



Rakennuttamisen ja valvonnan tekoälytuki

Tomi Jylänki

Opinnäytetyö, ylempi AMK
Huhtikuu 2023
Tekniikan ala
Teknologia liiketoiminnan johtaminen

Jylänki Tomi

Rakennuttamisen ja valvonnan tekoälytuki.

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Huhtikuu 2023, 70 sivua

Tekniikan ala. Teknologialiiketoiminnan johtaminen. Opinnäytetyö ylempi AMK.

Julkaisun kieli: Suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: Kyllä

Tiivistelmä

Rakennuttajatehtävissä tarvitaan useiden eri tekniikanalojen asiantuntijoiden työpanosta, jotta rakentamisen suunnittelun ja totutuksen ohjaus- ja valvontatehtävien saadaan luotettavasti suoritettua. Monissa rakennuttajatehtävissä on havaittu olevan toistuvia tai hyvin samankaltaisia osioita. Työmaavalvontatehtävät edellyttävät eri alojen asiantuntijoiden toistuvaa vierailua työmailla. Tutkittiin digitalisaation tarjoamia mahdollisuuksia tehostaa näitä tehtäviä, selvittämällä soveltuvia tekoälypohjaisia automaatoratkaisuja ja niiden saatavuutta.

Lähtökohtana oli rakentaa kehityspolku tekoälyavusteisten teknologioiden hyödyntämiselle rakennuttamisen eri tehtävissä, sekä löytää keinoja tuotantotehokkuuden ja kannattavuuden parantamiseksi rakennuttamisen ja valvonnan sektorilla, osana koko rakennusteollisuuden toimialan kannattavuuden ja tuottavuuden kehittämistoimia.

Teoreettinen viitekehys muodostettiin käymällä läpi joukko aihealueeseen liittyviä tutkimuksia ja artikkeleja. Lisätietoa rakennuttamisen toimialan nykytilanteesta koottiin kansainvälisellä kyselytutkimuksella. Teknologisia mahdollisuuksia selvitettiin haastattelujen, julkaisujen ja eri järjestelmien valmistajien verkkosivustojen avulla.

Havaintoina todettiin tekoälypohjaisten suunnittelusovellusten kehittyneen viime vuosina nopeasti, ja olevan jo yleistävästi suunnittelutoimistojen käytössä. Tietomallivertailujen automaation, laserkeilauksen ja kuvantamisen järjestelmien havaittiin olevan muutamilla valmistajilla jo valmiita myynnissä olevia tuotteita. Laajennetun todellisuuden näyttö- ja käyttölaitteiden kehitys on viestintäominaisuuksineen rakennusteollisuudelle soveltuviksi kehitettynä mahdollistanut työmaiden ohjauksen ja valvonnan tehokkuuden parantamisen. Robotiikan nopea kehitys on myös avannut uusia ovia valvontatyön automatisoinnille.

Tutkimuksellisen kehitystyön tuloksena rakennettiin WSP Finland Oy:n rakennuttamissektoria varten kolme kehityspolkuja, sekä niihin liittyvä uusien toimintamallien jalkauttamisen ohjeisto. Kehityspolut laadittiin erikseen projektijohtamiselle, suunnittelun ohjaukselle ja valvonnalle, sekä rakentamisen ohjaukselle ja valvonnalle. Opinnäytetyön loppuun kirjattiin jatkotutkimus- ja kehitysaiheita, joita selvittämällä toimialaa voidaan edelleen kehittää paremman tuottavuuden ja kannattavuuden saavuttamiseksi.

Avainsanat (asiasanat)

- Rakennuttaminen, projektijohtaminen, tekoäly, simulointi

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Jylänki Tomi

Artificial intelligence support for construction and monitoring

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, April 2023, 70 pages

Engineering and technology. Degree program in Technology business management. Master's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Construction tasks require the input of several experts in different technical fields to complete the construction, controlling and monitoring tasks. Many developer jobs have been found to have repetitive or very similar sections. Construction site monitoring duties require frequent visits to construction sites by experts from different fields. The possibilities offered by digitization to make these tasks more efficient were investigated, by finding out suitable AI-based automation solutions and their availability.

The starting point was to build a development path for the utilization of AI-assisted technologies in various construction tasks, and to find ways to improve production efficiency and profitability in the construction and supervision sector, as part of the productivity development of the entire construction industry.

The theoretical framework was formed by going through several studies and articles related to the subject area. More information on the current situation in the construction industry was compiled through an international survey. Technological possibilities were explored through interviews, publications, and websites of manufacturers of various systems.

The findings were that AI-based design applications have developed rapidly in recent years and have been adopted by designers. The automation, laser scanning and imaging systems for BIM comparisons were found to be ready-made products already on sale by a few manufacturers. The development of augmented reality display and drive devices, with their communication capabilities, developed to suit the construction industry, has made it possible to improve the efficiency of site control and monitoring. The rapid development of robotics has also opened new doors for the automation of surveillance work.

