetaan, sillä heti kärkeen, että tämä on ykkösjuttu hoitaa tietyllä osapuolella ja mitkä ne tärkeimät asiat on mitä sitten laserkeilauksesta halutaa, mitä suunnittelija tarvitsee, niin tottakai se poistaa sitä suunnittelun aikataulusta riskiä ja muuta. Mutta sen pitää olla jo tiedossa siinä heti ennen kuin tullaan työmaalle, että missä vaiheessa se tehdään ja niin pois päin. H1

Korona on tuonut tullessaan sen, että kaikki palaverit työmaalla on vähentynyt ja että iso osa porukoista tekee töitä kotona. Projekti-insseistä osa voi tehdä osa töistään kotona ja suunnittelijat voivat melkein tehdä koko ajan kotona töitä, jos haluaa ja valvontaakin voidaan osittain tehdä kotona kun on näitä apuvälineitä olemassa että ovat kyllä työtavat muuttuneet koronan takia jonkun verran. Kun teams on valittu työtavaksi niin jotenkin tuntuu, että kokouksia on entistä enemmän, toisaalta siinä on se hyvä hyöty, että turhaa aikaa matkustamiseen/liikkumiseen ei mene. Usein kokouksessa joku kellä ei ole hirvesti asiaa, tekee muita hommia siinä sivussa, niin tämä teams helpottaa ja mahdollistaa sen vielä paremmin. Kuusi tuntia kokousta niin voi olla että jollain henkilöllä on vain kaksi minuuttia asiaa. H2

3.1.5 Esteet digitalisuuden hyödyntämisessä korjaushankkeissa

Digitalisuuden hyödyntämisen suurin este on se, että olemassa olevan rakennuksen lähtötietoihin ei voida luottaa, jotta niiden avulla voitaisiin luoda tietomalli. Ennen tietomalipohjaiseen suunnitteluun pohjautuvaa rakentamista, rakentaminen ei ole ollut yhtä tarkkaa eikä rakennuksen käytönaikaisia muutoksia välttämättä ole dokumentoitu. Tämä on yleisin haaste digitalisuuden hyödyntämisessä korjausrakentamisessa.

Yksi este digitalisuuden hyödyntämisessä on osaamisen puute, digitaalisia työkaluja ja ohjelmia on suuria määriä ja ne kehittyvät jatkuvasti. Yritykset suosivat erilaisia ohjelmistoja ja työkaluja, täten tiettyjen ohjelmistojen ja työkalujen osaaminen on yrityskohtaista. Lisäksi, tähän liittyen ongelmaksi muodostuu myös se, että miten nämä järjestelmät ja ohjelmistot keskustelevat keskenään? Tietyissä tapauksissa vaikka nämä ohjelmistot keskustelisivat yhdessä, tietokatoa voi silti tapahtua, jossa tiedon laatu heikkenee.

Meidän pitää pystyä luottamaan niihin olemassa oleviin kuviin ja dokumentteihin. 30-50 vuotta sitten valmistuneeseen rakennukseen, on vuosikymmenien aikana tehty

käsittämätön määrä muutoksia, jotka eivät yksiselitteisesti ole dokumentoituina. Nämä ovat meidän toimialan selkeästi ongelmakohtia, mitkä eivät ole ihan helposti ratkaistavissa. H1

Sähkölaitteiston käytönjohtajan tulee pitää huoli siitä, että käyttöpiirustukset ovat ajan tasalla. Valitettavasti 0% hankkeista tähän mennessä, näin on tapahtunut. Joskus varmasti tulee päivä, jolloin kaikki olisi ajantasaista ja kaikki tiedot olisi järjestelmässä, milloin se olisi ja missä muodossa, niin ovat oman tarinansa. H1

Rakentajat aina haaveilevat siitä että olisi paremmat lähtötiedot tai kuntotarkastukset oikeasti tehty huolella. Tässä hankkeessa toki on, mutta en usko, että läheskään kaikkialla. Tietysti on noista vanhoista rakennuksista piirrustukset, mutta nekin ovat 100 vuoden takaa, niin ei sitä tiedä, että onko nyt ihan samanlainen rakennetyyppi olemassa ihan kaikkialla rakennuksessa. H2

On sellaisia toiveita, että kuntokartoitus vietäisiin malliin, mutta eihän kellään riitä rahat kuitenkaan sellaseen lähtötietoon, että olisi mallissa sillä tarkkuudella, että siihen voitaisiin oikeasti luottaa. H2

Yksi este on osaaminen, eli ohjelmistot ja laitteet kehittyvät jatkuvasti ja niihin tarvitaan erityisosaamista. Sitten on erilaisia järjestelmiä, erilaisia ohjelmistoja, keskustelevatko ne keskenään? Tiedonhallinta mikä näissä isommissa hankkeissa on, joissa on kymmeniä toimihenkilöitä siellä hoitamassa, niin miten se tieto liikkuu ja millä foorumeilla. Tieto voi tosiaan liikkua monella eri tasolla ja moneen eri suuntaan niin se on yksi este. Sitten eri suunnittelijoilla, suunnittelutoimistoilla voi olla erilaiset suunnitteluohjelmat ja kaikki mistä me emme edes tiedäkkään. Sitäkin ongelmaa ollaan kuultu, että siellä heidän keskenään eivät ohjelmistot keskustele tai ei tieto liiku tai muuta vastaavaa. H3

Edellisessä yrityksessä oli monta eri kehitystä käynnissä ohjelmistomuutosten kanssa jotka eivät keskustele keskenään. Se on yksi este, mutta kyllä tämä digitalisaatio on yleisesti semmonen tieto mitä suunnittelijalla on tuolla ja mikä helposti saa CADistä; määrä, massa, tieto ja ynnä muuta niin siinä on semmoista minkä voisi soveltaa hankkeessa enemmänkin ja sitten tätä tietomallin hyödyntämistä vielä enemmän. Että sillä on valtava potentiaali minun mielestä tietomallissa mitä voi hyödyntää ja mikä edesauttaa hankkeen kaikkia osapuolia. H3

Täytyy saada alakatot auki, ja päästä mittaamaan vanhat palkit sieltä ja nehän tuovat ne ongelmat siinä. Se on hyvä systeemi tehdä, mutta tilaajan pitäisi tehdä se jo paljon aikaisemmin ennen kuin ne suunnitelmat tulevat meille. Ne tulevat aina myöhässä meidän aikataulussa, tulevat silmille vasta silloin kun lähdetään toteuttamaan. H4

3.1.6 Digitaalisella tiedolla johtaminen korjausrakentamisessa ja digitaalinen kaksonen

3.1.6.1 Digitaalinen kaksonen ja korjausrakentaminen

Haastateltu korosti, että olemassa oleviin rakennuksiin tulisi asentaa postimerkin kokoisia sensoreita, joista tekisi sitten digitaalinen kaksonen. Tämä investointi maksaisi itsensä takaisin rakennuksen tulevien korjausten yhteydessä.

Saavatko kaikki jotka haluaavat korjausrakentaa tulevaisuudessa rahoitusta rahoituslaitoksista? Ikävä kyllä, eivät saa. Syy siihen:

a) ne eivät ole kestäviä kohteita
b) ne eivät ole dokumentoineet kohteen.

Pankki rahoittaa mielummin sen kohteen, jota ollaan mallinnettu ja jonka edistymistä he voivat seurata. On olemassa paljon asuintaloja, joissa asuu paljon ihmisiä ja jotka eivät tulevaisuudessa saa rahoitusta. H5

Korjausrakentamista voidaan tehdä fiksusti silloin kun huomioidaan, että korjausrakentaminen pitää tehdä 100 vuoden aikana. Kun suunnitellaan kaupunkia ja kaupungissa olevat korjattavat kiinteistöt ja muut infrastruktuurit, täytyy huomioida sitä korjausrakentamista, jota tullaan tekemään jossain vaiheessa rakennuksen elinkaarta.

On olemassa Greenfield ja Brownfield rakennuksia. Brownfield rakennus on rakennus, jota korjausrakennetaan ja mikä on kauan aikaa sitten rakennettu. Greenfield on rakennus, jota korjausrakennetaan ja mikä on vähän aikaa sitten rakennettu. Greenfield ja Brownfield rakennusten välinen ero on erittäin suuri, Brownfield rakennuksen asiakirjat tulee digitalisoida, mutta Greenfield rakennukselta löytyvät digitaaliset asiakirjat, sillä se on tietomallipohjaisesti rakennettu.

Jos olisi mahdollista kerätä dataa rakennuksesta, niin meillä olisi erittäin paljon helpompaa suorittaa korjausrakentamista operointi vaiheessa. Täten olisi mahdollista saada korjaushankkeen läpimenoajat ja jopa rakennusmateriaalien kierrätysajat. Digitaalisella kaksosella olisi mahdollista arvioida, että kun PTS:n mukaan kolmen vuoden päästä tuo rakennus puretaan, niin olisiko kiinnostuneita ottamaan raaka-aineita johonkin toiseen projektiin? Lisäksi, jos rakennettu ympäristö olisi täynnä sensoreita, niin olisi mahdollista ennakoida korjausrakentamista ja huoltotoimenpiteitä, joilla voidaan välttää ylimääräistä korjausrakentamista.

Jos tulisimme valmiimpaan pöytään, kun tullaan uuteen kohteeseen, meillä olisi digitaaliset tiedot olemassa, niin se on selvä, että läpimenoaika paranisi merkittävästi. Ongelmana tällä hetkellä on se, että aika pitkälti, se ensimmäinen

vaihe on suuntaa ihmettelyä. Missä on? Mistä saadaan? Kuka tietäisi? Alihankkijat ihmettelevät vielä enemmän mitä pitäisi tehdä, sitten eskaloituu ja kumuloituu ongelmat siitä, kuka tietäisi? Mistä saataisiin piirustukset? Kuka tietää materiaalit? Vaikuttaa siltä, että asiat tehdään korjausrakentamisessa niin epäoptimoitusti. H5

3.1.7 Digitaalisella tiedolla johtaminen korjausrakentamisessa ja konevuokraus

3.1.7.1 360 asteen skannauspalvelu

Ison työmaan seurantaan voidaan hyödyntää 360 asteen skannauspalvelua, joka perustuu lasertekniikkaan. 360 –asteen skannauspalvelun idea on pitkälti samanlainen kuin Google Street View. 360 –kuvanäkymän voi muuttaa pistepilvinäkymään ja nähdään saman kohteen pistepilvinäkymänä. 360 skannauspalvelu toimii selaimessa, eikä siihen tarvita mitään ohjelmistoa. Siinä voidaan esimerkiksi ottaa korkeusmitta ja sen voi tehdä muutaman millimetrin tarkkuudella riippuen minkä kokoinen kohde on. Mittaukset voidaan tehdä etänä ja kohteeseen voidaan tutustua etänä. 360 asteen skannauspalvelussa on mahdollista tarkastella eri datasettejä päivämäärän mukaan, eli voidaan tarkastella kohteen 360 –kuvia päivämäärän mukaan. Tällä ominaisuudella voidaan aina palata edellsiin datasetteihin ja nähdä esimerkiksi sisäisiä rakenteita.

360 skannauspalvelussa voidaan luoda POI kohteita ja kategorisoida ne sekä tehdä materiaalitilauksia. Sitten kun POI kohteen on tehnyt niin kuka tahansa, joka käyttää tätä järjestelmää voi nähdä tässä POI kohteen.

Voi olla esimerkiksi niin, että tilaa porakoneen tähän, niin tilaus tuodaan oikealle paikalle esimerkiksi seuraavana aamuna, niin porakone on sitten tässä valmiina, kun seuraavan aamuna työt alkavat. H6

POI kohteella voidaan kommunikoida turvallisuushavainnoista, perehdytyksestä. POI kohteeseen voit myös lisätä liitteitä, kuten pdf tiedostoja tai kuvia ja sen pystyy sitten avata ja katsoa sen sisältöä. POI kohteelle voidaan antaa erilaisia arvoja, kuten esimerkiksi, kuka sen voisi nähdä tai editoida. 360 skannauspalvelussa löytyy latitudi, longitudi koordinaatit ja korkeusasema millimetrin tarkkuudella, että mihin tämmöiseen mitattuun laaserkeilattuun pisteeseen kiinnittyy havainto. Havainnon kiinnitetään yleensä yhteen laaserkeilattuun pisteeseen. Lisäksi, POI kohteeseen voi laittaa eri tärkeysasteeseen. Lisäksi, voit kutsua rakentajan, tilaajan, suunnittelijan ja kaikki muut osapuolet Microsoft Teamsiin ja näytät että tässä tämä on, tässä on mitat, ikään kuin itse olisit työmaalla mutta et ole työmaalla.

Tulevana viikonloppuna kuvataan kaksi tehtaan laajennusta ja siellä me kuvataan kohdetta ja lähetetään materiaalit suunnittelijoille ja suunnittelijat lähtevät sen olemassa olevan todellisuuden pohjalta suunnittelemaan laajennusosaa siihen tehtaaseen. H6

Kuvaus täytyy saada siihen vaiheeseen että, siitä saataisiin koko hyöty ulos. Onhan tällä mittauksella hinta, jotta se business case olisi mahdollisimman hedelmällinen, niin käyttää kuvaa kaikessa mahdollisessa mihin se soveltuu siellä kohteessa sitten. H6

Meillä on tapauksiakin missä on pääurakoitsijan toimesta käyty mittaamassa kesken työmaan ja pääurakoitsija on sanonut ääneen, että te ette kerro tästä sitten tilaajalle, että tämmöinen on tehty. Kysyin miksi? He sanoivat, että he pääsevät sitten omalta työpisteeltä katsomaan mitä täällä tapahtuu ja me emme haluta sitä. Suomessa tiedonjakamisen kulttuuri on vähän tämmöinen. Korjausrakentamisessa on havaittu, että ne urakoitsijat eivät ole ihan tämän päivän lainsäädännön tasolla. H6

Haastateltu yritys hyödyntää olosuhdemittareita, joista saadaan dataa reaaliajassa. Betonin kuivumista seurataan betonin lämpötila- ja kosteusmittareilla, jotka ovat langattomia ja toimivat WLAN verkossa. Betonin lämpötila- ja kosteusmittareiden lisäksi löytyvät myös pölymittareita, huoneenlämpötila ja kosteusmittareita, joilla saadaan yhteensä viisi eri mittausta per yksi mittauskohde. Mittausdatat lähetetään reaaliajassa Smart portaaliin, missä voidaan seurata kohteen olosuhteita.

Kun on purettavia osia, niin 360 asteen skannauspalvelulla on suhteellisen helppoa laskea purettavat massat, jos rakennuksen osa puretaan. Voidaan esimerkiksi laskea kätevästi betoninmäärää, kierrätettävän betonin määrä, IV-kanavien määrä ja muuta kierrätystietoa. 360 asteen kuvalla massojen määrittäminen on osoittautunut olevan tarkempi tapa, kuin perinteinen tapa mennä työmaalle mittanauhan kanssa mittailemaan ja katselemaan vanhoja piirustuksia.

360 asteen skannauspalvelun suurin rajoite on kiinteistön ulkotilojen kuvaaminen. Pakkasta ei kauheasti saisi olla ja sadetta, räntää tai luntaa ei saisi olla ollenkaan, sillä se kirjaa vesipisarat mukaan dataan ja täten sotkee materiaalin totaalisesti.

3.1.8 Digitaalisella tiedolla johtaminen korjausrakentamisessa ja materiaalitoimitus

Materiaalitoimitusten kuljetussuunnittelua varten käytetään kuljetuksen seurantajärjestelmää, jolla suunnitellaan reitit. Kuski ajaa mobiililaitteella ja asiakkaalle lähetetään kaksi tekstiviestiä kuljetuksen aikana, yksi alustava tieto, että tilaus on lähtenyt varastosta ja kun auto on lähtenyt edellisestä pysähdyksestä, niin siitä tulee toinen viesti, että tavarat toimitetaan ja asiakas voi seurata lähetystä kartalta. Seurantajärjerselmällä voidaan myös järjestää sovittuja kellonaikoja, tarjoamalla täsmäpalvelua tai pikapalvelua.

Muita digitaalisia järjestelmiä materiaalitoimittaja eivät käytä. Materiaalitoimittaja pyrkii siihen, että he pystyvät liittymään rakennusliikkeen tilausjärjestelmiin / toiminnanohjaukseen, jolla voidaan nähdä mitä materiaalia tarvitaan ja mihin sitä tarvitaan. Haastateltu ei näe, että olisi haasteita digitalisaation hyödyntämisessä. Materiaalitoimittajan toimintajärjestelmä on kohtuulisesti liitettävissä muihin

ulkopuolisiin järjestelmiin. Materiaalitoimittajan näkökulma digitaalisaatiosta on se, että he pystyisivät vähentämään riskejä digitaalisia työkaluja hyödyntäen, kun saadaan tilaukset yhdestä järjestelmästä toiseen ja saadaan ne vielä oikealla tuotenumerolla. Täten on mahdollista vähentää riskejä, sillä kun on manuaalisia tehtäviä tilausten aikana, niin joku voi näppäillä väärin ja tulee väärää tavaraa.

3.1.8.1 Materiaalitoimitus ja tiedon virtaus

Haastattelussa korostui se, että materiaalitoimittajien yhteys työmaiden kanssa tulisi vahvistaa, jotta liikenne saataisiin muulla tavalla etenemään kuin sähköpostilla tai soittamalla. Haastateltut korostivat, että tilaukset, rahaliikenne ja logistiikka olisi järkevää hoitaa hyvin pitkälti sähköisesti. Materiaalitoimittajat ovat huomanneet, että kaikki toimivat omilla järjestelmillään, mutta mikään järjestelmä ei toimi toistensa kanssa. Tämä on materiaalitoimittajan yksi merkittävimpiä ongelmia, mikä on erityisesti Building 2030 hankkeessa noussut esille, eli nimenomaan tiedon virtaus ja tässä tapauksessa esimerkiksi sähköinen tuotetieto, milloin ja millä tasolla tieto kulkee. Materiaalitoimittajat käsittelevät tilauksia ja tuotteita kauppanimikkeillä ja työmaa käsittelee samoja tilauksia ja tuotteita muilla nimikkeillä tai tuotekoodeilla.

Suomessa materiaalitoimittajien toimialalla yksi suurimpia haasteita on se, että erilaisista yrityksistä huolimatta, ei olla varmoja, mikäli tieto on siirtynyt eteenpäin, kuten on pitänyt. Lisäksi, haasteeksi muodostuu myös se, että on mielettömän paljon tuotteita ja nimikkeitä, jotka ovat projektikohtaisia ja joita on modifoitu juuri yhteen ainoaan projektiin. Haastateltun mukaan suurin osa näistä tuotteista ovat aika isoja tuotteita ja lähes kaikki tuotteet, jotka kulkevat työmaalle olisivat ennakkolähetyksellä hoidettavissa, mikäli tiedon virtaus olisi yhtenäinen ja tehokas ja jos olisi selkeät standardit, joiden mukaan siirrytään järjestelmästä toiseen. Tehokas tiedon virtaus ja selkeät tiedon vaihdon standardit helpottaisivat materiaalitoimittajien ja työmaan sähköistä kommunikaatiota.

Nyt kukaan ei hallitse tietoa, kun sitä siirtyy vain suusta suuhun. Valtava informaatio häviötä. H7

Virheitä syntyy, kun puhelimessa tilaa ja tilaaja sanoo ”laita sitä” sitten myyjä kysyy ”no onko se tämä?” ja tilaaja sanoo ”no se minkä laitoitte viimeksi.” sitten myyjä joutuu hakea vanhan tilauksen ja koittaa löytää sen ja tilaaja sanoo ”en minä tätä tarkoittanut” ja käy hakemassa tuotteen takaisin toimittaen uutta tilalle. Tällaista hukkaa syntyy kyllä ihan jatkuvasti. H7

Olemme havainneet, että merkittävästi kasvaa nimenomaan täsmätoimitukset ihan näissä meidän normaalivarastotoimituksissa ja kasvaa myös pikatoimitukset, se kertoo aina siitä, että heidän työ on myöhässä ja silloin on hätä. Tavarat pitää saada 4 tunnin sisällä työmaalle, se kertoo huonosta suunnittelusta. Jotenkin kaikille on tärkeää saada toimitukset aamulla työmaalle, sekin kertoo minun mielestä siitä, että ollaan taas myöhässä siinä suunnittelussa. Käytetään yhä useammin pikatoimituksia tai kiireämmän aikataulun toimituksia, niin kertoo minun mielestä enemmän siitä

huonosta suunnittelusta kuin siitä, että se aito tarve on olemassa. Pääkaupunkiseudulla parhaimmillaan 30% on pikatoimitusta. H7

3.2 Tapaustutkimusten tulokset

Tapaustutkimukset suoritettiin viiteen eri korjauskohteeseen. Varsinaisten haastattelujen lisäksi, tapaustutkimuksissa keskityttiin myös työmaahavainnointiin, jonka tavoitteena oli tunnistaa tapauskohtaisia haasteita ja olosuhteita.

3.2.1 Korjaushanke A

Korjaushanke A alkoi toukokuussa 2020 ja hankkeen luovutus on kesäkuussa 2023. Korjauskohde on suuri, vaativa ja geometrisesti epäsäännöllinen, eli toistuvutta ei oikein esiinny ja esimerkiksi TAKT:ia on haastavaa soveltaa kohteessa. Kohteen jokainen tila on ainutlaatuinen ja äänieristykseltään erikoinen. Urakkamuoto on kärkihankeallianssi ja hankkeen budjetti lyöty lukkoon, eli kun budjetti täyttyy, niin loppuu rakentaminen. Jos jostain tulee lisäkustannuksia, jostain toisesta asiasta täytyy karsia, heikentäen korjaushankkeen laajuutta. Korjaushankkeen urakkapalkkio on 41 miljoonaa euroa.

Hankkeeseen on palkattu ulkopuolinen logistiikkaurakoitsija. Logistiikka keskuksella on oma järjestelmä ja kaikki urakoitsijat syöttävät sinne, että milloin tulee toimitus. Haastateltu on tottunut aika paljon siihen, että isommalla työmaalla on käytössä logistiikka järjestelmä. Logistiikalla on kalenteri ja tieto siitä, että minne tuodaan materiaalit.

Edellisessä hankkeessa oli 4-5 paikkaa minne materiaalia pystyi tuoda. Pari kertaa, kun rekat käyvät paikalla, ne oppivat tulemaan työmaalle. HA

Ilmeisesti haastateltu tekee työmaalle ison osan hankinnoista. Hankintoja hän tekee työmaalle yhdessä kollegansa kanssa, joka istuu hänen vieressä työmaatoimistossa. Haastateltu on vain suunnittelussa mukana.

Hankkeessa ei ole ollut ongelmia kommunikaation suhteen. Haastateltu korosti, että *haasteita tulee koko ajan, muttei mitään viestintää liittyen, ei ainakaan mitään suurempia.* Hankkeessa on pieni määrä ihmisiä ketkä päättävät, niin kommunikaatio on ollut sujuvaa.

Rakennuksen väliosa oli tarkoitus tehdä uudisrakennuksena, mutta tuli valituskierre. Projektille oli tullut yksi valitus, mikä viivästytti projektia vuodella ja siinä paloi rahat, ettei ollut enää varaa lähteä rakentaa väliosaa uudisrakennuksena, vaikka valitus lopulta hylättiin perusteettomana. Käsittelyajalle ei voitu mitään, sillä valitus tuli yllätyksenä, kun museovirasto oli hyväksynyt suunnitelmat. Rakennustaiteen seurasta oli ilmeisesti tullut valitus liittyen julkisivuun. Lopulta tilaaja haki lisärahoitusta eduskunnalta ja kaikkea se ei lopulta saanut, saivat lisärahoitusta vahingosta.

Odottelu maksaa ja moneen kertaan suunnittelun lukitus ja kaikki muut. Ja sitten se, että on paljon edullisempaa tehdä kerralla koko homma. HA

Laskut hyväksytään kuuden eri henkilön kesken. Laskut täytyy saada nopeasti eteenpäin. Laskutuksen suhteen ei ole ongelmia, välillä joku lasku on vähän myöhässä.

Epäviralliseen kommunikointiin hyödynnetään Whatsappia, jonka kautta kulkevat jotkut asiat. WhatsAppista on ollut hyötyä, sillä on joitakin asioida, joita voidaan saada hoidettua WhatsAppin kautta etänä. Pääosin kommunikaatio tapahtuu työnjohtopalaverissa joka maanantai, jossa insinööritkin ovat mukana. Kommunikaatioon ei käytetä digitaalisia alustoja tai työkaluja.

Urakoitsijat osaavat hyödyntää tietomallia aika hyvin. Mallit ovat pilvessä ja siellä voidaan käydä tsekkaamassa sitä. Malliin ei voida kirjoittaa mitään muistiinpanoja, vaan ottaa ainoastaan näyttökuvia. Aikatauluun ei käytetä tietomallia.

Hankkeen suunnittelussa kaikki sidosryhmät osallistuivat hyvin hankkeen suunnitteluun. Arkkitehdin vastuulla on, että he käyvät tilaajan kanssa keskustelua. Sitten kun puhutaan rahasta, niin ollaan mukana. Esimerkiksi kustannusarvio mikä meillä on, niin se ei ole mikään salainen vaan kaikille osapuolille saatavilla.

Tiedostot tulevat valokuvien kanssa Congridiin. Havainnollisemmat asiat ja laatutarkastukset menevät Congridiin. Congrid on myös tiedonvaihtoa varten, kaikki katselmukset tehdään Congridissa ja tarkastukset ja Congridissa voidaan myös allekirjoittaa asiakirjoja.

Congrid näkyy kaikilla ja siellä on kuvat niin ei tarvitse selittää. HA

3.2.2 Korjaushanke B

Vierailu aloitettiin työmaakäynnillä. Hankkeen tarkoituksena on muuttaa virasto hotelliksi. Kohteessa on pinta-alaltaan 30 000 neliömetriä ja siinä on yli 300 huonetta. Projektin parissa on työskennellyt yli 300 henkilöä kolmen vuoden ajan. Haastateltu yritys on mukana hankkeen projektinhallinnassa.
Kohteen uudet hotellihuoneet tehdään TAKT –menetelmällä. Lähtötiedot mitkä tuli suunnitteluryhmälle ja haastateltulle yritykselle, olivat vanhoja ja todellisista rakenteista poikkeavia. Kesken hanketta tilaaja oli päättänyt myös saneerata entisen viraston isoa kokoushuonetta. Kellarikerrokseen rakennetaan kylpylä ja alun perin tilaaja oli päättänyt pitää vanhat lattiapohjat, mutta myöhemmin oltiin huomattu, ettei vanhan pohjan päälle voida rakentaa. Rakentaessa uusi sauna, täytyy olla uudet pohjat. Lattiapohjasta otettiin puoli metriä pois ihan manuaalisesti ja siihen sitten valettiin uusi pohja. Hankkeessa oli kohteen tutustumisvideo mikä kestää noin 10-15 min. Se on virtuaalitutustumista uusille työmaatyöntekijöille.

Todellisuudessa oli erittäin paljon erilaisuuksia rakenteissa verrattuna vanhaan lähtötietoon, esimerkiksi ulkoseinissä, välipohjarakenteissa ja ullakolla. Haastateltu korosti suunnitelmien puutteellisuutta ja sitä että vasta työmaalla huomataan, että suunnitelmista puuttuu tietoa, niin se on sitten liian myöhästä. Tämä on yleinen ongelma.

Keskiviikkoisin järjestetään viikkopalavereita, jossa haastateltun lisäksi on 18 henkilöä. Tiedon liikkuminen horisontaalisesti päivittäisessä hommassa on aika haastavaa. Hankkeen osalta, urakoitsija palaverit ovat joka toinen viikko ja joka viikko sisäinen viikko palaveri. Lisäksi, TAKT tuotannon osalta päivittäisjohtamisen palaveri, eli tilannepalaverin, jossa todetaan miten työt edistyvät.

Congrid on hankkeessa erittäin keskeisessä asemassa. Sitä käyttävät lähes kaikki suunnittelijat ja urakoitsijat. Haastateltulla ei ole tarvetta soitella tai lähetellä sähköposteja, sillä siellä kulkee kaikki informaatio. Suunnitelmaongelmissa on käytetty valokuvia, ne on lähetetty eteenpäin Congridissa selitteellä. Työmaalta laitetaan valokuvia ongelmista CONGRIDiin ja sitten haastateltu järjestää ne ongelmat tärkeysjärjestykseen, merkiten havainnot siten, että voidaan sorttaa tärkeimmät havainnot muista. Tämä tieto siirtyy sitten työmaalle ja urakoitsijat esimerkiksi näkevät mitä heidän täytyy lähiviikkoina hoitaa. Logistiikkaan liittyen, käytetään aika paljon paljon CONGRIDiä myös.

Viikkosuunnittelu toteutetaan Last Planner Systemillä miro.com:ssa. LPS on verkossa kaikilla nähtävillä. Kukaan ei pääse muokkaamaan sitä, paitsi kun on palaveri. LPS on haastateltun mukaan hyvä tiedonvälitys, että kuka tahansa pystyy kännykällä missä vain käydä katsomassa, että miten on asiat sovittu. Kaikilla osapuolilla on siihen linkki. LPS:ssä näkyy työaikataulu mitä ovat yhdessä muiden osapuolten kanssa laadittu ja sovittu. Haastateltu nosti esille myös sen, että on aikataulupalavereita. Heillä on myös käytössä projektipankki, jossa on sitten perus yhteistiedot ja sun muut tiedot mitkä kuuluvat hankkeeseen.

Hankkeessa käytetään myös WhatsAppia, se on sekä hyvä että huono. Huono siinä mielessä, että tulee valtava määrä viestejä ja puhelin soi koko ajan. WhatsAppissa liikkuu myös turhaa tietoa millä ei tee mitään.

Jos tieto olisi siinä yhdessä juuressa jossakin mallissa, niin jäävät kaikki sivuaskeleet pois. HB
Haastateltu viittasi tehottomaan kommunikaatioon mikä vie vain kallista aikaa. Mikäli kaikki havainnot olisivat yhdessä mallissa, jota kaikki osaisivat käyttää, niin ei tarvitse edes takaisin kysellä asioita, kun ne näkyvät mallissa tarkalleen missä kohdassa ongelma on.

Suunnitteluohjauksessa vain ihmetellään ja harmitellaan ettei taaskaan onnistunut, että voivoi. Ajatusmaailma puuttuu mikä haastateltun mukaan tuotannossa on, hommat täytyy saada valmiiksi.

Hei, tuli poikkeama mutta onko se ensi tiistaina valmis? Jos ei voida, niin että tehkää vain joskus. HB

Noh katellaan, minulla on nyt hieman kiire, koitan saada tämän sinulle ensi viikolla valmiiksi. HB

Ongelmien kokoluokasta ja vaikutuksesta puhuttiin, että joskus pienet ongelmat ovat keskeisiä koska jollekkin se voi näyttää valtavalta ongelmalta, mutta käytännössä se ei estä mitään ja kustannusvaikutuksetkin ovat pienet. Ongelmien skaalaus ja ymmärtäminen ovat tärkeitä laadunhallinnassa.

Suunnittelijoiden ammattitaidottomuudestakin puhuttiin. Jos heiltä tulisi esimerkiksi listaus kaikista asioista, joista he tarvitsevat tietoa, työmaalta ne voitaisiin toimittaa heille. Haastateltun mukaan ei ole visiota suunnitteluryhmässä. He eivät uskalla kysyä lähtötietoja, minkä vuoksi sitten suunnitelmat ovat huonoja.

Suunnittelijoilla on huonot laatusuunnitelmat. Suunnittelijoiden täytyy varmistaa, että rakennesuunnitelmat täyttävät jonkun näköiset laatusuunnitelman laatukriteerit.

Yksi suunnitteluohjauksessa sanoi, ettei hän voi näin suoraan asioita sanoa suunnitteluryhmälle, jotta yhteistyö säilyisi. Koska he ovat taiteilijoita ja ne pahottavat mielensä. HB

3.2.3 Korjaushanke C

Korjaushanke C koskee 1950-luvulla rakennettuun koulurakennukseen. Korjaushanke in urakkamuodoltaan kokonaisvastuurakentaminen. Hanke on kesällä 2021 aloitettu ja luovutus on suunniteltu kesälle 2023. Vanha koulurakennus remontoidaan ja rakennusta myös laajennetaan. Haastateltu olisi ennen rakennusluvan hakemista vanhan rakennuksen ja laajennuksen liitoskohtaan laittanut paukkuja paljon enemmän. Nyt heillä on ilmeisesti vesikatossa ongelmia, kerroksissa ongelmia ja yhä odotetaan lisää ongelmia, koska ne ovat suunnittelupöydällä nähtävissä, että mistä kaikista tulee ongelmia, niin niiden tekemisestäkään ei tule yksinkertaista.

Tilaaja on antanut tietyn määrän lähtötietoja (esim. kuntotutkimuksia ja suunnitelmia/vanhoja lähtötietoja) ja sitten jos ollaan haluttu tehdä lisää kuntotutkimuksia, niin ne on laskettu lisätyönä. Tarvittaessa pyydetään suunnittelijat paikan päälle. Suunnittelijat käyvät kerran viikossa työmaalla. Suunnittelijaryhmä on pyytänyt lisäselvitystä aina tarvittaessa. Esimerkiksi käytäville oli määritelty kotelopalkki rakenne, missä on ala ja ylälaatta molemmat.

Alalaatta purettiin ja siellä oli sahanpuruja sisällä. Näitä tällaisia rakenteita ei pitänyt olla ollenkaan, mutta joissain oli. HC

Kotelot ollaan jouduttu purkamaan ja siellä on ollut vanhat muottilaudat ja muut, mutta se mikä on ollut erikoista, on ollut se, että siellä on ollut palkit eri tavalla kuin

muissa rakennuksissa. Eli siellä on ollut ihan oma palkkijako, niin sitten meidän on täytynyt keilata palkisto uudestaan ja saadaan talotekniikka sovitettu uudestaan. Täällä on ollut paljon palkkeja, joita ei tiedetty, että on olemassa. Niitä täytyy kiertää, läpi ei voida mennä. HC

Meillä on peruskorjauspuolella joka viikko käy suunnittelija täällä ja meillä on WhatsApp. Se on toiminut ihan hyvin, me laitetaan WhatsAppiin viestiä, että ”tämmöinen homma, että tuletko käymään työmaalla”. Sitten katsotaan mitä asialle tehdään.

Hankkeessa on eniten ollut ongelmia elementtisuunnittelun kanssa, joskus pääsuunnittelijat ottavat löysin rantein asioita jopa sen takia, että he ovat hyvissä väleissä työmaan kanssa, niin sitten se on liian tuttavallista ehkä välillä. Sitten he eivät ota tosissaan, kun heille sanotaan, ettei homma toimi. Hankkeen työnjohtaja ja suunnittelija ovat molemmat suomenruotsalaisia, he puhuvat keskenään ruotsia.