As a result of the research-based development work, three development paths were built for WSP Finland Ltd.'s construction sector, as well as the related guidelines for the implementation of new operating models. The development paths were drawn up separately for project management, design control and supervision, and construction control and supervision. At the end of the thesis, topics for further research and development were recorded, which by investigating the industry can be further developed to achieve better productivity and profitability.

Keywords/tags (subjects)

Property development, project management, artificial intelligence, simulation

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

Lyhenteet	4
1 Johdanto	5
2 Rakennuttamisen tuotantotekninen tehostaminen	7
2.1 Ratkaistavat ongelmat.....	8
2.2 Tutkimuskysymykset	9
2.3 Kehittämistyön tarkoitus.....	10
2.4 Tavoitteet kehittämistyölle	10
2.5 Rajaukset	11
3 Määritelmiä ja käytettyjä termejä	11
3.1 Rakennushankkeen osapuolet	12
3.1.1 Tilaaja	12
3.1.2 Rakennuttajakonsultti	13
3.1.3 Suunnittelija	13
3.1.4 Urakoitsija	13
3.1.5 Käyttäjä	14
3.2 Hankkeen johtaminen	14
3.3 Ohjaus ja valvonta	15
3.4 Määritelmät rakentamisen tehokkuudelle ja tuottavuudelle	16
4 Toteutus	16
4.1 Kehittämistyön menetelmä.....	16
4.2 Kehittämistyön aineisto ja sen keruu.....	17
4.2.1 Kirjallisuuslähteet	17
4.2.2 Kyselytutkimus.....	18
4.2.3 Haastattelut	18
4.3 Aineistonhallinta	19
4.4 Aineiston analyysi.....	19
4.5 Tutkimusetiikka	20
4.6 Luotettavuuden arviointi	20
5 Tekoälyn hyödyntäminen rakennusteollisuudessa	21
5.1 Rakennusprojekteista yleisesti.....	21
5.2 Rakentamisen tehokkuus ja kannattavuus	22
5.3 Kyselytutkimuksen tuloksista	23
5.4 Haastattelujen keskeisimmät tulokset.....	24
5.5 Riskien hallinta	25

5.5.1	Viivästymisriskin ennustaminen	27
5.5.2	Taloudellisten riskien hallinta	27
5.5.3	Laaturiskien hallinta.....	28
5.5.4	Korjausrakentamisen tiedonpuutteiden epävarmuusriskit	29
5.6	Organisaatiokulttuurin vaikutus uuden teknologian hyödyntämisessä	30
5.7	Rakennushankkeen tietovarannon hallinta	30
5.8	Rakennuttajakonsultin tekoälyapu	31
5.9	Suunnittelun ohjauksen tehostamisen mahdollisuuksista	34
5.9.1	Tekoälyn käyttö suunnittelussa	35
5.9.2	Tietomallit ja tekoälyavusteiset suunnittelutyökalut	37
5.10	Valvonnan toimintamallit ja työkalut.....	38
5.10.1	Rakentamisen valvonnan kehittymisen vaiheista	39
5.10.2	Digitalisaatio uudistaa valvonnan menetöt	40
5.11	Laajennettu todellisuus valvojan työvälineenä.....	41
5.12	Kehittyneiden järjestelmien vaikutuksesta rakennusalan kustannuksiin.....	42
5.13	Kehittyneet järjestelmät rakennuttamistehtävissä	42
5.13.1	Mallinnus	42
5.13.2	Laajennettu todellisuus	44
5.13.3	Simulointi	44
5.13.4	Digitaaliset kaksoiset	45
5.14	Koulutuksen merkitys.....	46
6	Tulokset.....	47
6.1	Muutoksen johtamisesta	48
6.2	Hankejohtamisen kehittäminen.....	50
6.3	Suunnittelun ohjaus- ja valvontatehtävien kehittämisestä	51
6.4	Rakentamisen ohjaus- ja valvontatehtävien kehittämisestä	52
6.5	Ehdotettavat kehityspolut.....	53
6.5.1	Informointi	53
6.5.2	Esittely.....	53
6.5.3	Vertailu.....	54
6.5.4	Houkuttelu ja motivointi.....	54
6.5.5	Kokeilu, innostaminen ja perehdyttäminen	54
6.5.6	Palaute ja reaktio	55
6.5.7	Hankkeen johtaminen	56
6.5.8	Suunnittelun ohjaus ja valvonta	58
6.5.9	Rakentamisen ohjaus ja valvonta.	60