Hankinnat tehdään oman antiikisen järjestelmän kautta, Congridissa ei tehdä mitään hankintaa liittyen. Congridissa hoidetaan työmaan ja urakoitsijoiden rajapintaa. Congridiin ladataan turvallisuus- ja laatuasiat. Haastateltulla yrityksellä on oma hankintajärjestelmä, missä kaikki sopimukset tehdään ja siellä on oma SharePoint, minne viedään kaikki tiedot. Congrid on lähinnä vain työkalu laadun- ja turvallisuushallintaa varten sekä kommunikointia varten. Haastateltun mukaan Congrid voisi myös toimia siten, että sinne lisätään työmaalla havaittuja asioita eteenpäin suunnittelijoille (mikä nykyisin toimii WhatsAppin kautta).

Haastateltu käyttää työssään SmartSheet:ia, siellä on sitten kaikki suunnitteluohjauksen liittyvät asiat, lähtötiedot ja aikataulut. Jos suunnittelijoilta tulee paljon uusia suunnitelmia laajennuksen osalta, niin yleensä niitä laitetaan sähköpostitse. Suunnittelija näkee SmartSheetilla kaikki työtehtävät mitkä ovat avoinna ja siellä hän voi kommentoida että ”tekisin tämän mutta ette ole luovuttaneet minulle tietoa tästä yms”.

SmartSheettiin suunnittelijat voisivat laittaa kaikki liitteet ja ilmoittaa siitä esimerkiksi sähköpostitse. HC

Jos tulee sattumavarainen suunnitelmatarve tai puute, niin sen havainnon laitetaan SmartSheet:iin. Ratkaistut asiat filteroidaan pois sitten näkyy ratkaisemattomat asiat. SmartSheetiin voidaan myös lisätä kuvia ja siihen voi myös piirtää. Sen sijaan että suunnittelijat kirjoittaisivat kaiken työvaiheilmoitukseen, niin haastateltu on pyrkinyt saamaan suunnittelijat kommentoimaan suoraan SmartSheetiin.

Tärkeäksi on osoittautunut se, että SmartSheet on avoin suunnittelijoille, tilaajalle, työjohtajille ja hankinnoille, kuka tahansa pääsee seuraamaan hanketta SmartSheet:ssa.

Hankkeissa toistuvia haasteita tiedonvirtaukseen liittyen on monia. Esimerkiksi suunnittelijat tekevät asioita, joista he eivät kerro kellekkään. Yhtäkkiä työmaalla

saadaan tietää, että asioita on tehty väärin. Hankkeessa on myös rakennussuunnittelutiimi, johon kuuluvat korjausrakentamiseen erikoistunut suunnittelija, betonielementin suunnitteluun erikoistunut urakoitsija, teräsrakenne erikoistunut suunnittelija urakoitsija ja varsinainen laajennusosuus erikoistunut urakoitsija. Täten, korostuu rakennesuunnittelutoimiston projektipäällikön rooli tiedon välittämisessä siinä, että kaikki tietävät missä mennään ja että asiat tulevat yhteen sovitettua.

Jos rakennesuunnittelutoimiston projektipäällikkö ei tiedä mitä ne suunnittelijat tekevät ja mitä on tehty, niin mistä minä voin tietää? HC

Pääsuunnittelija ei ole tehnyt työtehtäviään, sillä laajuudella, millä pääsuunnittelijan täytyisi tehdä. Haastateltu oli juuri keskustellut ja pohtinut heidän projektipäällikön kanssa, että annetaanko pääsuunnittelijan tehdä toimikuvaansa, antavatko he hänelle kaikki tarvittava tieto suunnittelua varten. Pääsuunnittelijan pitäisi tietää niitä asioita, joita haastateltukin tietää. Haastateltu nosti esille, että on mahdollista ottaa hankkeeseen ulkopuolinen pääsuunnittelijan, mikä puolestaan voisi minimoida pääsuunnittelijan puolueellisuutta.

Tiedon virtaukseen liittyen haastateltu korosti, että edelleen kuvitellaan, että suunnittelu menee sillä tavalla, että suunnittelija tekee valmiiksi jonkun ja seuraava suunnittelija tekee valmiiksi seuraavan asian ja niin edelleen. Todellisuudessa kukaan suunnittelija ei työstä mitään suunnittelua loppuun asti, niin minkä takia oletetaan, että menee niin, että asiat tehdään sataprosenttisesti valmiiksi? Haastateltu suosittelee, että suunnittelijoilla olisi jokin palanen työn alla kerrallaan. Jos kuvitellaan, että täytyy katsoa jotain paloratkaisusta rakennuksessa. Meillä on aikataulu, jonka mukaan paloratkaisu täytyy olla valmiina jonain ajankohtana. Suunnitteluun täytyisi saada kaikki osapuolet mukaan, palokonsulttiarkkitehti, rakennesuunnittelija, LVI-suunnittelija ja sähkösuunnittelija. Täytyy saada kaikki yhdessä suunnittelemaan siten, että ratkaisu on järkevä. Yhdessä tulisi muodostaa ratkaisu, joka palvelee kaikkia tasapuolisesti, eikä sillä tavalla, että yksi osapuoli päättää paloratkaisusta.

Aion seuraavissa hankkeissa heti hankkeen alussa purkaa mahdollisimman paljon, jotta voidaan päivittää kaikki suunnitelmat ja sitten aloitetaan työt. HC

Meille tulisi antaa lista kohteesta, mitä täytyy selvittää. Purkuryhmä kävisi chekkilistamaisesti purkaamassa, niin sitten suunnittelijat eivät pystyisi vedota siihen, etteivät he tietäneet jotain asiaa. HC

3.2.4 Korjaushanke D

Korjaushanke D koskee kahta vanhaa toimistotaloa Helsingin keskustassa, joita yhdistetään yhdeksi erittäin korkeatasoiseksi toimistorakennukseksi. Kohde on pinta-alaltaan 10 000 neliömetriä, joista 8 000 neliömetriä on olemassa olevan rakennuksen alaa ja 2 000 neliömetriä laajennusta. Syyskuussa 2021 on alettu tekemään kevytpurkua ja joulukuun alussa aloitettiin raskaat purkutyöt. Tällä

hetkellä kohteessa tehdään runkotöitä. Kohteen julkisivu on kivijulkisivu ja se on museosuojattu. Julkisivut tuovat omat haastensa, julkisivut uusitaan kokonaisuudessaan ja tammi-ikkunat korjataan. Kohteessa katto maksaa 400-500€ neliömetriltä ja lattiapinnat yli 100€ neliömetriltä. Kohteen on tarkoitus valmistua vuoden 2023 maalis-/huhtikuussa.

Rahallisesti projekti on mennyt ihan hyvin, ei mitenkään loistavasti, mutta projektijohtourakalla haastateltu on ollut mukana, niin puolet murheet ovat yhteisiä. Markkinatila on aiheuttanut murheita, eli ei huonompaa ajankohtaan voisi rakentaa, että useampi satatuhatta menee pelkästään siihen, että materiaalien hinnat ovat nousseet. Aikataulullisesti tällä hetkellä keskustellaan lisäajasta tilaajan kanssa. Sisäpuolella muuttuu sisustussuunnittelu hyvinkin paljon ja käyttäjämuutosten takia joudutaan pyytämään lisäaikaa.

Kohteessa on hyvin haastava logistiikka, eikä ole käytössä sähköistä hankintajärjestelmää. Aina tiistaisin ja torstaisin käydään läpi tulevia kuormia. Konttien purkua varten kohteelle on vuokrattu kadulta vajaa 500 neliömetriä, jonne on sijoitettu jätelavoja jonkin verran. Lisäksi, kohteelle on vuokrattu kolme nosturia ja alimakki. Haastateltun mukaan kohteen logistiikka on hyvin haastava, se toiminut jollain tapaa tähän mennessä, ettei ole hirveitä sotkuja tullut. Haastateltu huomauttaa, että logistiikan suunnitteluun olisi kannattanut hyödyntää jonkin näköinen softa. Materiaalitilauksia tekee yksi henkilö, ontelo- ja elementtihankintoja tekee erikoistunut runkohankkija. Lisäksi, hankkeen alussa oli muutama hankkija tekemässä purkutyöhankintaa, mutta pääsääntöisesti näitä muita hankintoja on tehnyt yksi henkilö.

Kohde on keilattu kevyt purun jälkeen, jonka jälkeen on havaittu lähtötiedoista poikkeavia rakenteita. Matalamman osan ontelolaattaa on jouduttu katkomaan 12 senttimetriä, kun siinä oli väärä alkutieto. Yleisesti tässä hankkeessa, lähtötiedoissa on ollut heittoja. Haastateltun mukaan on aika paljon haitta-aineita löytynyt tasoitteiden alta sekä muualta. Täytyy ensiksi purkaa talo ja käydä paikan päällä keilaamassa, että saadaan dimensiot oikeiksi. Silloin on suurin osa vaikutuksista tullut eteen, yleensä meillä ne ovat haitta-aineet.

Haastateltu kehui toisen työmaan käytäntöjä, siellä urakoitsijat käyvät netissä katsomassa, milloin heidän täytyy olla töissä ja projektipäällikkö voi katsoa missä vaiheessa projektissa mennään ettei tarvitse soittaa. Haastattelussa korostui se, että haasteita on paljon ja tulisi pohtia miten tulisi tehdä töitä fiksusti.

Kulutetaan niin paljon aikaa ja työtehoa, kun tehdään lippulappuja kahteen kertaan. Tarvittava tieto löytyy jostain, muttei sitä saa automaattisesti ulos. HD

Haastateltu korostaa, ettei hän ymmärrä miksi ensiksi istutaan palavereissa, jossa tehdään muistio mikä vie kaksi tuntia aikaa ja sitten se lähetetään eri osapuolille.

Turhan paljon ollaan vanhoissa Exceleissä tai vanhoissa muissa jutuissa kiinni. Sähköpostia tulee 100 kpl päivässä, se on ihan päätöntä, kun löytyy softaperusteisia tehtävähallinta ohjelmia tai mitä vaan niin helposti. HD

Itselle on erittäin lähelle sydäntä, että saisi ajankäytön kondikseen, kuormitukset kondikseen, sillä pystyisi mittaamaan, että kuka hoitaa omat hommansa just eikä melkein. HD

Olin yhdessä hankkeessa mukana ja kolleegani oli tehnyt semmoisen softan, että sosiaalitilassa oli näyttö, missä aikataulu pyöri koko ajan. Niin, siinä näki kuka on hommissa ja missä pitää olla hommat käynnissä, missä mennään ja kuka on myöhässä ja niin poispäin. Kun siinä oli, vaikka laatoittaja myöhässä, niin alakattomies kävi sanomassa, että käy tekemässä työsi tai tule viikonloppuna töihin. Tässä tuli sosiaalinen paine samalla ja kaikki tiesi tasan tarkkaan, että milloin pitäisi olla missäkin. Se oli ihan hemmetin hyvä! HD

Haastateltun kilpailijat ovat vieneet koko käyttöjärjestelmän SiteDriveen jollain muotoon. He voivat tehdä laskentoja, niin heillä on vakioaikataulu, että milloin lähtevät ennakkotarjoukset, milloin ne lähtevät takaisin ja kuka niitä tekee. Kun aloitetaan laskemaan kohdetta, niin tehdään uusi laskenta-aikataulu, mikä on valmiiksi vastuutettu ja kaikki asiat on valmiiksi suunniteltu. Jokaisessa hankkeessa on sama työjärjestys. Minun mielestä se on niin fiksu kuin olla ja voi. Käyttöjärjestelmästä on mahdollista saada kaikki tehtävät tehtäväluettelosta, joita täytyy hoitaa ja lopulta ne voidaan napauttaa tehdyiksi.

Se olisi niin suurta viisautta, jos koko systeemi myös työmaalla olisi aikaikkuna jossa näkyy mitä tiettyjä asioita sinun täytyy tehdä ja missä järjestyksessä. Olisi listaus asioita joita tulisi tehdä ja ne voitaisiin ruksata pois. Sähköiseen muotoon nämä kaikki asiat, niin johdon ei tarvitsisi tehdä mitään erikoisraportteja, kävisi vain kurkkaamassa ja se olisi kaikilla avoin. Tämä on mitä minä toivon, että joku keksisi sen jossain vaiheessa. HD

Pääsuunnittelijat eivät yleensä ymmärrä miten paljon heidän pitäisi tehdä työtä ja kuinka paljon vastuuta heillä on. Tässä hankkeessa on toiminut tosi hyvin suunnittelun ohjaus/johtaminen. On saatu riittävästi vastauksia ja pyydetty riittävästi vastauksia. Haastateltun mielestä pääsuunnittelijan rooli tulisi aukikirjoittaa, että mitä kaikkea siihen kuuluu, jotta työmaallakin ymmärrettäisiin hänen roolinsa. Työmaainsinöörien ja työmaajohdon roolit tulisi myös kirjoittaa auki yksiselitteisesti, että mitä kaikkea kuuluu kunkin työhön, jota hoitamalla henkilö on palkkansa arvoinen. Täten, varmasti saataisiin tuottavuus parempaan suuntaan. Urakkasuunnitelmissa on selitetty vastuualueet ja tehtävät, mutta sen pitäisi avata ihan kunnolla auki, yksiselitteiseksi ja mahdollisimman selkeäksi. Lisäksi, hankkeessa on WhatsApp käytössä. Työnjohdolla ja urakoitsijoilla on oma WhatsApp ryhmä, se helpottaa viestittelyä. Haastateltulla on myös ulkomaalaista työvoimaa, niin se kielimuuri tulee vastaan jossain, kun yksi ei ymmärrä mitä kirjoittaa toinen ei ymmärrä mitä lukee.

Tässä kohteessa suunnittelijat ovat onnistuneet suhteellisen hyvin. Rakennesuunnittelija käy työmaalla kerran viikossa vähintään. Koronan ja etätyöskentelyn myötä on huomattu, että suunnittelijat istuvat jossain Tampereella suunnittelemassa eivätkä ole käyneet työmaalla. Siinä on omat haasteensa. Myöskin suunnittelijoiden täytyy ymmärtää, ettei työmaalla tarvitse valmiita suunnitelmia kuin vasta pari viikkoa ennen toteutusta. Ei saisi myöskään kuormittaa suunnittelijoita, ettemme tarvitse niin valmiita kuvia.

Suunnittelijat kuluttavat aikaa niin paljon jonkin asian suunnittelemiseen mitä ei edes toteuteta niin. Joskus suunnitelmien täytyy olla valmiina perjantaina ja torstaina suunnittelija pyytää tietoja jostain. HD

3.2.5 Korjaushanke E

Korjaushankke E koskee suurta kohdetta, joka on bruttoalaltaan noin 24 000 neliömetriä, josta noin 1 700 neliömetriä on uudisrakennusta. Kohde on ainutlaatuinen eikä siinä esiinny geometristä toistuvuutta. Kyseiseen kohteeseen tehdään perusparannus korjausremontti, eli käytännössä uusitaan talotekniset laitteet ja laajennuksen osuudesta tulee konehuone. Haastateltu osapuoli on tavoitehintaisella projektinjohtourakkalla mukana hankkeessa. Urakkasopimus on tehty 23.6.2021 ja urakka alkaa 2/2022 ja päättyy sisätilojen osalta 6/2024 ja ulkopuolen osalta kaksi kuukautta myöhemmin 8/2024. Hankkeessa säilytetään lähes kaikki sisusta, joten ajatuksena on purkaa ne kaikki ja asentaa ne myöhemmin takaisin tarkasti omille paikoilleen samaan alkuperäiseen asentoon, mikäli kappale on epäsymmetrinen. Kohteen julkisivut uusitaan. Uudet julkisivut valmistetaan ulkomailla, ne koostuvat noin 11 000 eri kokoisista kappaleista ja tulevat olemaan identtisiä vanhojen kanssa. Trimble Connect:ssa seurataan marmorijulkisivun asennusta, yksi marmori on yksi objekti omalla statustiedolla. Kun julkisivut on valmistettu, niistä otetaan kuvat Suomeen suunnittelijoiden hyväksyttäväksi. Sitten ne tulevat Suomeen varastoon ja tarkistetaan ovatko ne kunnossa. Status tieto päivitetään, kun marmorilaatat ovat Suomessa varastossa. Jokaisella statuksella on oma väri, punainen, keltainen ja vihreä. Lattiamatot uusitaan, mikäli on tarpeen.

Hankkeessa on paljon toistuvia prosesseja sisätilojen purkamisen ja uudelleenasentamisen yhteydessä, esimerkiksi pelkästään lamppuja on noin 3600 kappaletta ja alas laskettu katto on käytännössä tehty sälekaihtimista. Dokumentointi on haaste varsinkin museosuojatuissa kohteissa. Kysymykseksi nousee, mikä olisi järkevin tapa dokumentoida jokainen objekti? Kohteessa on paljon toistuvia mekaanisia tehtäviä, mutta vaikea luoda niistä tehtäväkokonaisuuksia. Haastateltun kollegan mukaan aluksi pohdittiin tahtituotantoa, mutta he eivät oikein löytäneet toistuvuutta työtehtävissä. Alakattoa pitää myös säästää, eli ei voida romuttaa alas ja se on erittäin vaikeaa purkaa. Kohteessa on myös ohuet jalkalistat, joten niiden kanssa tulee olla erittäin varovaisia, sillä ne voivat taipua helposti, kun puretaan lattiamatto pois. Listat avataan hetkellisesti, jotta saadaan lattiamatto kätevästi pois ja ne listat ruuvataan heti takaisin kiinni paikoilleen väliaikaisesti. Kellarikerrokseen tulee monta sataa neliömetriä liittolaattaa.

Lamppujen seurantaan liittyen, lampuista oli Daluxissa pohjakuvassa sijainti, kuva liitteenä ja jokaiseen lamppuun oltiin kiinnitetty tarroina kolme kappaletta omaa ID-tunnusta. Yksi tarroista jää lamppuun kiinni, yksi irrotetaan ja laitetaan yksittäisen lampun laatikkoon ja viimeinen tarra laitetaan suurempaan laatikkoon, jossa on yksi erä lamppuja. Lamppujen irrottamiseen ja takaisinasentamiseen palkataan spesifioitu urakoitsija ottamaan lamput pois ja asentamaan ne uudelleen.

Asiantuntija johtamisen kautta hallitaan projektia, kyseessä on iso projekti, joten ei ole ketään, kuka tietäisi kaikesta kaiken. Hankkeessa kysytään rohkeasti, jos tulee jotain kysyttävää esimerkiksi aikatauluinsinööriltä/suunnitteluohjaajilta, ei mielellään lähdetä itse sooloilemaan, vaan käytetään työkavereita hyödyksi. Hankkeessa uskalletaan ottaa yhteyttä ihmisiin, vaikka ei olla paljon fyysisesti oltu lähellä. Pari vuotta on ollut etätyöskentelyä, mutta silti on olemassa haasteita. Congrid kehuttiin olevan se kaikista tärkein, Skanskalla on myös olemassa oma työmaa Sharepoint.

Kommunikaatioon liittyvissä haasteista täytyy pohtia, miten kannattaa ja kuuluusi hoitaa hommia tässä kohteessa? Joku saattaa turhautuu vanhaan malliin, keskustelematta muita. Kommunikaatio on tärkeintä. Pirusti on palavereja, se on paras ja huonoin tapa hoitaa kommunikaatio puoli, kukaan ei tarvitse ylimääräisiä palavereita. HE

Kyllä, kerran heitettiin kokonainen ovi roskalavalle, vaikka siitä piti ottaa esim. kahva ja muut metalliset osat talteen. Tämä johtui siitä, että purku-urakoitsijalla oli ollut kiire, eikä ole muistanut, ettei ovea heitetä kokonaan roskalavalle. Joskus on myös työntekijöitä, jotka kyselevät asioita uudelleen ja uudelleen, se vie paljon aikaa. HE

Suunnittelu on asiakkaan vastuussa, meillä on pari suunnitteluohjaajaa varmistamassa, että asiat menevät kuten on sovittu. Täytyy sanoa, ettemme pärjäisi ilman suunnitteluohjausta. Ei ole ollut haasteita suunnittelijoiden kanssa, he pyörittävät suunnittelupakettia. Omat suunnitteluohjaajat pitävät huolta Skanskan omasta edusta suunnittelutehtävissä. Kaikki häviävät, jos jokin asia menee pieleen, eli vastuu on käytännössä kaikilla.

Tuntuu että kaikki suunnittelijat ovat keskimääräistä parempia, merkittävään hankkeeseen valittu parhaimmat. Ensimmäistä kertaa näen, että ihmiset tulevat toimeen.

Korjauskohteen ohjaussuunnitteluun osallistuva ja työmaata edustava suunnittelija nosti esille, että yleensä työmaan ja suunnittelijaryhmän välinen kommunikaatio on katkonaista. Työmaalta aina löytyy yllätyksiä ja kun BigRoomissa tavataan suunnittelijat kerran viikossa, heille kerrotaan tilanteesta. Suunnittelijat tutkivat ongelmaa ja seuraavalla viikolla BigRoomissa suunnittelijat toteavat työmaajohdolle, että ongelma on tutkittu, mutta tarvitsemme lisäselvitystä. Suunnitelmat päivittyvät tällä tavalla kerran viikossa, minkä vuoksi suunnittelu voi

kestää merkittävän pitkään. Toisaalta, haastateltun mielestä suunnittelijat eivät voi kuitenkaan soitella puolen tunnin välein, mikä pilaa työrauhan.

3.3 Empiirisen tutkimuksen yhteenveto

Empiirisessä tutkimuksessa tutkittiin korjausrakentamisen luonnetta ja havaittiin korjausrakentamisen keskeisimmät haasteet. Empiirinen tutkimus osoitti, että korjausrakentamisen suurin haaste liittyy kiinteistöjen lähtötietoihin. Esihaastatteluissa korostui se, ettei vanhojen rakennusten lähtötietoihin voida luottaa. Haastatteluissa korostui myös korjausrakentamisen iteroiva luonne, mikä on epätarkkojen lähtötietojen seurausta. Epätarkat lähtötiedot korostuivat yleisimmäksi ja merkittävämmäksi haasteeksi korjausrakentamisessa.

Empiirinen osuus jatkui tapaustutkimuksilla, jota suoritettiin viidessä eri korjauskohteessa vierailemalla työmailla ja haastattelemalla työmaan johtoon kuuluvia henkilöitä vierailun yhteydessä. Tapaustutkimusten työmaavierailuilla kävi ilmi, että 0% korjauskohteista omisti täydelliset lähtötiedot. Kaikissa tapaustutkimuksen kohteissa oli heittoa lähtötiedoissa, jolloinka korostui työmaan ja suunnittelijaryhmän heikko kommunikaatio ja siihen liittyvät haasteet. Alla olevaan taulukkoon 5. on listattu empiirisen tutkimuksen merkittävimmät havainnot, joita käsiteltiin ja jotka korostuivat sekä esihaastatteluissa, että tapaustutkimuksissa esille.

Taulukko 5. Esihaastatteluissa ja tapaustutkimuksissa esiin nousseet merkittävimmät havainnot.

Lähtötiedot	Lähtötiedot puuttuvat kokonaan tai ne ovat joko virheelliset tai puutteelliset. Lähtötietoihin ei voida luottaa.
Osaaminen ja ohjelmistojen välinen tiedonvaihto	Osaamisen puute. Ohjelmistot ja laitteet kehittyvät jatkuvasti ja niihin tarvitaan erityisosaamista. Miten erilaiset järjestelmät ja laitteet keskustelevat keskenään?
Koordinointi	Paikkatiedon visuaalinen esitystapa. Tieto kulkee visuaalisessa muodossa havainnollisemmin, täten, viestissä ei tarvitse selittää.

Kommunikaatio	Työmaan ja suunnittelijaryhmän välinen kommunikaatio on katkonaista ja passiivista. Materiaalitoimittajan ja työmaan välisessä viestinnässä voi sattua väärinymmärryksiä. Tehottomat viestinvälitykset, kuten sähköposti tai puhelu.
Aikataulu	Enemmän läpinäkyvyyttä. Kaikki näkisivät mitkä työtehtävät ovat käynnissä, suoritettu tai myöhässä.
Roolit	Epäselkeät roolit. Roolit tulisi avata yksiselitteisiksi, jotta myös muutkin ovat tietoisia muiden osapuolten velvollisuuksista.
Kulttuurilliset tekijät	Työmaan suhtautuminen työteon läpinäkyvyyteen. Sosiaalisen suhteen laadun vaikutus tiedon virtauksen tehokkuuteen.

4 Digitaalisella tiedolla johtamisen malli korjausrakentamiseen

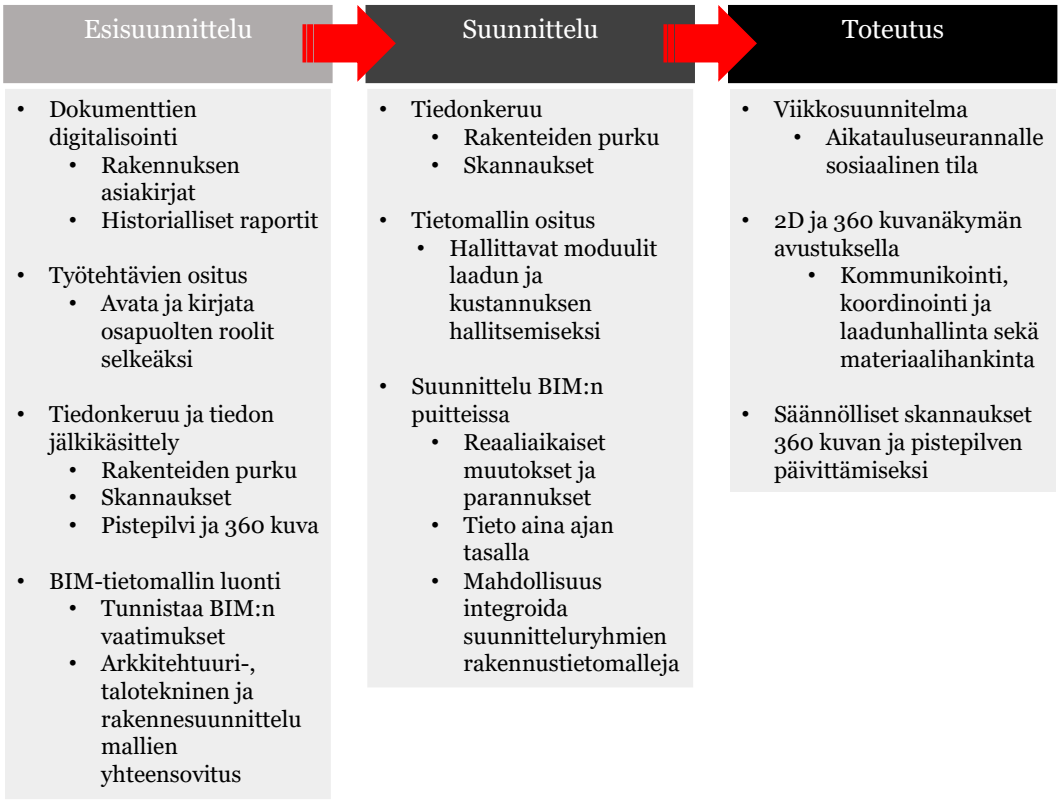
Diplomityön päätavoitteena oli luoda kokonaisvaltainen digitaalisella tiedolla johtamisen malli. Sen jälkeen, kun kartoitettiin digitaaliset osaratkaisut (mahdollisuudet) ja haasteet, oli mahdollista arvioida, mikä osaratkaisu palvelee parhaiten mitäkin haastetta. Kirjallisuuden mukaan projektitasolla digitalisaatiota hyödynnetään yhdistelemällä osaratkaisuja, jotta voidaan muodostaa kokonaisvaltainen digitaalinen ratkaisu. Oheisessa taulukossa esitetään osaratkaisuja, joita on kohdistettu palvelemaan sitä vastaavaa haastetta. Oikeammaisessa sarakkeessa esitetään lyhyesti, miten osaratkaisu ratkaisee haasteen.

Taulukko 6. Korjausrakentamisen haasteet, osaratkaisut ja mahdollisuudet. Projektitason digitalisaatio korjausrakentamiseen.

Haaste	Osaratkaisu	Mahdollisuus
Koordinointi: Rakenteen tai detaljin paikantaminen työmaalla tekstitse.	2D pohjapiirrustus, 360 asteen kuva, pistepilvi ja tietomalli	Visuaalinen koordinointi kohteessa.
Viestintä: Työmaan ja suunnittelijaryhmän katkonainen kommunikaatio.	Digitaalinen viestintäkanava	Kaksisuuntainen ja jatkuva kommunikaatio.
Materiaalihankinnat: Tilausten sotkeutuminen, väärinymmärrys ja väärien materiaalien toimitus.	Digitaalinen hankintajärjestelmä	Tilausten dokumentointi ja seuranta materiaalitoimittajalle ja työmaalle.
Aikataulu: Myöhästyneet urakat, jotka myöhästyttävät seuraavia urakoita.	Digitaalinen aikataulunseuranta urakoitsijoille	Live aikatauluseuranta ja kommunikaatio.
Logistiikka: Materiaalitoimituksen haasteet lähetyksen määränpään koordinoinnissa.	Digitaalinen ja visuaalinen materiaalitoimituksen paikannus	Visuaalinen koordinointi materiaalitoimituksissa.
Laadunhallinta: Epämääräinen tieto laatuvirheistä.	Digitaalinen laadunhallintajärjestelmä	Laatuvirheiden paikantaminen ja dokumentointi, priorisointi ja niistä kommunikointi.

Tämän diplomityön tuloksena saatiin pistepilvipohjainen 360 asteen kuva BIM-tietomalliin integroituna aikajanamallin puitteissa, jossa on elävä viikkotason aikatauluseuranta. Kokonaisvaltainen digitalisella tiedolla johtamisen malli edellyttää digitaalisia lähtötietoja korjauskohteesta ja BIM-tietomallipohjaista 360

kuvaa ja pistepilveä. Puolestaan, näitä mallin edellyttäviä asioita saavutetaan noudattamalla kuvan 8. aikajanamallia.



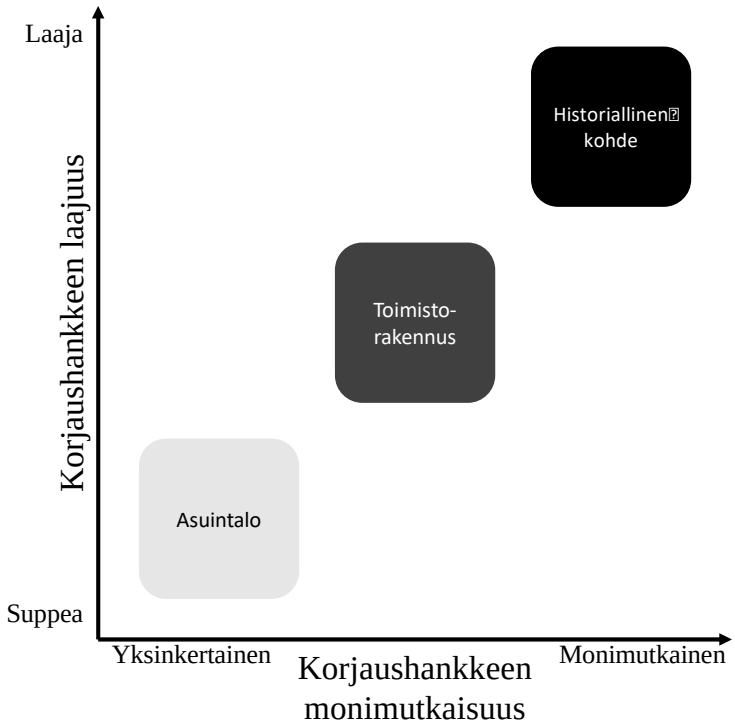
Kuva 8. Aikajanamalli, jonka puitteissa toteutuu kokonaisvaltainen digitaalisella tiedolla johtamisen malli.

Digitaalisella tiedolla johtamisen mallilla pyritään estämään lisätöiden syntymistä ja niiden kertymistä. Tosiaan, tämän digitaalisen mallin luonti ja sen ylläpito kustantavat mallin toteuttajalle. Täten, täytyy analysoida, mikäli digitaalinen malli on kannattavaa toteuttaa korjaushankkeessa. On luonnollista, mitä laajempi korjauskohde on, sitä suuremmat ovat myös lisätöiden kustannukset. Hankkeessa voidaan tehdä suhteellisesti yhtä verran säästöjä lisätöiden kustannuksissa, mutta hankkeen laajuudesta riippuen rahallinen absoluuttien säästö on eri määrä. Toisin sanoen, asuintalon 100 000 euron remontissa kymmenen prosentin säästö tekee 10 000 euroa, mutta toimistorakennuksen 10 miljoonan euron korjaushankkeessa kymmenen prosenttin säästö tekee yksi miljoonaa euroa.

Korjausrakentamisen luonteeseen vaikuttavat myös kohteen laajuus. Kuvassa 9. on esitetty, suhteellisen pienet kohteet kuten esimerkiksi asuintalot ovat standardisoituja ja melko yksinkertaisia korjauskohteita. Pienet kohteet ovat yksinkertaisia, sillä ne omaavat yleensä yhden käyttötarkoituksen ja ovat pinta-alaltaan suhteellisen pieniä kiinteistöjä. Pienten kohteiden lähtötietojen digitalisointi ja digitaalisen mallin luominen ja sen hyödyntäminen korjausrakentamisessa ei ole kustannustehokasta.

Pienet kohteet eivät ole niin monimutkaisia eikä niissä esiinny merkittäviä haasteita, jotta digitalisella tiedolla johtamisen mallilla olisi hyötyä.
Keskivertoisesti laajat korjauskohteet ovat melko monimutkaisia, kuten kuvan 9. esimerkki toimistorakennuksista. Toimistorakennuksissa tai vastaavan laajuisissa kiinteistöissä ei esiinny hirveästi epästandardisoituja rakenteita ja tyypillistä näissä kiinteistöissä on toistuvuus, minkä vuoksi tahtituotantoa voisi mahdollisesti suunnitella korjaushankkeeseen. Toimistorakennukset kuten sitä laajemmat korjauskohteet ovat myös pinta-alaltaan suhteellisen suuria, minkä vuoksi hankkeen osapuolten työmaan tilannetietoisuuden kannalta esiintyy haasteita. Toimistorakennusten kaltaisissa korjauskohteissa digitalisella tiedolla johtamisen malli auttaa työmaan ulkopuolella työskenteleviä olla tietoinen työmaan reaaliaiaisesta olosuhteesta.