7 Pohdinta	62
7.1 Keskeisten tulosten tarkastelu suhteessa tavoitteisiin.....	62
7.2 Eettisyys.....	63
7.3 Johtopäätökset ja kehittämisehdotukset.....	63
Lähteet	65
Haastattelut	70
Liitteet	71
Liite 1. Rakennuttamisen ja valvonnan digitalisaation tila - Kyselytutkimus.....	71
Liite 2. The state of digitization of construction and supervision - Survey.....	72
Liite 3. iAsk AI: Digitaalinen kaksonen rakennusteollisuudessa.....	73
Kuvat	
Kuva 1 Onnistuneen muutoksen viitekehys.....	11
Kuva 2 Rakennushankkeen osapuolet	12
Kuva 3 Riskienhallinnan prosessikaavio	26
Kuva 4 Epävarmuuden periytyminen korjausrakentamisessa.....	29
Kuva 5 Tiedon määrän ja vaikutusmahdollisuuden suhde perinteisen ja simulointisuunnittelun edetessä.	38
Kuva 6. XYZ Atom ja Trimble XR10.....	41
Kuva 7 Havainnekuva lisätyn todellisuuden näkymästä	44
Kuva 8 Kehityspolkujen kolmijako	47
Kuva 9 Motivointi aineettomilla palkitsemiskeinoilla.....	49
Kuva 10 Jatkuva kehittäminen prosessina	55
Kaaviot	
Kaavio 1 Tutkimuksellisen kehitystyön runkokaavio	7
Kaavio 2 Rakennusprosessin epäonnistumisen kohdat.....	9
Kaavio 3 Rakennuttamis- ja suunnittelupalvelujen toteutusmuodot.....	15
Kaavio 4 Rakennushankkeen pääprosessit	22
Kaavio 5. Rakennuttamisen tehtävät.....	39
Kaavio 6 Hankkeen johtamisen kehityspolku	57
Kaavio 7 Suunnittelun ohjauksen ja valvonnan kehityspolku.....	59
Kaavio 8 Rakentamisen ohjauksen ja valvonnan kehityspolku	61
Taulukot	
Taulukko 1 Tekoälylle soveltuvat hallinnolliset ongelmat	33

Lyhenteet

Lyhenne	Selite	Merkitys
AI	Artificial Intelligence	Tekoäly
ANI	Artificial Narrow Intelligence / Weak AI	Heikko tekoäly
AR	Augmented Reality	Lisätty todellisuus
ASI	Artificial Superintelligence / Strong AI	Vahva tekoäly
BIM	Building Information Model	Rakennuksen tietomalli
IFC	Industry Foundation Classes	Oliopohjainen tuotemallitietokanta
CAD	Computer Aided Design	Tietokoneavusteinen suunnittelu
CAE	Computer Aided Engineering	Tietokoneavusteinen suunnittelu
ANN	Artificial neural networks	Neuroverkot / Keinotekoiset hermoverkot
SHM	Structural Health Monitoring	Järjestelmäeheyden valvonta
SI	Système International d'Unités	Kansainvälinen mittajärjestelmä
XR	Extended Reality	Laajennettu todellisuus

1 Johdanto

Tässä tutkimuksellisessa kehitystyössä pyrittiin selvittämään tekoälyn käyttöä ja hyödyllisyyttä rakennuttamisen tehtävissä. Samalla pyrittiin löytämään tekoälyyn tukeutuvia sovelluksia ja teknologioita, joiden avulla voitaisiin parantaa rakennuttamisen eri tehtävien tuottavuutta, tehokkuutta ja liiketaloudellista kannattavuutta.

Rakennuttaminen kuuluu kohdemaasta riippuen joko pääsuunnittelijan tai erillisen rakennuttajakonsultin tehtäviin. Rakennuttaminen jakautuu työkuorman mukaan karkeasti kolmeen lohkoon:

1. Hankkeen johtaminen
2. Suunnittelun ohjaus ja valvonta
3. Rakentamisen ohjaus ja valvonta

Hankkeen johtaminen on sisällöllisesti asianajotoimeksianto, jossa tilaajan tahtotilan mukaisesti järjestetään hankkeessa tarvittavat arviot, suunnitelmat ja fasilitetit. Lisäksi huolehditaan suunnittelun ja toteutuksen budjetoinnista, aikataulutuksesta ja resursoinnista. Valmistuvan tuotteen käyttöönoton johtaminen sisältyy myös hankkeen johtamisen tehtäviin.

Ohjaus ja valvontatehtävät taas varmistavat rakennushankkeen teknisten, ajallisten, taloudellisten ja laadullisten päämäärien toteutumisen. Laadullisessa valvonnassa pyritään sekä suunnitteluprosessia, että toteutusta dokumentoimalla osoittamaan laatutavoitteiden saavuttaminen. Nykyisillä metodeilla valvonta kohdistuu paljolti tehtyjen virheiden etsimiseen, kun painopisteen tulisi ennemminkin olla virheiden ennalta välttämässä.

Hankkeen johtamisen automaatiotaso on nykyisellään erittäin matala. Tässä tutkimuksellisessa kehittämissä pyrittiin selvittämään, voitaisiinko määräysten ja ohjeistojen ajantasaisuuden ja viittausten seuraamisen, ja mahdollisesti myös asiakirjojen laatimisen, automatisoinnilla parantaa hankkeen johtamistehtävien tehokkuutta. Vastaavasti tutkittiin ohjaus- ja valvontatehtävien teknologia-innovaatioiden, trendien ja yleisen kehityksen vaikutusta ajankäyttöön, laatuun ja taloudelliseen tehokkuuteen.

Valvontatehtävien digitalisaation ja automaation tavoitteena on saavuttaa tarkempi dokumentaatio, tehokkaampi tuotannonohjaus ja välttää virheiden syntyminen. Nämä kehitysinvestoinnit tulisi saada katetuiksi tuotannon tehokkuuden parantumisella.

Viime vuosina tekoälyn ja robotiikan kehitys on kiihtynyt huomattavasti. Julkaistujen artikkelien, tutkimusraporttien ja käyttöönotettujen teknologioiden määrä ja kehittyneisyys on saavuttanut eksponentiaalisen kehityskäyrän käännekohdan 2020-luvun alussa. Tieto ja sovellukset lisääntyvät nyt erittäin nopeasti. Tutkimusaineistoksi kerättiin verkossa julkaistuja artikkeleja ja tutkimusraportteja. Lisäksi toteutettiin kolmiulotteinen kyselytutkimus, jolla pyrittiin kartoittamaan tekoälyn ja robotiikan käyttöä rakennusalan yrityksissä Suomessa ja muutamissa muissa maissa.

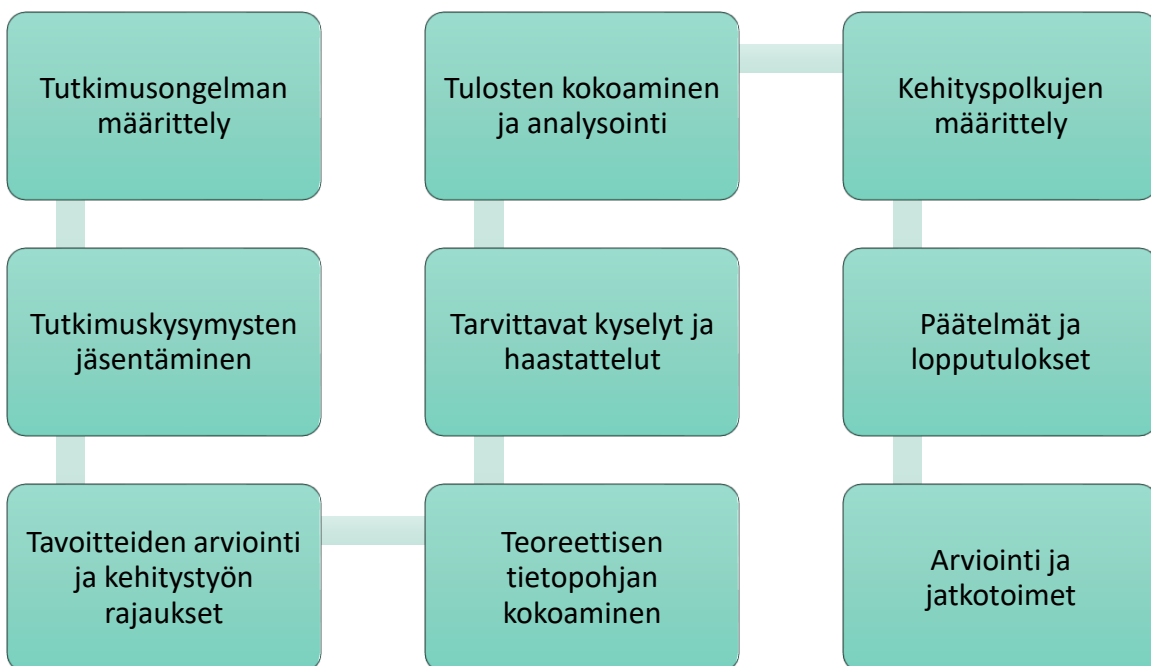
Tutkimuksessa sivuttiin myös johtamisjärjestelmän ja organisaatiokulttuurin vaikutusta tuotannon tehokkuuteen ja kannattavuuteen. Näitä huomioita on kirjattu tutkimusraportin eri kohtiin, lähinnä tulosten ymmärrettävyyden ja tulkittavuuden parantamiseksi.

Työn tilaajana toimi WSP Finland Oy, joka on osa maailman suurinta rakennetun ympäristön suunnitteluyritystä, WSP Ltd:tä. Tekoälyn hyödyntämisen teknologisiin kehityslinjoihin ja käyttöönottoon rakennuttamisen eri tehtävissä pyrittiin tässä tutkimuksellisessa kehitystyössä löytämään suuntaviivat ja tärkeimmät askelmerkit. Jatkotutkimusten ja -kehityksen tehtäväksi jää määrittää tarkemmat tehtäväkohtaiset toimenpiteet.