Laajimmat korjauskohteet kuten historialliset kohteet ovat yleensä geometrisesti ainutlaatuisia ja mahdollisesti epästandardisoituja. Tämän kaltaisiin kohteisiin suoritetaan tyypillisesti perusparannuksia, jolloin esimerkiksi osa taloteknisistä laitteistoista uusitaan. Perusparannuskorjauskohteissa ja varsinkin museoviraston suojelukohteissa osa rakenteista puretaan korjauksen suorittamiseksi, joita sitten asennetaan uudelleen takaisin paikoilleen korjauksen suoriuduttua. Täten, tämän kaltaisissa korjauskohteissa järjestetään mahdollisesti käänteistä varastointia, mikä vastaavanlaisissa kohteissa tyypillinen haaste.



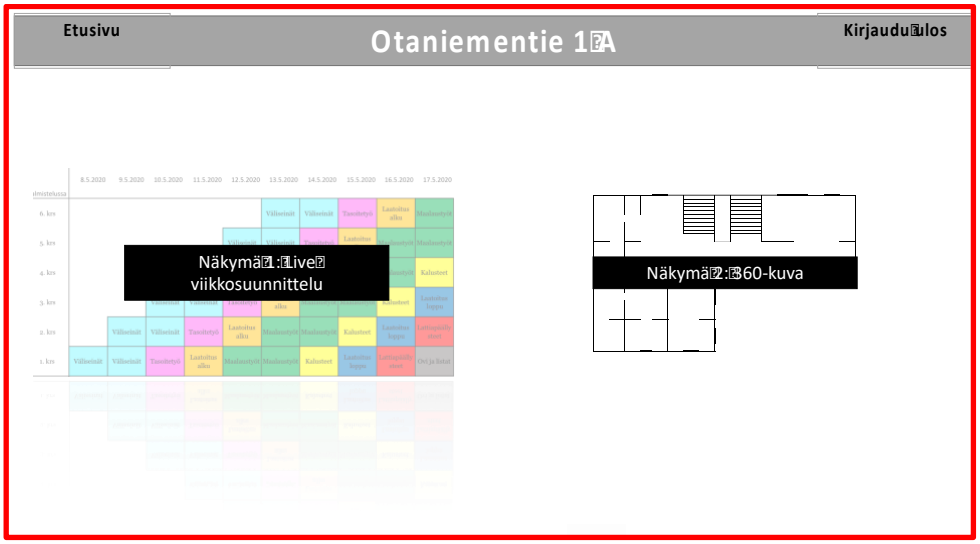
Kuva 9. Korjaushankkeen laajuus monimutkaisuuden funktiona. (Peltokorpi 2022).

Digitaalisen tiedolla johtamisen mallin noudattaman aikajanamallin mukaan, korjauskohde puretaan mahdollisimman paljon hankkeen alussa, jotta saadaan esille suurin osa yllätyksistä tilojen skannausta varten. Hankkeessa tulee esisuunnitteluvaiheessa tunnistaa tietomallin ja laatustandardien vaadittu taso. Hankkeen esisuunnitteluvaiheessa suoritetaan työtehtävien ositus, jotta on mahdollista avata ja kirjata yksiselitteisesti kunkin sidosryhmän rooli. Varsinaisessa suunnitteluvaiheessa tulee osittaa luotu tietomalli pienempiin moduuleihin, laadun ja kustannusten hallitsemiseksi. Korjaushankkeen toteutusvaiheessa ylläpidetään kommunikaatio, koordinointi ja dokumentointi digiaalisessa mallissa.

Kirjauduttua digitaaliseen malliin aukeaa kuvan 10. Mukainen aloitussivu, jossa voidaan valita tarkasteltava projekti. Digitaalista mallia hyödyntävät työmaan johto, rakennusmiehet, suunnittelijat, materiaalitoimittajat ja tilaaja. Jokaisella sidosryhmällä on omat käyttäjäkohtaiset oikeudet mallissa.

Kuva 10. Digitaalisella tiedolla johtamisen mallin aloitussivu.

Valittuaan projektin, aukeavat kuvan 11. mukainen viikkosuunnittelun ja projektin visuaalinen 360 kuvanäkymä. Viikkosuunnittelu –osiossa on mahdollista seurata urakoitsijoiden töiden etenemistä livenä. Näkymä on avoin myös kaikille projektissa toimiville urakoitsijoille, täten, he voivat seurata muiden työtä sekä välittää viestiä muille toimijoille. Tämä luo hyvänlaatuista ryhmäpainetta kaikille toimijoille, siten, ettei työtä voida lykätä muiden tietämättä, edistäen töiden läpinäkyvyyttä projektissa.

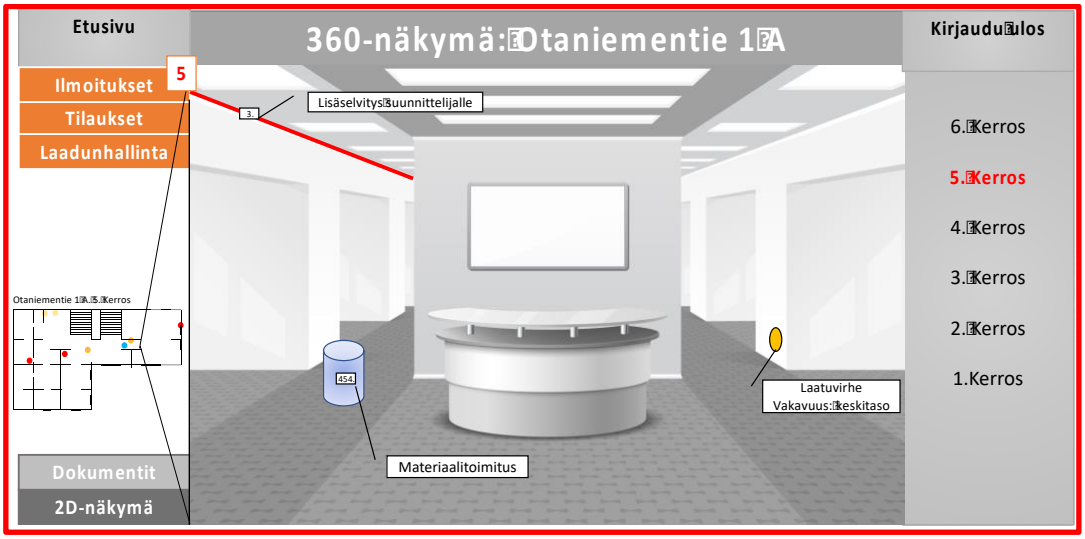


Kuva 11. Valikko –näkymä, jossa vasemmalla live viikkosuunnittelu ja oikealla varsinainen 360 asteen työtila.

360 kuva –näkymä toimii digitaalisen mallin ytimenä. Siihen on sijoitettu kaikki taulukon 6. digitaaliset osaratkaisut digitaalista aikataulua lukuun ottamatta. Osaratkaisut ovat seuraavat:

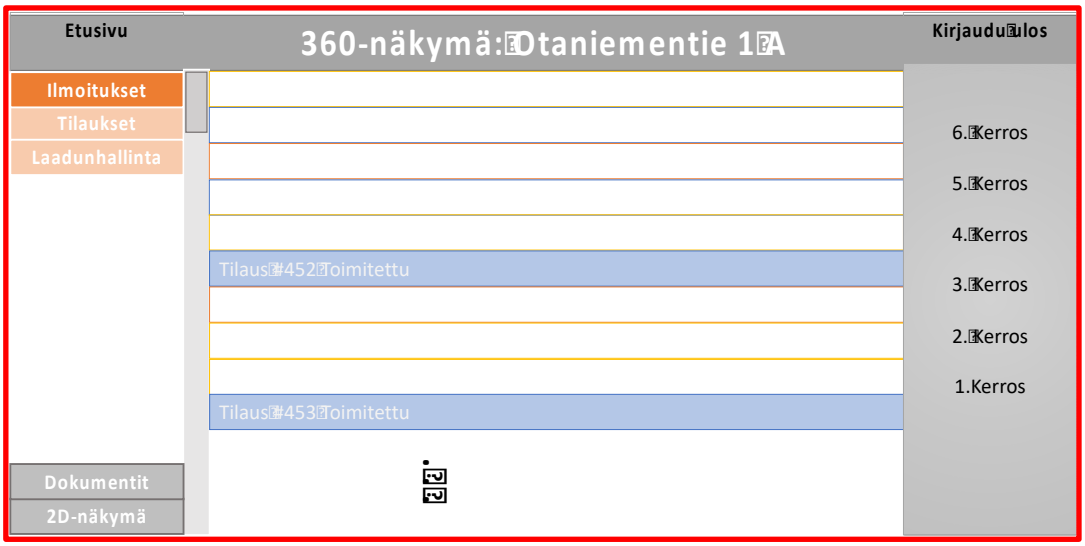
- Digitaalinen ja visuaalinen koordinointi,
- Digitaalinen viestintäkanava työmaan ja suunnittelijoiden välillä,
- Digitaalinen laadunhallintajärjestelmä,
- Digitaalinen hankintajärjestelmä, ja
- Digitaalinen ja visuaalinen materiaalitoimituksen paikannus.

Digitaalinen malli hyödyntää visuaalista hallintaa edellä mainittujen osaratkaisujen tehostamiseksi. Tilojen visuaalinen esitys mahdollistaa nopean ja helpon koordinoinnin. Visuaalisessa näkymässä on mahdollista lisätä merkintöjä pistepilveen, jotka näkyvät koordinoinnin helpottamiseksi pohjapiirrustuksen lisäksi myös 360 kuvassa. Pistepilveen kirjattuihin viivoihin, alueisiin ja yksittäisiin pisteisiin voidaan liittää kuvia, tekstiä, kohdistaa merkintä tietyille henkilöille ja asettaa DL sekä määrittää merkinnän laatu. Alla olevassa kuvassa 12. on esitetty suunnittelijan tekemä pyyntö rakenteen mitoituksesta, tulevan materiaalilähetyksen päämäärä ja rakennusmiehen tekemä havainto laatuvirheestä. Vasemmalla pohjapiirustuksessa voidaan nähdä missä sijaitsevat laatuvirheet, lisäselvityspyynnöt, materiaalitoimitukset sekä voidaan valita mihin tilaan 360 kuvanäkymä halutaan. 360 kuvanäkymässä voidaan katsoa ympärille vetämällä kuvataustaa haluttuun suuntaan. Kuvaruudun oikealla puolella voidaan valita miltä kerrostasolta 2D pohjapiirustus ja kuvanäkymä halutaan.



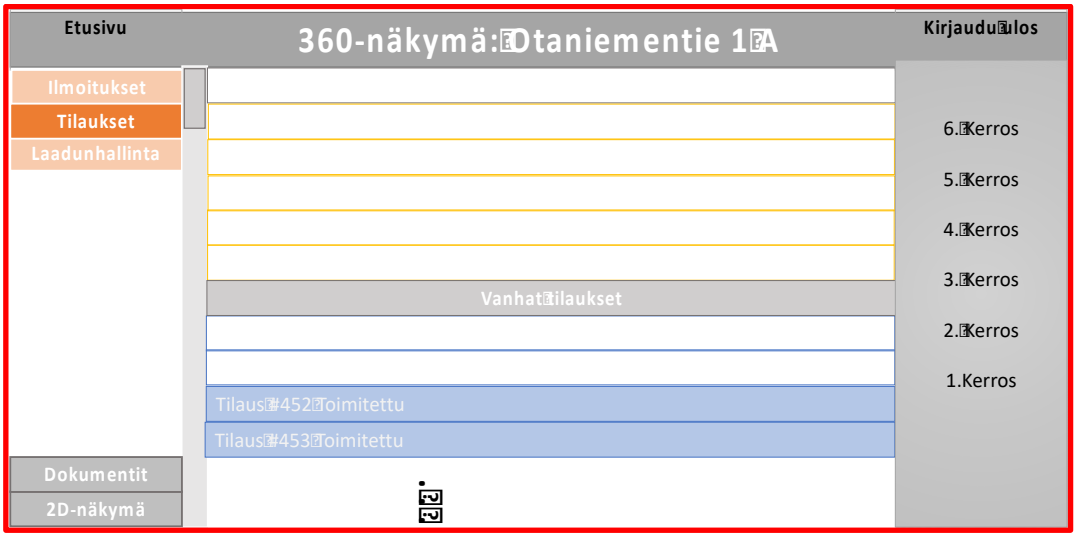
Kuva 12. 360 –kuvanäkymä korjauskohteen aulatilasta.

Ilmoitukset –osioon saapuvat kunkin käyttäjälle kohdistetut pyynnöt, viestit ja havainnot kuten kuvassa 13. esitetään.



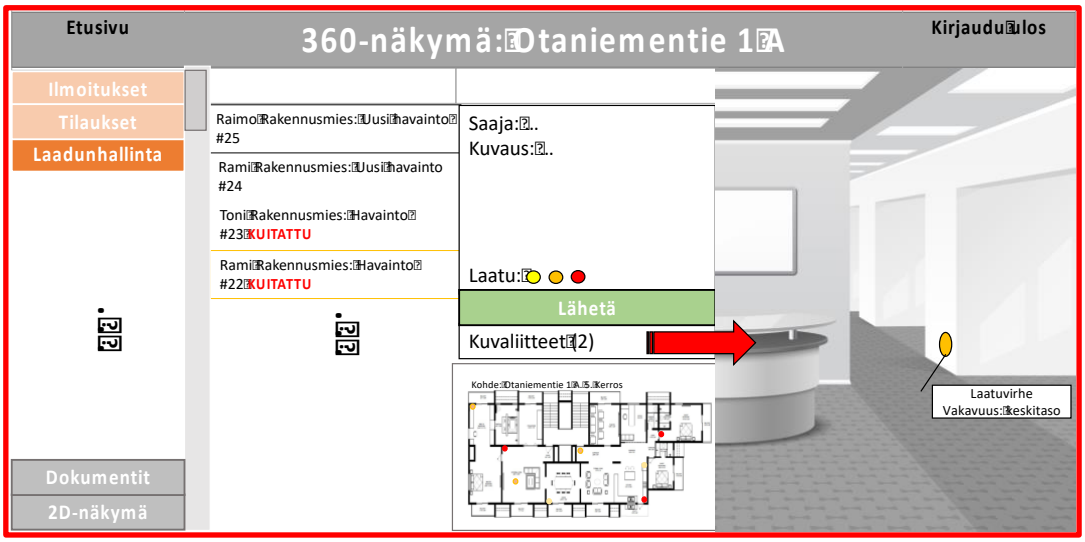
Kuva 13. Ilmoitukset –osio.

Tilaukset –osiossa (kuva 14.) käyttäjäoikeuksien mukaan työmaanjohto ja urakoitsijat voivat seurata tulevia tilauksia, tehdä niihin muutoksia sekä avata vanhoja toimitettuja tilauksia.



Kuva 14. Tilaukset –osio.

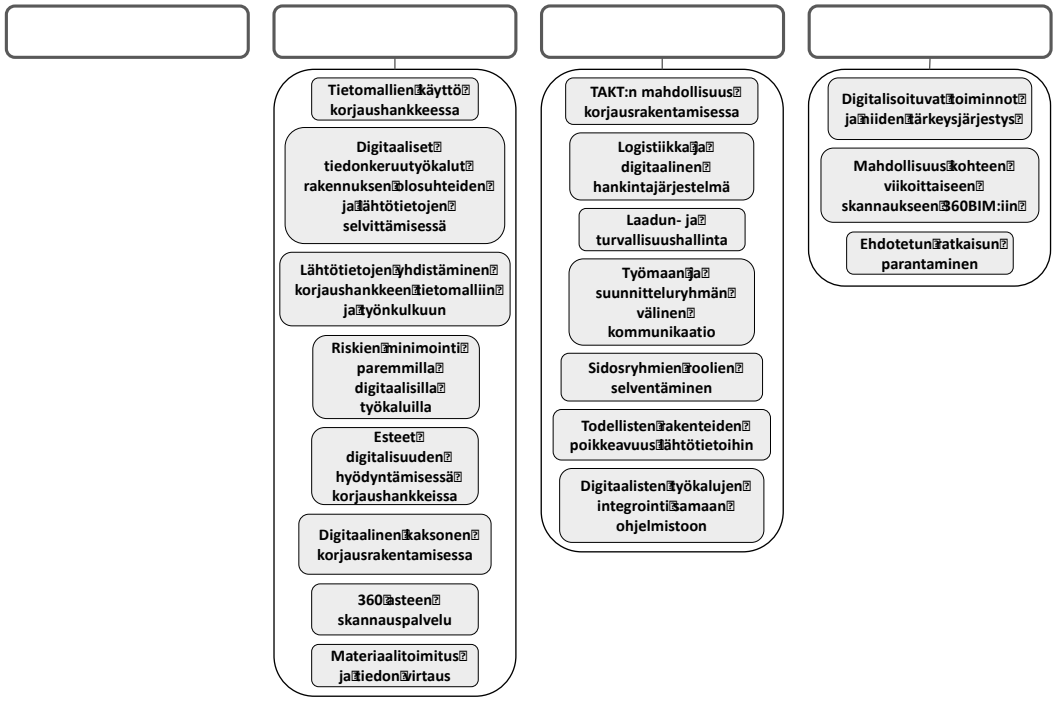
Laadunhallinnan osiossa (kuva 15.) työmaanjohdolle saapuu rakennusmiesten tekemiä havaintoja työmaalta kuvauksineen, joita johto tarkastaa ja priorisoi värikoodeilla havainnon vakavuuden mukaan. Punainen värikoodi viittaa siihen, että kyseessä on erittäin vakava laatuvirhe ja sen täytyy korjata mahdollisimman pian. Oranssi värikoodi viittaa siihen, että laatuvirhe on kohtalaisen vakava ja keltainen värikoodi viittaa siihen, että laatuvirhe on jokseekin vakava ja sen korjaamiseen ei ole kiirettä toistaiseksi.