2 Rakennuttamisen tuotantotekninen tehostaminen

Tämän tutkimuksellisen kehitystyön tilaajana toimiva WSP Finland Oy on, kuten koko kansainvälinen WSP konsernikin, viimekädessä suunnitteluyritys. Valtaosa toteutettavasta suunnittelusta tapahtuu tilauksesta, jolloin itse suunnittelutehtävää suorittavien yksiköiden voidaan ehkä ajatella hyötyvän melko erilaisesta automaatiosta, kuin mistä toistuviin asiakirja- ja dokumentointitehtäviin painottuvat rakennuttamisen konsulttipalvelut parhaiten hyötyisivät. Valvontatyön osalla yhteneväiset tarpeet mallitarkasteluineen kuitenkin jälleen lähentyvät.

Lähtökohtana tälle tutkimukselliselle kehitystyölle oli, suunnittelusektorin ohjelmistoja tehostaneiden tekoälykomponenttien innoittamana, laatia kehityspolku tekoälyn hyödyntämiselle rakennuttamisen tehtävissä, osana rakennusalan digitalisaatiota. Tutkimuksellista kehitystyötä suunniteltaessa päädyttiin tehtävä jäsentämään seuraavan kaavion mukaisesti.



Kaavio 1 Tutkimuksellisen kehitystyön runkokaavio

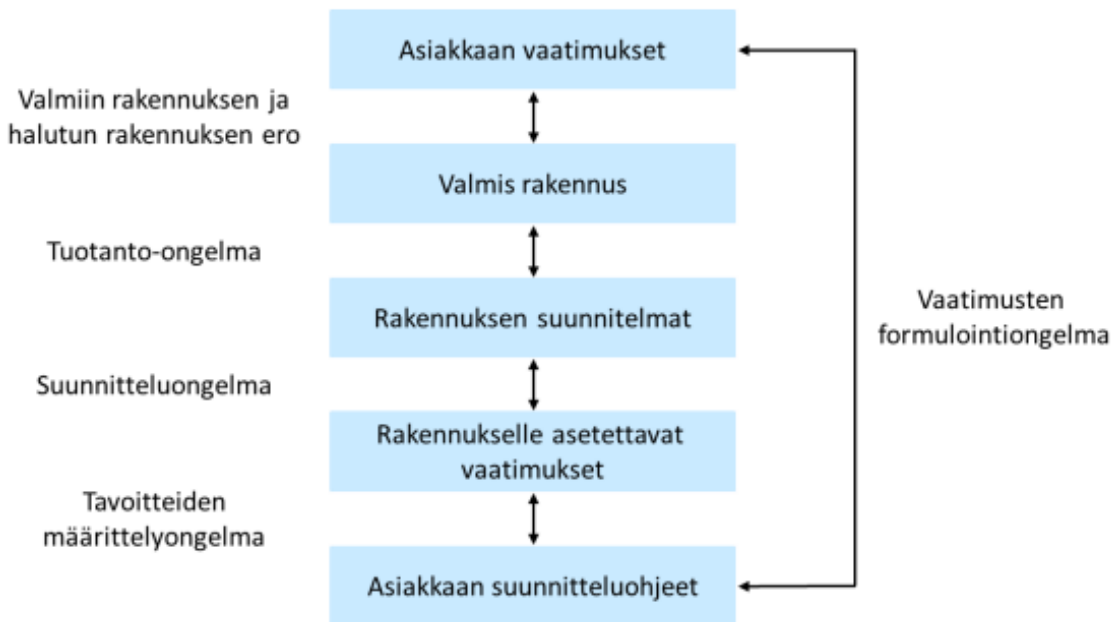
2.1 Ratkaistavat ongelmat

Rakennusteollisuuden tuotannossa viivästyminen projektin eri vaiheissa on enemmän sääntö, kuin poikkeus. Viivästykset aiheuttavat muutoinkin matalasta tuottavuudesta ja heikosta kannattavuudesta kärsivälle teollisuudenalalle lisähaittaa, rakennusalan suorituskykyyn tyytymättömien asiakkaiden menettäessä sijoituksistaan odottamiaan tuottoja. (Egvm, Alaka, Toriola-Coker, Balogun ja Sunmola 2021, 1).

Rakennushankkeen prosessien tuloksena tulisi olla laadukas ja virheetön tavoitteita vastaava tuote. Aalto-yliopiston maaliskuussa 2023 julkaistun uutiskirjeen insertti kuitenkin jo toteaa projekti projektilta uusiutuvien rakennusvirheiden olevan suosikkiaiheita median julkaistessa tietoja rakennusteollisuuden aikaansaannoksista. Rakentamisen laatuhavainnot eivät siis etene järjestelmässä seuraavien projektien laatua kehittäen. (Rakentamisessa laatuhavainnot ovat oppimisen käyttämätön voimavara 2021.)

Tutkimusta ja tuloksia rakentamisen laadun ja tuottavuuden kehittämiseksi on vuosien varrella tehty paljon. Onnistuneissakin kehityshankkeissa muutoksen juurruttaminen organisaatioiden toimintamalleiksi on kuitenkin koettu haastavaksi (Peltokorpi, Lehtovaara, Tikka, Heinonen ja Hänninen 2022, 3). Pysyvämpiä kehitystuloksia voitaisiin saavuttaa parantamalla syy-seuraussuhteiden oivaltamista. Tähän tarvitaan tarkkaa tietoa eri asioiden keskinäisestä järjestyksestä ja niiden vaikutuksista (Rakentamisessa laatuhavainnot ovat oppimisen käyttämätön voimavara 2021). Jotta nämä syy-seuraussuhteet voitaisiin selvittää, tarvitaan uusia objektiivisen tarkastelun toimintoja. Rakentamisen projektikohtaisen tilannedatan keräämisen ja tallentamisen luotettavuuden ja reaaliaikaisuuden parantamiseksi tarvitaan projektien käyttöön digitalisaation mahdollistamia uusia menetelmiä (Paperilomakkeista dataa kerääviin robotteihin – rakentamisen tilannekuva digitalisoi-tuu 2021).

Jotta digitalisaation tarjoama mahdollisuus tekoälyavusteisilla järjestelmillä tuotettavaan laadulliseen kehitykseen mahdollistuisi, on rakentamishankkeen aloitusvaiheessa selvitettävä, mitkä tulokset ovat toivottavia. Toivottavan työntuloksen osittainkin toteutumatta jääminen voidaan katsoa virheeksi. Virheiden välttämiseksi on hyvä tiedostaa niiden syntymisen riskipaikat. Ahonen, Ali-Yrkkö, Avela, Kulvik, Kuusi, Mäkräinen ja Puhto (2020, 158) ovat määrittäneet tutkimukseen saan prosessivaiheet, jotka ovat alttiita virheiden syntymiselle.



Kaavio 2 Rakennusprosessin epäonnistumisen kohdat. (Ahonen ym. 2020, 158.)

Tutkimuskysymysten määrittelyssä käytettiin hyväksi Ahosen ja muiden (2020) vaatimusten formulointiongelmaa kuvaavaa kaaviota.

2.2 Tutkimuskysymykset

Tilaaajyrityksen kannalta rakennuttamisen ja valvonnan tekoälytukea selvittävän tutkimuksen olennaisin kysymys on: Voidaanko tekoälyn avulla saavuttaa kilpailluilla markkinoilla jotakin selkeää etua, jonka kasvattaisi tilaaajyrityksen tulosta? Tätä peruskysymystä pyrittiin selvittämään tarkentavilla tutkimuskysymyksillä, joista osaan haettiin vastauksia haastatteluilla ja kyselytutkimuksella. Laajempaa tarkastelua on tehty erinäisiin kirjallisuuslähteisiin perehtymällä, sekä niitä tutkimalla.

Haastatteluja tehtiin erilaisten markkinoilta saatavissa olevien teknologisten ratkaisujen selvittämiseksi. Keskustelunomaisissa haastatteluissa kysymyksiä muotoiltiin haastattelujen aikana, kulloinkin selvitettävään ongelmaan ja ratkaisuvaihtoehtoon kohdentaen.

Kyselytutkimuksella haettiin vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

- Mitkä projekteissa toistuvat osatehtävät näkisitte hyödyllisiksi automatisoida?
- Miten työmaavalvontadata voitaisiin mielestänne tehokkaimmin kerätä ja jakaa?
- Miten kerättyä dataa voitaisiin tehokkaimmin verrata hankkeen tietomalliin?

- Millaisessa muodossa tieto tulisi mielestänne kerätä ja esittää, parhaan hyödyn tarjoamiseksi projektien eri osapuolille?

Kirjallisuuslähteistä haettiin vastausta seuraaviin kysymyksiin:

- Mitkä virheet toistuvat projekteissa, ja miksi niin tapahtuu?
- Voitaisiinko lakeihin ja määräyksiin kohdistuvat viittaukset päivittää automaattisesti projektin asiakirjoihin?
- Miten suunnitteluohjeiden noudattamisen valvonta voitaisiin automatisoida?

Kilpailu- ja markkinatilanteen kartoittamiseksi kyselytutkimuksella haluttiin selvittää myös kilpailijoiden asemaa tekoälyn ja automaation hyödyntämisessä Suomen pienehköillä rakennuttamis-markkinoilla.

2.3 Kehittämistyön tarkoitus

Tämän kvalitatiivisen tutkimuksellisen kehittämistyön pohjimmaisena tarkoituksena oli parantaa rakennuttamisen laatua, tuotannollista tehokkuutta ja taloudellista kilpailukykyä, määrittämällä digitalisaation tukemia kehityspolkuja eri osatehtäväkokonaisuuksille, tavoitellen tekoälypohjaisiin sovelluksiin tukeutuvien järjestelmien käyttöönottoa.