Kuva 15. Laadunhallinta –osio.

5 Tulosten pohdinta

Tässä luvussa tiivistetään tutkimuksen tuottamat tulokset haastattelujen, tapaustutkimusten, omakohtaisen havainnoinnin ja pohdintojen pohjalta. Tutkimuksen tulokset verrataan myös kirjallisuuskatsaukseen. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin mahdollisuutta kehittää kokonaisvaltaista digitaalisella tiedolla johtamisen ratkaisua korjausrakentamiseen. Kuvassa 16. on esitetty teemoja, joita on käsitelty empiirisen tutkimuksen eri osioissa.



Kuva 16. Tutkimuksessa tarkastelevat teemat osittain.

Tutkimuksen alussa kokonaisvaltaisen digitaalisella tiedolla johtamisen ratkaisun ratkaisumuodoksi sovittiin alustavasti aikajanamalli, joka koostuisi olemassa olevista digitaalisista osaratkaisuista. Kokonaisvaltainen ratkaisu kattaisi hankkeen suunnittelu- ja toteutusvaiheen johtamisprosesseja ja sillä varmistettaisiin sujuvaa ja tehokasta tiedon virtausta digitaalisia työkaluja hyödyntäen. Työn edistyttyä kertyi parempi ymmärrys digitaalisella tiedolla johtamisen tarpeesta korjausrakentamisessa sekä siitä, että mikä olisi optimaalisin ratkaisumuoto perustuen empiiriseen ja kirjalliseen tutkimukseen.

Diplomityössä mielenkiintoista oli kirjallisuus- ja empiirisen tutkimuksen ristiinvertailu. Työssä pyrittiin löytämään kirjallisuudessa osaratkaisuja, jotka vastaavat empiirisessä tutkimuksessa havaittuihin haasteisiin. Empiirisessä tutkimuksessa merkittävimmät haasteet koskivat epätarkkoja lähtötietoja, kommunikointia ja koordinointia sekä dokumentointia. Kirjallisuusselvitys osoitti

selkeästi, että korjauskohteen epätarkat lähtötiedot ja puutteellinen kommunikaatio työmaan ja suunnittelijaryhmän välillä ovat korjausrakentamisen merkittävimmät ongelmakohdat (Thaleia Konstantinou ym. 2021). Tämä vakiinnuttaa empiirisessä tutkimuksessa tehdyt havainnot korjausrakentamisen merkittävimmistä haasteista.

Kirjallisuusselvityksen ja empiirisen tutkimuksen eroavaisuus haasteisiin liittyvissä havainnoissa luokittuivat suurimmaksi osaksi tiedon virtauksen kulttuurillisiin tekijöihin. Empiirisen tutkimuksen tapaustutkimuksissa havaitiin, että tiedon virtauksen tehottomuuteen vaikutti epäasiallinen suhtautuminen tiedon käsittelyyn. Tämä viittaa siihen, että viestinnän laatu, eli miten tietoa välitetään, miten sitä vastaanotetaan ja miten siihen suhdaututaan, vaikuttaa tiedon virtauksen tehokkuuteen. Tapaustutkimuksissa korostui, miten joko liian läheinen tai kaukainen ihmissuhde sidosryhmien välillä vaikuttaa tiedon välityksen tehokkuuteen. Liian läheisessä ihmissuhteessä, työtehtäviä saatettiin ottaa löysin rantein ja liian kaukaisessa ihmissuhteessa ei uskallettu pyytää tietoa. Tämä havainto herätti kysymyksen, miten olisi mahdollista vaihtaa tietoa eri sidosryhmien välillä, jotta tiedon vaihto tapahtuisi tehokkaasti laadullisesta näkökulmasta?

5.1 Kehitetyt digitaaliset ratkaisut ja työkalut korjausrakentamiseen

Korjausrakentamiseen kehitetyt digitaaliset ratkaisut ja työkalut ovat pääosin keskittyneet olemassa olevan rakennuksen tiedonkeruun ja kerätyn raa'an datan käsittelyyn. Esihaastatteluihin osallistuneista yrityksistä kaikki, jotka suorittavat korjauskohteen tiedonkeruuta lähtötietojen selvittämiseksi, hyödyntävät ainakin laserkeilausta. Olosuhteiden selvittämiseksi ja niiden seurantaan käytettiin lämpö-, kosteus- ja pölymittareita sekä erilaisia antureita valun kuivumisen seurantaan. Empiirisen tutkimuksen esihaastatteluissa tiedon visuaalinen esitystapa kuten BIM –tietomalli, 360-kuvat ja videot työmailta osoittautuivat olevan merkittävä tapa esittää paikkatietoa, detaljitietoa tai tietoa projektin edistymisestä digitaalisesti.

Kirjallisuudessa korjausrakentamiseen kehitetyt ratkaisut ja työkalut on jaettu fyysisiin ja ohjelmistoratkaisuihin. Fyysiset työkalut ovat mittaustyökaluja ja ne on suunniteltu keräämään rakenteellisia ja olosuhteellisia tietoja korjauskohteesta. Yksi kehittyneimmistä fyysisistä työkaluista on monianturi tiedonkeruujärjestelmä, mikä mahdollistaa kolmiulotteisen, termografisen, optisen ja panoraamaisen datan kaappaamisen samanaikaisesti sekä ympäristön lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja valosaastekartan luomisen. Korjausrakentamiseen kehitettyjä ohjelmistoratkaisuja ovat skannatun datan käsittelyohjelmistoja sekä BIM-tietomallin korjausrakentamiseen tarkoitettuja laajennusohjelmistoja.

Kirjallisuuden mukaan, skannatun datan käsittelyohjelmistoilla muodostetaan mittauspistesarjoista pistepilvi, jota integroidaan BIM:in tietomalliin, luoden

semanttisesti rikkaampi tietomalli (Tang ym. 2010). Korjausrakentamisessa BIM-tietomallin käyttömahdollisuudet vaihtelevat parannetusta korjaussuunnittelusta rakennuksen energiankulutuksen mallintamiseen. BIM:in hyödyntäminen korjaushankkeen käänteisessä suunnittelussa tehostaa tiedon hyödyntmäistä ja tiedon kulkua hankkeen merkittävimpien sidosryhmien kesken. Suunnitteluvaiheessa BIM-tietomalliin on mahdollista integroida virtuaalinentodellisuus, jolla voidaan tukea suunnitteluun osallistuvien sidosryhmien parempaa ymmärtämistä hankkeen suunnittelusta ja toteutuksesta.

5.2 Digitaalisella tiedolla johtaminen korjausrakentamisessa

Empiirisessä tutkimuksessa korostui korjausrakentamisen luonne ja siihen liittyvät haasteet. Esihaastatteluissa ja tapauskohtaisissa tutkimuksissa tuli ilmi, että korjausrakentamisen suurin ongelma piilee olemassa olevan rakennuksen lähtötietojen tarkkuudessa. Lisäksi, muita merkittäviä haasteita korjausrakentamisessa olivat eri osapuolten välinen heikko kommunikaatio, epäselvät roolit hankkeessa ja haastava koordinointi. Empiirisen tutkimuksen mukaan lähtötiedot ovat heikosti saatavissa ja yleensä epätarkkoja, mikä muuttaa korjausrakentamisen hankkeen luonnetta iteroivaksi. Tässä iteraatiolla viitataan käänteiseen suunnitteluun eli purun jälkeen alustavista suunnitelmista poikkeavat rakenteet ja detaljit päivitetään suunnittelu- ja toteutusvaiheessa digitaaliseen tietomalliin.

Suunnitellessa digitaalisella tiedolla johtamisen kokonaisvaltaista ratkaisua korjausrakentamiseen, täytyy tunnistaa korjausrakentamisen olellisimmat haasteet ja priorisoida ne tärkeysjärjestykseen, jotta kokonaisvaltainen ratkaisu palvelisi haasteita optimaalisesti, kohdistaen asianmukaisesti työpanosta kunkin haasteeseen. Empiirisessä tutkimuksessa tuli ilmi, että korjausrakentamisen iteroiva luonne korostaa sen, että työmaan ja suunnitteluryhmän välisellä yhteistyöllä ja tiedonvälityksellä on suuri vaikutus korjaushankkeen onnistumiseen. Työmaan ja suunnitteluryhmän tehokas yhteistyö ja kommunikaatio johtavat iteraatiokierrosten ajan lyhenemiseen ja iteraatiokierrosten määrän vähenemiseen. Empiirinen tutkimus osoitti, että Suomessa työmaan ja suunnitteluryhmän välinen viestintä on heikolla tasolla.

Empiirisen tutkimuksen mukaan roolien jako on heikkojen lähtötietojen ja heikon kommunikaation kanssa yksi merkittävimmistä haasteista korjausrakentamisessa. Tieto liikkuu korjausrakentamisessa moneen eri suuntaan ja työtehtävät ja prosessit eivät etene aina suoraviivaisesti suunnitelmien mukaan. Näin ollen, on erityisen tärkeää osapuolten ymmärtävän miten vastuut ja velvollisuudet jakautuvat heidän kesken. Empiirinen tutkimus osoitti, että korjausrakentamisessa roolit tulisi kirjoittaa

auki yksiselitteisiksi. Kirjallisuuden mukaan, suunnitteluvaiheessa työnositus auttaa tärkeimpiä sidosryhmiä ymmärtämään roolinsa ja vastuunsa (Ding ym. 2019).

Empiirinen tutkimus osoitti, että laadunhallinta oli onnistunein osa-alue digitaalisessa johtamisessa korjausrakentamisessa. Laadunhallintaa varten käytettiin ohjelmaa, jonne rakennusmiehet kirjasivat laatuvirheet kuvineen ja liitteineen. Laadunhallintaa teki tehokkaaksi kuvaliitteiden visuaalinen esitystapa, sillä kaikki tieto löytyi kuvamuodossa eikä laatuvirheitä tarvittu kuvailla tekstimuodossa. Rakennusmiehet lähettivät laatuvirheet työmaan johdolle, joka priorisoi laatuvirheet aikataulun mukaan ja raportoi ne urakoitsijoille.

Kirjallisuus korostaa, että visuaalinen viestintä voi olla tehokkaampaa kuin verbaalinen viestintä (Wileman 1993). Toimenpiteet lisätöiden vähentämiseksi tulisi suunnata tehostettuun tiedon hyödyntämiseen, eli tietomallin käyttöönottoon. BIM luo kattavaa, luotettavaa, helposti saatavilla olevaa ja helposti korvattavaa rakennustietoa kenelle tahansa rakennuksen koko elinkaaren ajan. Korjaushankkeen visualistointia toteutusvaiheessa auttaa työntekijöitä ymmärtämään koko projektia ja rakennuksen tiettyjen elementtien suunnittelua. BIM-tietomallilla on myös mahdollisuus lisätä viestinnän tehokkuutta entisestään, kun työntekijät voivat olla vuorovaikutuksessa mallin kautta. BIM-tietomallin käyttö työmaalla avaa uuden viestintäkanavan suunnittelun ja rakentamisen välille, mahdollistaen rajapinnalla esiintyvien ongelmien ratkaisemisen, kuten suunnittelijaryhmän ja työmaan välinen heikko viestintä/vuorovaikutus ja viivästyneet piirustukset.

5.3 Digitaalisen tiedon tarpeellisuus korjausrakentamisessa

Empiirinen tutkimus osoittaa, että riittävä ja tarkka tieto korjauskohteesta auttaa muita sidosryhmiä ymmärtämään mitä korjauskohteessa tapahtuu varsinkin silloin kun muutetaan suunnitelmia. Tällä hetkellä kommunikaatio korjaushankkeen eri osapuolten välillä on epäoptimaalista, osa tiedon vaihto tapahtuu verbaalisesti tai sitten tieto kulkee eri osapuolten ja eri organisaatioiden välillä eri ohjelmissa, jolloin tietoa täytyy kaivaa eri paikoista. Tehoton kommunikaatio vie kallista aikaa, täten kaikki korjauskohteessa tehdyt havainnot olisivat yhdessä mallissa, jota kaikki osaisivat käyttää, niin ei tarvitse jatkuvasti kysellä asioita eikä tietojen etsimiseen kuluisi ylimääräistä aikaa. Lisäksi, digitaalinen suunnittelumalli, jossa on kaikki yksityiskohdat esitettynä, on tilaajan hahmottamisen kannalta välttämätön.

Kirjallisuuden mukaan, tiedon puute ja koordinoinnin haasteellisuus ja heikko viestintä ovat osoittautuneet olevan suurimmat pullonkaulat korjausrakentamisessa. Viestintävälineiden kehitys ja suunnittelu ovat korjausrakentamisen tuottavuuden parantamisen keskiössä. Tehoton tiedon virtaus korjausrakentamisessa synnyttää lisätöitä. Lisätöiden kustannuksen suuruus on suhteellista, eli mitä kalliimpi korjaushanke on rahallisesti, sitä kalliimpia lisätyöt tulevat olemaan. Täten on merkittävää, että alkuperäiset suunnittelupiirustukset ovat tarkkoja, jotta voidaan

ehkäistä uudelleensuunnittelua. Kirjallisuus korostaa, että korjaushankkeissa kuluu ylimääräistä aikaa puuttellisten hanketietojen käsittelyssä, sidosryhmien välisissä kommunikaatiohäiriöissä, ammattitaidon puutteen yhteydessä ja tietomallin sopimus- ja mallistandardien puutteen yhteydessä. Pelkästään Yhdysvalloissa tehoton viestintä ja epätarkat projektitiedot aiheuttavat yhteensä 31,3 miljardin dollarin tappiot vuodessa.

Empiirinen tutkimus osoitti, että olemassa oleva digitaalinen tieto rakennuksesta ennen korjausrakentamista auttaa kiinteistön omistajan saamaan rahoitusta rahoituslaitoksista. Pankki rahoittaa mielummin digitaalisesti dokumentoidun kiinteistön korjausta, minkä ollaan mallinnettu, sillä kiinteistössä on tällöin sisäiset rakenteet selvillä ja rahoittaja voi halutessa seurata korjaushankkeen edistymistä. Valitettavasti, on olemassa paljon asuintaloja, joissa asuu paljon ihmisiä ja jotka eivät tule saamaan tulevaisuudessa rahoitusta. Näin ollen, digitalisesti skannaamattoman rakennuksen korjauksen yhteydessä on kriittistä saada kaikki analogiset lähtötiedot digitaaliseen muotoon ja luoda rakennuksta digitaalinen malli, jotta tulevaisuudessa olisi huomattavasti helpompaa suorittaa korjaukset. Digitaalisesti skannatulle rakennukselle saataisiin etukäteen korjaushankkeen läpimenoajat ja jopa materiaalien kierrätysajat. Korjaushankkeen alkuvaiheessa yleensä ihmetellään missä jokin tieto on, mistä tietoa saisi ja kuka sen tietäisi, minkä jälkeen ongelmat alkaavat kertymään. Empiirinen tutkimus osoitti selkeästi sen, että asiat hoidetaan korjausrakentamisessa epäoptimoitusti. Epäoptimaalinen lähestymistapa korjausrakentamisessa on jättänyt merkittävän tyhjiön tuottavuudessa, mikä korostuu tiedon hallinnan ja tietomallin hyödyntämisen potentiaalissa korjausrakentamisessa.

5.4 Tiedon virtauksen varmistaminen korjausrakennushankkeessa

Empiirinen tutkimus osoittaa, että projektipankki on tiedon keskiö, jonka kautta tieto virtaa eri osapuolten välillä. Projektipankki on kansioista muodostunut puurakenne, jossa dokumentoidaan projektin mallit, suunnitelmat, asiakirjat ja muut dokumentit. Käytännössä projektipankissa ylläpidetään järjestäytynyttä dokumentaatiota, jossa ei ole digitaalisia järjestelmiä tai ohjelmia yhteydessä toisiinsa. Korjaushankkeen osapuolet hyödyntävät pääosin omia organisaation sisäisiä ohjelmia, jonka lisäksi projektipankki toimii heidän yhteisenä projektin tietovarantona. Empiirisessä tutkimuksessa nousi esille monia haasteita, jotka heikentävät yhtenäistä tiedonvirtausta korjausrakennushankkeessa. Tietoa voi esimerkiksi kadota tai tiedon laatu taikka tarkkuus voi heikentyä, kun tietoa siirretään ohjelmasta toiseen, kun ohjelmat eivät keskustele keskenään heikentämättä tiedon laatua. Ohjelmistot myös kehittyvät ajan myötä, minkä vuoksi niiden käyttäjät tarvitsevat jatkuvaa koulutusta. Markkinoilla on erilaisten ohjelmistokehittäjien ohjelmistoja eri käyttötarkoituksiin, mitkä toisaalta vaativat käyttäjiltään erityisosaamista. Tieto liikkuu yrityksessä monella eri tasolla ja moneen eri suuntaan, hankaloittaen tiedon hallintaa.