Ensisijaisena tarkoituksena oli täyttää tavoitteet, jotka tilaajayritys tälle kehittämistehtävälle asetti. Tarkoituksen määrittelyvaiheessa tavoiteltiin tutkimussarjaa, jossa useampien yhtäaikaisten tutkimuksellisten kehitystöiden yhteismitallisena tuloksena saavutettaisiin laaja toimintaohjelma tilaajayhtiön rakennuttamistoimialan kehittämiseksi ja kilpailukyvyn varmistamiseksi. Organisaatiomuutosten ja henkilöstövaihdosten vuoksi tutkimussarjan tekijöiden haku ja tehtävänjako jäivät kuitenkin jo alkuvaiheessa kesken. Niinpä tämä tutkimuksellinen kehitystyö jäikin yksittäiseksi.

2.4 Tavoitteet kehittämistyölle

Rakennuttamisen ja valvonnan tekoälytukea selvittävän tutkimuksellisen kehittämistyön tavoitteena oli rakentaa kehityspolku, jota seuraamalla WSP Finland Oy:n rakennuttamisyksiköiden kilpailukykyä voitaisiin ohjata ja kehittää teknologisten apuvälineiden hyödyntämisessä tasolle, jolla sen rakennetun ympäristön suurimman suunnitteluyrityksen osana tulisi alan tulevaisuuteen valmiina suunnannäyttäjänä olla (Okraglik 2022).

Laajemmin ajateltuna tavoitteena on edellä kuvatuin keinoin olla esikuvana vahvistamassa muutosta ja edesauttaa digitalisaation kehitystä koko rakennusalan tuotteiden laatua ja kustannustehokkuutta parantaen, sekä saattaa alulle toimia, jotka parantavat alan yritysten suorituskykyä ja kannattavuutta.



Kuva 1 Onnistuneen muutoksen viitekehys (Peltokorpi ym. 2022, 13)

2.5 Rajaukset

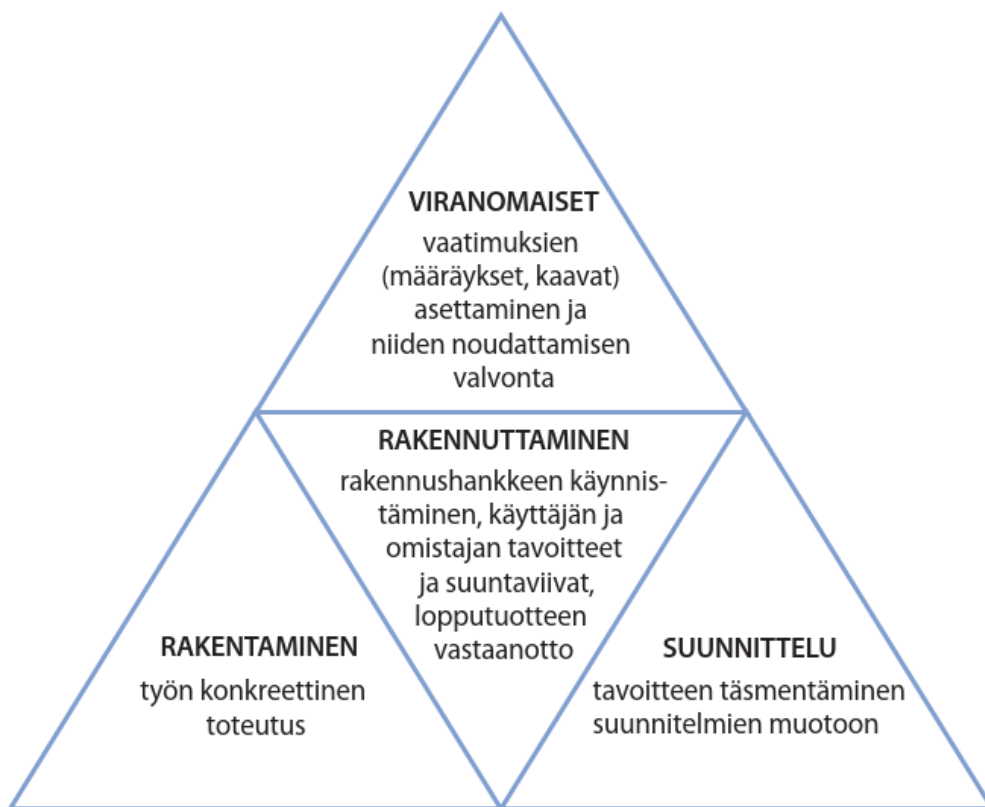
Laajaa aihealuetta ja mahdollisuuksien moninaisuutta tarkasteltaessa on päädytty rajautumaan aiheisiin, joilla WSP Finland Oy:n rakennuttamisyksikön toiminnallista tehokkuutta arveltiin voivan parantaa tekoälyn, ja mahdollisesti myös robotiikan, hyödyntämisellä. Vertailunäkökohtina on käsitelty tekoälyn, automaation ja robotiikan hyödyntämistä suunnittelussa ja rakentamisessa.