Korjausrakentamisessa tiedonkulku on hankkeen onnistumisen kannalta olennaista. Digitaaliset työkalut mahdollistavat tiedon saatavuutta kaikille sidosryhmille nopeuttaen tiedonkulkua. Rakennustyömailla käytettävillä BIM-laitteilla on mahdollisuus kaksisuuntaiseen viestintään. Kaksisuuntaiset viestintäkanavat helpottavat rakennustyöntekijöitä raportoimaan laatuvirheet ja edistymiset suoraan suunnittelijaryhmälle. Perinteisesti puhelut, sähköpostit, piirtäminen sekä esimiesten ja suunnittelupäälliköiden tapaamiset ovat olleet yleisiä viestintäkanavia. Nämä eivät kuitenkaan ole kovin tehokkaita keinoja kommunikoida esimerkiksi edistymisestä ja laatuvirheistä, sillä tieto kulkee pitkän matkan ennen kuin se saavuttaa määränpään. Tiedon rikastamiseksi työntekijät voivat ottaa tabletilla valokuvan rakennustyömaalta ja liittää sen virheraporttiin, jotta suunnittelijat näkevät tarkalleen, missä ongelma voisi olla. Kirjallisuuden mukaan ihmisen näköaisti välittää 80-85% tehdyistä havainnoista aivoille. Visuaalisessa muodossa olevaa tietoa voidaan sisäistää yhdellä silmäyksellä. Visuaalisen hallinnan tarkoitus on helpottaa tehtävien suorittamista tarjoamalla nopean ja oikean käsityksen tiedosta. Epätietoisuus hankkeen tai työtehtävien tilasta korreloituu prosessien alhaiseen läpinäkyvyyteen, työnkulun keskeytykseen ja ajanhukkaan tiedon etsimisessä. Kun korjaushankkeen tuotantovaiheessa lisätään sidosryhmien tilannetietoisuutta hankkeesta, voivat he tehdä parempia ja ennakoivia päätöksiä.

Empiirinen tutkimus osoitti, että etenkin koordinointiin liittyvässä viestinnässä visuaalinen viestinvälitys on osoittautunut tehokkaaksi. Suunnitteluongelmissa tai laadunvalvonnassa on käytetty valokuvia, joita katsomalla viestin vastaanottaja sisäistää tiedon välittömästi.

Empiirinen tutkimus korostaa suunitteluryhmän epäoptimaalista työkäytäntöä. Korjaushankkeen rakennussuunnitteluun osallistuvat eri aloihin erikoistuneita suunnittelijoita, kuten esimerkiksi korjausrakentamiseen erikoistunut suunnittelija, betonielementin suunnitteluun erikoistunut urakoitsija, teräsrakenne erikoistunut suunnittelija urakoitsija ja varsinaiseen laajennusosuuteen erikoistunut urakoitsija. Näin ollen, korostuu rakennesuunnittelutoimiston projektipäällikön rooli tiedon välittämisessä siinä mielessä, että kaikki suunnittelijat ymmärtävät missä vaiheessa suunnittelu etenee ja että asiat tulevat yhteen sovitettua. Yleensä ajatellaan, että suunnittelu etenee sillä tavalla, että suunnittelija työstää valmiiksi suunnittelunsa, mutta todellisuudessa kukaan ei suunnittele loppuun asti. Ratkaisun ollakseen järkevä, täytyy suunnitteluun osallistua kaikki osapuolet. Täten, yhdessä muodostuu ratkaisu, joka palvelee kaikkia osapuolia tasapuolisesti. Kirjallisuuden mukaan automatisoitu tietomalli auttaa eri alan suunnittelijoita työstää samaa mallia, johon tiedot päivittyvät reaaliajassa. Korjausrakentamisen iteratiivinen luonne johtuu rajoitetusta viestinnästä ja tiedon jakamisesta. Kun tiedot päivittyvät reaaliajassa, se vähentää suunnittelun iteraatiokierrosten määrää ja iteraatiokierrosten kestoa, säästäen aikaa ja estäen kustannusten ylitykset. Työmaan tuotantojärjestelmän tehokkuuteen vaikuttaa tarkka ja oikea-aikainen tiedon saatavuus. Täten, työmaan

johdolla ja suunnittelijaryhmällä täytyy olla tiivis ja yhteentoimiva viestintäjärjestelmä.

Empiirisessä tutkimuksessa tuli esille korjaushankkeen sidosryhmien tavanomainen asenne viestinnässä ja sen vaikutus tiedon virtauksen tehokkuuteen, jota ei käsitelty korjausrakentamisen kirjallisuudessa. Oli tapauksia, joissa suhtauduttiin löysin rantein työtehtäviin ainoastaan sen takia, että osapuolet olivat hyvissä väleissä. Vastaavasti oli myös tapauksia, jossa jonkin tarvitseman tiedon perään ei viititty lähteä kyselemään, koska ei olla läheisiä eikä haluta häiritä vastaavaa osapuolta. Merkittävää oli se, että useissa hankkeissa suunnittelijaryhmä ei uskaltanut kysyä lähtötietoja, minkä vuoksi työmaalla saadut suunnitelmat olivat huonoja. Mikäli kaikki havainnot työmaalta ja suunnitelmat olisivat yhdessä mallissa, jota kaikki korjaushankkeen sidosryhmät käyttävät, niin ei tarvitsisi kysellä asioita eri henkilöiltä, sillä mallissa näkyisi tasan tarkkaan missä piilee ongelma taikka mistä tietoa saisi. Lisäksi, empiirisen tutkimuksen perusteella, työmaa ja suunnitteluryhmä tapaavat ja välittävät tietoa maksimissaan muutaman kerran viikossa, minkä vuoksi työmaan ja suunnitteluryhmän välinen viestintä on katkonaista. Katkonaisesta viestinnästä johtuen, suunnitelmien muutoksiin liittyvä toimenpide eli yksi iteraatio kierros toteutuu parhaassa tapauksessa ennen seuraavaa tapaamista. Huonommassa tapauksessa, ohjaussuunnittelun seuraavalla tapaamisella suunnitteluryhmä pyytää lisätietoja työmaalta, minkä jälkeen tilannetta katsastetaan seuraavalla tapaamisella. Heikkoa viestintää esiintyi myös työmaan ja materiaalitoimittajan välillä sekä työnjohtajan ja rakennusmiesten välillä.

6 Johtopäätökset ja yhteenveto

6.1 Johtopäätökset

Tutkimuksen tavoitteena oli luoda kokonaisvaltainen ratkaisu digitaalisella tiedolla johtamisen malli korjausrakentamiseen. Kirjallisuustutkimuksen tavoitteena oli selvittää mitä olemassa olevia osaratkaisuja ja työkaluja on kehitetty korjausrakentamiseen, joita integroimalla voidaan luoda optimaalinen ja sidosryhmiä asianmukaisesti palveleva kokonaisvaltainen ratkaisu pohjautuen empiirisessä tutkimuksessa havaittuihin korjausrakentamisen haasteisiin. Diplomityölle luotiin neljä tutkimuskysymystä, joiden avulla saatiin kattava ymmärrys korjausrakentamisen mahdollisuuksista ja haasteista, jotka ohjaavat työtä oikeaan suuntaan päätavoitteen saavuttamiseksi. Tutkimuskysymykset, joihin pyrittiin vastaamaan ovat:

1) Mitä digitaalisia ratkaisuja ja työkaluja on kehitetty korjausrakentamiseen?
2) Miten digitalisaatiota on hyödynnetty korjausrakentamishankkeen eri vaiheissa?
    2a. Digitaalisen tiedon hyödyntämisen merkitys korjausrakentamisessa?
3) Miten digitalisaatiota hyödyntämällä voidaan varmistaa tiedon virtaus korjausrakentamisessa?

Kirjallisuustutkimus keskittyi olemassa oleviin ja kehitteillä oleviin digitaalisiin osaratkaisuihin ja työkaluihin, sekä kartoitti digitalisaation mahdollisuuksia rakentamisessa. Kirjallisuudessa tuli ilmi, että korjausrakentamiseen kehitetyt digitaaliset fyysiset työkalut ovat tiedonkeruulaitteita, kuten mittauslaitteita tai olosuhdemittareita. Merkittävin kehitetty tiedonkeruulaite korjausrakentamiseen on monianturi tiedonkeruujärjestelmä, joka koostuu useasta erilaisesta mittaustyökalusta ja olosuhdemittareista, joilla on mahdollista suorittaa erilaiset mittaukset samanaikaisesti. Kirjallisuusselvitys osoitti, että projektitasolla digitalisaatiota hyödynnetään integroimalla digitaalisia osaratkaisuja käyttötarpeen mukaan optimaaliseen muotoon ja jotta digitalisaatio olisi mahdollista korjausrakentamisessa, korjauskohteen lähtötiedot tulisivat olla saatavilla digitaalisessa muodossa jo ennen varsinaista suunnitteluvaihetta.

Tutkimustulosten mukaan, digitalisaatio täytyy alkaa korjaushankkeen esisuunnitteluvaiheessa, jotta voitaisiin johtaa hanketta digitalisella tiedolla myös sen myöhemmissä vaiheissa. Alkuperäiset dokumentit täytyy digitalisoida ja rakenteiden purku ja keilaus tulee aloittaa hyvissä ajoin jo ennen varsinaista suunnitteluvaihetta. Esisuunnitteluvaiheessa ositetaan hankkeen eri vaiheiden työtehtävät, varmistaakseen työtehtävien kattavan ja yksiselitteisen määrittelyn sekä varmistamaan tarkkaa tietoa ja sen välittämistä ensisijaisten sidosryhmien kesken.

Varsinaisessa suunnittelussa, suunnittelijoiden täytyy osittaa tietomalli pienemmiksi ja hallittavissa oleviksi moduuleiksi laadun ja kustannusten hallitsemiseksi. Suunnittelijoiden tulisi yhteistyötä tekemällä työstää suunnitelmiaan yhteisessä automaattisesti päivittyvässä tietomallissa. Täten tietomallipohjaisessa suunnittelussa, suunnittelijat voivat jakaa ja integroida eri suunnittelijoiden rakennustietomalleja. Tämä mahdollistaa reaaliaikaisia muutoksia ja ajantasaisen tiedon jakamisen eri suunnittelijoiden kesken, mikä varmistaa jatkuvaa tiedon virtausta.

Tutkimustulosten mukaan, korjausrakentamisessa suurimmat haasteet liittyvät puutteellisiin, virheellisiin tai olemattomiin lähtötietoihin ja heikkoon kommunikaatioon työmaan ja suunnittelijaryhmän välillä korjaushankkeen toteutusvaiheessa. Todellisten lähtötietojen heikko saanti yhdessä heikon kommunikaation kanssa lisäävät ja pidentävät iteraatiokierroksia, eli arvoa tuottamattomia lisätöitä. Mitä useammin kohdataan yllätyksiä kiinteistön erotessa lähtötiedoista, sitä useampi iteraatiokierros tullaan suorittamaan. Mitä katkonaisempi on työmaan ja suunnittelijaryhmän välinen kommunikaatioyhteys, sitä kauemmin kestää työmään ja suunnittelijaryhmän välinen dokumenttien vaihto. Esimerkiksi kerran viikossa pidetyssä *Big Room* palaverissa, rakennussuunnitelmat päivittyvät vain palaverin aikana, eli vain kerran viikossa. Tutkimustulokset ehdottavat BIM –tietomallin hyödyntämistä korjausrakennushankkeen toteutusvaiheessa. BIM –tietomalli auttaa työmaata hahmottamaan ja ymmärtämään projektia paremmin 3D-visualisoinnin avulla. BIM –tietomallit mahdollistavat jatkuvaa, kaksisuuntaista ja visuaalista viestintää työmaan ja suunnittelijaryhmän välillä, jossa työmaan työntekijät voivat merkitä laatuvirheet tietomalliin ja lähettää virheraportin kuvaliitteineen suunnittelijaryhmälle. Näin, suunnittelijat hahmottavat ja ymmärtävät ongelman paremmin. BIM –tietomalli toimii myös dokumentaatio alustana.

Tiedonvaihdon ja kommunikaation tehostamiseksi, digitaalisten teknologioiden soveltamisella korjaushankkeen toteutusvaiheessa on kriittisiä vaikutuksia. Digitalisoitu rakentaminen nykypäivänä on noussut yhdeksi hyödyllisimmistä työkaluista, jolla voidaan minimoida iteratiivista uudelleentyöstöä ja lyhentää iteraatioiden kierrosaikoja, tehostamalla työmaan ja suunnittelijaryhmän välistä kommunikaatiota. Korjausrakentamisessa merkittävimmät haasteet työmaan ja suunnittelijaryhmän välillä ovat suunnitteluvirheet tai suunnittelun puute tietyllä alueella, eri osapuolten väliset ristiriidat, viivästyneet piirustukset ja huono viestintä.

Kirjallisuusselvitys tutki myös, miten tiedon virtausta voidaan varmistaa koko hankkeen ajan, jonka myötä tutkimuksessa korostui digitalisaation ja visuaalisen hallinnan merkitys korjausrakentamisessa. Digitalisaation onnistumisessa hyvä viestintä on avainasemassa ja hyvän viestinnän merkittävimpiä vaikuttajia ovat

viestintäkanavan rikkaus, jonka periaatteeseen nojautuu visuaalisen hallinnan merkitystä korostava tutkimustulos.

6.2 Tutkimuksen luotettavuus

Diplomityön kirjallisuusselvityksessä hyödynnettiin alan kansainvälistä kirjallisuutta ja artikkeleita. Digitaalisella tiedolla johtamisesta löytyi merkittävästi kirjallisuutta yleisellä tasolla, mutta digitalisaation hyödyntämistä korjausrakentamisessa on tutkittu toistaiseksi suhteellisen vähän. Työssä pyrittiin käyttämään alan uusinta kirjallisuutta. Vanhaa kirjallisuutta hyödynnettiin siinä tapauksessa, että kirjallisuus käsittelee yleistä asiaa mikä ei vanhene, kuten esimerkiksi visuaalinen hallinta tai tilannetietoisuus.

Empiirinen tutkimus koostui esihaastatteluista ja tapaustutkimuksista. Esihaastatteluihin osallistui yhteensä seitsemän Suomen suurinta rakennusalan yritystä ja tapaustutkimukset suoritettiin viidessä eri korjaushankkeessa. Empiiriseen tutkimukseen osallistuvilla henkilöillä on useiden vuosien työkokemus rakennustyömaa- ja projektijohdon parissa. Haastatteluissa saadut tulokset ja havainnot sekä niihin suhtautuminen olivat yhtäpitäviä ja yritykset olivat samaa mieltä korjausrakentamisen suurimmasta haasteesta, mikä lisää diplomityön luotettavuutta. Lisäksi, ennen varsinaisten haastattelujen aloittamista, haastateltaville ilmoitettiin, ettei heidän antamaa arkaluontoista tietoja jaeta tai kerrota muille, mikä lisäsi tutkimuksen luotettavuutta entisestään.

Haastatteluissa käsiteltyt yksittäiset havainnot ja asiat perustuvat haastateltavien yksilöllisiin tietoihin ja kokemuksiin, joten rakennusalaa kattavaa havaintojen tilastollista jakaumaa ei ole voitu tutkimuksessa esittämään. Empiirisessä tutkumuksessa korostuneet korjausrakentamisen merkittävimmät haasteet vastaavat hyvin pitkälti aiemmeissa tutkimuksissa havaittuihin haasteisiin, mikä lisää tutkimuksen luotettavuutta. Tapaustutkimukset suoritettiin eri laajuisiin korjauskohteisiin, kuten museoviraston suojelukohteisiin, toimistorakennuksiin ja koulurakennuksiin. Eri laajuisissa korjaushankkeissa esiintyvät korjaushankkeiden tyypillisten haasteiden lisäksi tapauskohtaisia haasteita. Täten, tapaustutkimukset kattaavat laajasti eri laajuisia haasteita.

6.3 Jatkotutkimusaiheet

Tässä dipolomityössä keskityttiin korjausrakentamiseen kehitettävään kokonaisvaltaiseen digitaalisella tiedolla johtamisen malliin. Työn aihe on yksi osa-alue digitaalisesta kaksosesta, joka kattaa rakennuksen koko elinkaarta. Olisi mielenkiintoista tutkia, miten paljon eroavat kustannukseltaan korjausrakentaminen kiinteistöön, jolla on digitaalinen kaksonen, verrattuna rakennukseen josta täytyy digitalisoida kaikki asiakirjat.

Kiinnostaa myös tietää, että mitä hyödyllistä dataa digitaalisesta kaksosesta saadaan ulos, jota voidaan hyödyntää digitaalisella tiedolla johtamisen mallissa sekä itse mallin luomisessa. Kiinnostavaa on myös tutkia, miten diplomityön ratkaisu auttaisi vanhoja rakennuksia lähestymään digitaalista kaksosta tai ainakin helpottamaan sen luontia.

Diplomintyön ratkaisun toteuttamisen suurimmat esteet ovat miten voidaan suorittaa kiinteistön viikottaiset skannaukset korjausrakentamisen toteutusvaiheessa. Korjausrakennuskohde toimii osittain materiaalien, työkalujen ja työkoneiden varastona, täten, tulisi tyhjentää skannattavat tilat, jotta skannaukset voidaan suorittaa. Iso kysymys on se, että miten tämä olisi käytännössä mahdollista?

Digitaalisella tiedolla johtamisen mallin kustannustehokkuus on myös merkittävän ratkaiseva asia, silloin kun päätetään että otetaanko käyttöön kyseinen malli. Projektien lisätöiden kustannukset ovat suhteellisia, eli mitä kalliimpi korjaushanke sitä kalliimmat lisätyöt ovat absoluuttisesti. Täten, kustannuksellisesti suuremmissa korjaushankkeissa on absoluuttisesti suuremmat kustannukselliset säästömahdollisuudet. Olisi mielenkiintoista tutkia, miten kokonaisvaltaisen digitaalisella tiedolla johtamisen mallin luomisen ja ylläpidon yhteydessä syntyneet kustannukset kertyvät sekä millä ehdoilla mallin hyödyntäminen korjaushankeessa olisi kustannustehokasta.

Historiallisissa korjauskohteissa tyypillinen haaste on käänteinen varastointi, eli kun pintamateriaalit puretaan korjauksen ajaksi, niin ne täytyy säilyttää ehjänä ja asettaa takaisin omille paikoilleen korjaushankkeen päätyttyä. Ongelman muodostaa varastoitavien materiaalien suuri määrä, mikä hankaloittaa niiden käsittelyä.

Lähteet

Akinci, B., 2015. Situational awareness in construction and facility manage ment. Frontiers of Engineering Management, 1(3), s. 283-289. Vii tattu: 22.4.2022.

Alarcón, L., Mandujano R, M.G. ja Mourgues, C., 2013. Analysis of the implemen tation of VDC from a lean perspective: Literature review. In For moso, CT & Tzortzopoulos, P., 21th Annual Conference of the Inter national Group for Lean Construction. Fortaleza, Brazil, s. 781-790. Viitattu 28.7.2022.

Alarcón, L.F., 1997. Modeling waste and performance in construction. Lean const ruction, s. 51-66. Viitattu 28.7.2022.

Al Hattab, M. ja Hamzeh, F., 2013. Information flow comparison between traditi onal and BIM-based projects in the design phase. In Proceedings for the 21st annual conference of the international group for lean const ruction (Vol.10). Viitattu 28.7.2022.

Ambler, S., 2002. Agile modeling: effective practices for extreme programming and the unified process. John Wiley & Sons. Viitattu 28.7.2022.

Anil, E.B., Akinci, B. ja Huber, D., 2011. Representation requirements of as-is building information models generated from laser scanned point cloud data. In Proceedings of the International Symposium on Auto mation and Robotics in Construction, Seoul, Korea (Vol. 29). Viitattu 25.7.2022.

Antwi-Afari, M.F., Li, H., Pärn, E.A. ja Edwards, D.J., 2018. Critical success fac tors for implementing building information modelling (BIM): A lon gitudinal review. Automation in construction, 91, s. 100-110. Viitattu: 6.4.2022.

Armesto, J., Sánchez-Villanueva, C., Patiño-Cambeiro, F. ja Patiño-Barbeito, F., 2016. Indoor multi-sensor acquisition system for projects on energy renovation of buildings. Sensors, 16(6), s. 785. Viitattu 28.7.2022.

Azhar, S., 2011. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. Leadership and management in en gineering, 11(3), s. 241-252. Viitattu 28.7.2022.

Barber, P., Graves, A., Hall, M., Sheath, D. ja Tomkins, C., 2000. Quality failure costs in civil engineering projects. International Journal of Quality & Reliability Management, 17(4-5), s. 479-492. Viitattu 28.7.2022.

Barbosa, F., Woetzel, J. ja Mischke, J., 2017. Reinventing construction: A route of higher productivity. McKinsey Global Institute. Viitattu: 20.4.2022.

Bråthen, K. ja Moum, A., 2015. Bridging the gap: taking BIM to the construction site. Engineering Construction and Architectural Management. Vii tattu: 28.7.2022.

Chen, Y. ja Kamara, J.M., 2008. Using mobile computing for construction site in formation management. Engineering, construction and architectural management. Viitattu: 28.7.2022.

Collins, A., Joseph, D. ja Bielaczyc, K., 2004. Design research: Theoretical and methodological issues. The Journal of the learning sciences, 13(1), s.15-42. Viitattu: 10.12.2022.

Craig, A.B., 2013. Understanding augmented reality: Concepts and applications. Viitattu: 25.4.2022.

D'Angelo, L., Hajdukiewicz, M., Seri, F. ja Keane, M.M., 2022. A novel BIM-ba sed process workflow for building retrofit. Journal of Building En gineering, 50, s. 104-163. Viitattu: 25.4.2022.

Daft, R.L. ja Lengel, R.H., 1983. Information richness. A new approach to manage rial behavior and organization design. Texas A and M Univ College Station Coll of Business Administration. Viitattu: 28.7.2022.

Dave, B., Kubler, S., Pikas, E., Holmström, J., Singh, V., Främling, K., Koskela, L. ja Peltokorpi, A., 2015. Intelligent products: shifting the production control logic in construction (with Lean and BIM). IGLC. Viitattu: 23.4.2022.

Dave, B., Kubler, S., Främling, K. ja Koskela, L., 2014. Addressing information flow in lean production management and control in construction. In ternational Group for Lean Construction. Viitattu: 30.7.2022.

Dave, B., Boddy, S. ja Koskela, L., 2010. Improving information flow within the production management system with web services. Viitattu: 23.4.2022.

Dave, B., Koskela, L., Kagioglou, M. ja Bertelsen, S., 2008. A critical look at in tegrating people, process and information systems within the const ruction sector. In Proceedings for the 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. s. 795-807. Viitattu: 30.7.2022.

Ding, Z., Liu, S., Liao, L. ja Zhang, L., 2019. A digital construction framework in tegrating building information modeling and reverse engineering technologies for renovation projects. Automation in Construc tion, 102, s. 45-58. Viitattu: 3.11.2022

DiSessa, A.A. ja Cobb, P., 2004. Ontological innovation and the role of theory in design experiments. The journal of the learning sciences, 13(1), s. 77-103. Viitattu: 10.12.2022.

Eastman, C.M., Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. ja Liston, K., 2011. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, ma nagers, designers, engineers and contractors. John Wiley & Sons. Vii tattu: 30.7.2022.

Elagiry, M., Marino, V., Lasarte, N., Elguezabal, P. ja Messervey, T., 2019. BIM4Ren: Barriers to BIM implementation in renovation processes in the Italian market. Buildings, 9(9), s. 200. Viitattu: 30.7.2022.

Endsley, M.R., 1995. Measurement of situation awareness in dynamic sys tems. Human factors, 37(1), s. 65-84. Viitattu: 23.4.2022.

Fischer M., Reed D., Khanzode A. ja Ashcraft H., A simple framework for integra ted project delivery, Proceedings of the 22nd Annual Conference of the International. Viitattu: 3.11.2022

Greif, M. ja Hamilton, B., 2017. The visual factory: building participation through shared information. Routledge. Viitattu: 30.7.2022.

Group for Lean Construction, Norja, 2014, s. 1319–1330 https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-30b78560-b1d5-4c64-b478-acaa815e4bec.pdf . Viitattu: 28.7.2022.

Gandhi, P., S. Khanna, and S. Ramaswamy. 2016. "Which industries are the most digital (and why)?" Viitattu . https://hbr.org/2016/04/a-chart-that-shows-which-industries-are-the-most-digital-and-why . Viitattu: 30.7.2022.

Gerbert P., Castagnino S., Rothballer C., Renz A., Filitz R., Digital in Engineering ja Construction: The Transformative Power of Building Information Modeling, The Boston Consulting Group, 2016, http://futureofconstruction.org/content/uploads/2016/09/BCG-Digital-in-Engineering-and-Construction-Mar-2016.pdf . Viitattu: 30.4.2022.

Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Azhar, S., Efimova, O. ja Raahemifar, K., 2017. Building Information Model ling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. Renewable and Sustainable Energy Re views, 75, s.1046-1053. Viitattu: 22.7.2022.

Gheisari, M., Foroughi Sabzevar, M., Chen, P. ja Irizzary, J., 2016. Integrating BIM and panorama to create a semi-augmented-reality experience of a construction site. International Journal of Construction Education and Research, 12(4), s.303-316. Viitattu: 25.4.2022.

Hajian, H. ja Becerik-Gerber, B., 2009. A research outlook for real-time project in formation management by integrating advanced field data acquisition systems and building information modeling. In Computing in Civil Engineering (2009) s. 83-94. Viitattu: 7.3.2022.

Hardin, B. ja McCool, D., 2015. BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows. John Wiley & Sons. Viitattu: 15.3.2022.

Harstad, E., Lædre, O., Svalestuen, F. ja Skhmot, N., 2015. How tablets can im prove communication in construction projects. In Proc. of the 23rd Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction s. 391-401. Vii tattu: 28.7.2022.

Haugan, G.T., 2001. Effective work breakdown structures. Berrett-Koehler Pub lishers. Viitattu: 3.11.2022.

Hewage, K.N. ja Ruwanpura, J.Y., 2006. Carpentry workers issues and efficiencies related to construction productivity in commercial construction pro jects in Alberta. Canadian Journal of Civil Engineering, 33(8), s. 1075-1089. Viitattu: 28.7.2022.

Knotten, V., Svalestuen, F., Hansen, G.K. ja Lædre, O., 2015. Design management in the building process-a review of current literature. Procedia Economics and Finance, 21, s. 120-127. Viitattu: 28.7.2022.

Ku, K., Pollalis, S.N., Fischer, M.A. ja Shelden, D.R., 2008. 3D model-based colla boration in design development and construction of complex shaped buildings. Viitattu: 21.6.2022.

Kärkkäinen, R., Lavikka, R., Seppänen, O. ja Peltokorpi, A., 2019, May. Situation picture through construction information management. In 10th Nordic conference on construction economics and organization. Emerald Publishing Limited. Viitattu: 23.4.2022.

Lengel, R.H. ja Daft, R.L., 1988. The selection of communication media as an exe cutive skill. Academy of Management Perspectives, 2(3), s. 225-232. Viitattu: 28.7.2022.

Leśniak, A., Górka, M. ja Skrzypczak, I., 2021. Barriers to BIM implementation in architecture, construction, and engineering projects—The polish study. Energies, 14(8), s. 2090. Viitattu: 7.3.2022.

Liu, C., Huo, B., Liu, S. ja Zhao, X., 2015. Effect of information sharing and pro cess coordination on logistics outsourcing. Industrial Management & Data Systems. Viitattu: 23.4.2022.

Liu, X., Eybpoosh, M. ja Akinci, B., 2012. Developing as-built building informa tion model using construction process history captured by a laser scanner and a camera. In Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World. s. 1232-1241. Viitattu: 9.2.2022.

Lofgren, A. ja Rebolj, D., 2007. Towards mobile lean communication for produc tion management. Proceedings of CIB-W78, Bringing ICT Know ledge to Work, Maribor, Slovenia, s. 541-548.

Love, P.E. ja Li, H., 2000. Quantifying the causes and costs of rework in construc tion. Construction Management & Economics, 18(4), s. 479-490. Vii tattu: 9.2.2022.

Mosey, D., Bahram, D., Dartnell, R., Hallam, C., Howard, C., Maqbool, A., Mur ray, K., Rawlinson, S. ja Winfield, M., 2016. Enabling BIM through procurement and contracts. Society of Construction Law Papers D, 192. Viitattu: 6.4.2022.

NIBS, Frequently Asked Questions about the National Bim Standard-United Sta tes™, National Institute of Building Sciences, 2016. https://www.na tionalbimstandard.org/faqs . Viitattu: 28.7.2022.

O'Connor, J. T., M. E. Kumashiro, ja K. A. Welch. 1999. "Measuring automation and integration in the construction industry." In Proc., ISARC'99: Int. Symp. On Automation and Robotics in Construction, Espanja. s. 211–216. Viitattu: 7.4.2022.

Parviainen, P., Tihinen, M., Kääriäinen, J. ja Teppola, S., 2017. Tackling the digi talization challenge: how to benefit from digitalization in practice. In ternational journal of information systems and project manage ment, 5(1). s. 63-77. Viitattu: 7.3.2022.

Pattini, G., Seghezzi, E. ja Di Giuda, G.M., 2021. DIGITALIZATION IN CONST RUCTION: BLOCKCHAIN APPLICABILITY IN THE IN DUSTRY. In The Eleventh International Structural Engineering and Construction Conference-ISEC 11. s. 1-6. Viitattu: 9.2.2022.

Peltokorpi, A. Teollinen ja digitalisoitu korjausrakentaminen. 2022. Espoo. Kesäse minaari. Viitattu: 3.11.2022.

Pereira, R.E., Moud, H.I. ja Gheisari, M., 2017. Using 360-degree interactive pano ramas to develop virtual representation of construction sites. In Lean and Computing in Construction Congress (LC3) (Vol. 1), s. 4-7. Vii tattu: 25.4.2022.

Pica, D. ja Abanda, F.H., 2021. Emerging BIM-3d-laser scanning integration in construction practice. In Collaboration and Integration in Construc

tion, Engineering, Management and Technology s. 345-350. Springer, Cham. Viitattu: 23.4.2022.
Pirkl, G., Hevesi, P., Amarislanov, O., ja Lukowicz, P. 2016. “Emerging BIM-3D-Laser Scanning Integration in Construction Practice.” Proc. 16th In ternational Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing Adjunct. Viitattu: 23.4.2022.
Raja V. ja Fernandes K.J., 2007. Reverse Engineering: An Industrial Perspective, Springer Series in Advanced Manufacturing, Springer-Verlag. Vii tattu: 25.4.2022.
Rajala, M. ja Penttilä, H., 2006. Testing 3D building modelling framework in buil ding renovation. In Communicating Space (s) 24th eCAADe Confe rence Proceedings. Viitattu: 28.7.2022.
Reinbold, A., Seppänen, O. ja Peltokorpi, A., 2020. THE ROLE OF DIGITA LIZED VISUAL MANAGEMENT TO EMPOWER SELF-MANA GED CREWS IN CONSTRUCTION PROJECTS. In Annual Confe rence of the International Group for Lean Construction s. 925-935. Viitattu: 23.4.2022.
Reinbold, A., Seppänen, O., Peltokorpi, A., Singh, V. ja Dror, E., 2019. Integrating indoor positioning systems and BIM to improve situational aware ness. In Proceedings of the 27th Annual Conference of the Internati onal Group for Lean Construction, IGLC s. 1141-1150.
Reis, J., Amorim, M., Melão, N., Cohen, Y. ja Rodrigues, M., 2020. Digitalization: A literature review and research agenda. In International Joint confe rence on industrial engineering and operations management s. 443-456. Springer, Cham. Viitattu: 25.4.2022.
Ruwanpura, J.Y., Hewage, K.N. ja Silva, L.P., 2012. Evolution of the i-Booth on site information management kiosk. Automation in Construction, 21, s. 52-63. Viitattu: 28.7.2022.
Ripley, D.L. ja Politzer, T., 2010. Vision disturbance after TBI. NeuroRehabilita tion, 27(3), s. 215. Viitattu: 28.7.2022.
Sacks, R., Barak, R., Belaciano, B., Gurevich, U. ja Pikas, E., 2013. KanBIM Workflow Management System: Prototype implementation and field testing. Lean Construction Journal. Viitattu: 28.7.2022.
Sacks, R., Radosavljevic, M. ja Barak, R., 2010. Requirements for building infor mation modeling based lean production management systems for construction. Automation in construction, 19(5), s. 641-655. Viitattu: 28.7.2022.
Sezer, A.A., Thunberg, M. ja Wernicke, B., 2021. Digitalization index: Developing a model for assessing the degree of digitalization of construction pro jects. Journal of construction engineering and management, 147(10). Viitattu: 12.4.2022.
E.K. Simpeh, R. Ndihokubwayo, P.E.D. Love, W.D. Thwala, 2015. A rework pro bability model: a quantitative assessment of rework occurrence in construction projects, Int. J. Confl. Manag. 15(2). s. 109–116. Vii tattu: 28.7.2022.
Samuelson, O., 2003. IT-användning i byggande och förvaltning (Doctoral disser tation, Industriell ekonomi och organisation). Viitattu: 28.7.2022.

Sardroud, J.M., Mehdizadehtavasani, M., Khorramabadi, A. ja Ranjbardar, A., 2018. Barriers analysis to effective implementation of BIM in the construction industry. In ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (Vol.35) s. 1-8. IAARC Publications. Viitattu: 16.6.2022.

Seppänen, O., 2009. Empirical research on the success of production control in building construction projects. Viitattu: 23.4.2022.

Sozen, H.C. ja Sagsan, M., 2009. Social networks versus technical networks: How different social interaction patterns effect information system utiliza tion in the organizations. Journal of US-China Public Administra tion, 6(7), s. 65-72. Viitattu: 2.4.2022.

Stoyanova, M., 2020. Good practices and recommendations for success in const ruction digitalization. TEM Journal, 9(1), s. 42-47. Viitattu: 6.4.2022.

Svalestuen, F., Knotten, V., Lædre, O., Drevland, F. ja Lohne, J., 2017. Using buil ding information model (BIM) devices to improve information flow and collaboration on construction sites. Viitattu: 28.7.2022.

Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R. ja Lytle, A., 2010. Automatic reconst ruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. Automation in construc tion, 19(7), s. 829-843. Viitattu: 6.4.2022.

Van Berlo, L.A. ja Natrop, M., 2015. BIM on the construction site: Providing hid den information on task specific drawings. Journal of information technology in construction (ITcon), 20(7), s. 97-106. Viitattu: 28.7.2022.

Volk, R., Stengel, J. ja Schultmann, F., 2014. Building information modeling (BIM) for existing buildings - literature review and future needs. Au tomation in Construction 38, s.109-27. Viitattu: 16.6.2022.

Wang, Q., Kim, M.K., Cheng, J.C. ja Sohn, H., 2016. Automated quality assess ment of precast concrete elements with geometry irregularities using terrestrial laser scanning. Automation in Construction, 68, s.170-182. Viitattu: 3.4.2022.

Wang, X., Kim, M.J., Love, P.E. ja Kang, S.C., 2013. Augmented Reality in built environment: Classification and implications for future research. Au tomation in construction, 32, s.1-13. Viitattu: 25.4.2022.

Wileman, R.E., 1993. Visual communicating. Educational Technology. Viitattu: 28.7.2022.

Yang, L.-R. 2008. “Exploring the links between task-level automation usage and project satisfaction.” Autom. Constr. 17(4): s. 450–458. Viitattu: 25.4.2022.