3 Määritelmiä ja käytettyjä termejä

Tässä tutkimuksellisessa kehittämistyössä on käytetty yleisten termien lisäksi muutamia termejä, joilla ei liene selkeää yleistä määritelmää. Seuraavassa pyritään kuvaamaan tämän raportin tulosten ymmärrettävyyden kannalta olennaisimmat termit. Osa määritelmistä on siirretty tuonnemmas tekstiin, lähelle käsiteltävää aihetta, asiayhteyden ja termin määritelmän keskinäisen riippuvuuden vuoksi.

3.1 Rakennushankkeen osapuolet

Rakennustietosäätiön julkaiseman Rakennustietokortiston talonrakennushankkeen kulkua kuvaava ohjekortti RT 10-11222 (2016) esittää rakennushankkeen osapuolet kaaviollisesti seuraavan kuvan mukaisesti.



Kuva 2 Rakennushankkeen osapuolet (RT 10-11222 2016).

3.1.1 Tilaaja

Rakentamisen olennaisin toimija on rakennushankkeen omistaja, jota kutsutaan yleensä tilaajaksi. Suomen maankäyttö- ja rakennuslaissa (L 132/1999) tilaaja esiintyy nimikkeellä rakennushankkeeseen ryhtyvä. Rakennushankkeeseen ryhtyvän vastuulla on huolehtia, ”että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan rakentamista koskevien säännösten ja määräysten sekä myönnetyn luvan mukaisesti.” (L 132/199, 119 §). Tilaaja, eli rakennushankkeeseen ryhtyvä (ks. Kuva 2), asemoituu kohtaan rakennuttaminen – siis hankkeen keskiöön.

Maankäyttö- ja rakennuslain (L 132/1999) tarkoittamat laajat tehtävät jaetaan useimmiten tilaajan ja rakennuttajakonsultin kesken. Tilaaja on vastuussa koko rakentamishankkeesta, mutta usein

siirtää hankkeen toteutuksen operatiiviset tehtävät palvelukseensa hankkimilleen muille osapuolille, kuten rakennuttajakonsultille, suunnittelijoille ja urakoitsijoille (Kankainen & Junnonen 2001, 11–15). Myös hankkeen rahoitus hankitaan usein palveluna (ks. Ronkainen 2015).

3.1.2 Rakennuttajakonsultti

Rakennuttamistehtävän sujuvan, luotettavan ja ammattimaisen toteutuksen varmistamiseksi rakennushankkeeseen ryhtyvä tilaaja yleensä palkkaa avukseen projektia johtavan konsultin (Huurre 2021). Monissa maissa rakennuttamistehtävä, siis projektin johto, on perinteisesti osa arkkitehdin toimeksiantoa. Suomessa projektia johtavalla rakennuttajakonsultilla on useimmiten insinöörin koulutus.

Rakennuttajalla tarkoitetaan rakennusalan julkaisuissa vaihtelevasti sekä rakennushankkeeseen ryhtyvää, että rakennuttajakonsulttia. Rakennustietosäätiön em. ohjekortin mukaan rakennuttajatehtäviä konsulttitoimeksiantona hoitavaa asiantuntijaa kutsutaan rakennuttajakonsultiksi (RT 10-11222, 2). Tässä raportissa termin rakennuttaja sijaan on epäselvyyksien välttämiseksi käytetty termejä tilaaja ja rakennuttajakonsultti.

3.1.3 Suunnittelija

Rakennuksen suunnittelija on kyseisen erityisalan koulutuksen saanut, ja omalla alallaan rakennushankkeen vaativuusluokkaan nähden pätevä henkilö, joka suorittaa alansa mukaista suunnittelu-tehtävää rakennushankkeessa. Suunnittelijat muodostavat suunnitteluryhmän, jota koordinoi pääsuunnittelija. Rakennushankkeen vaativuusluokan kullekin suunnittelualalle. sekä eri alojen suunnittelijoiden pätevyysvaatimuksen asettaa rakennuslupaviranomainen. (L 132/1999, 120 §.)

3.1.4 Urakoitsija

Rakennushankkeen osapuoli, jonka tehtävänä on tilaajan toimeksiannosta toteuttaa rakennus tai sopimuksessa määritetty rakentamistyö (RT 10-11222, 4). Urakoitsija voi olla henkilö tai yritys, joka sopimuslaajuudesta riippuen työskentelee rakennuskohteessa, joko koko rakentamisen ajan, tai vain lyhyehkön hetken, esimerkiksi jonkin yksittäisen koneen asennuksen ajan.

3.1.5 Käyttäjä

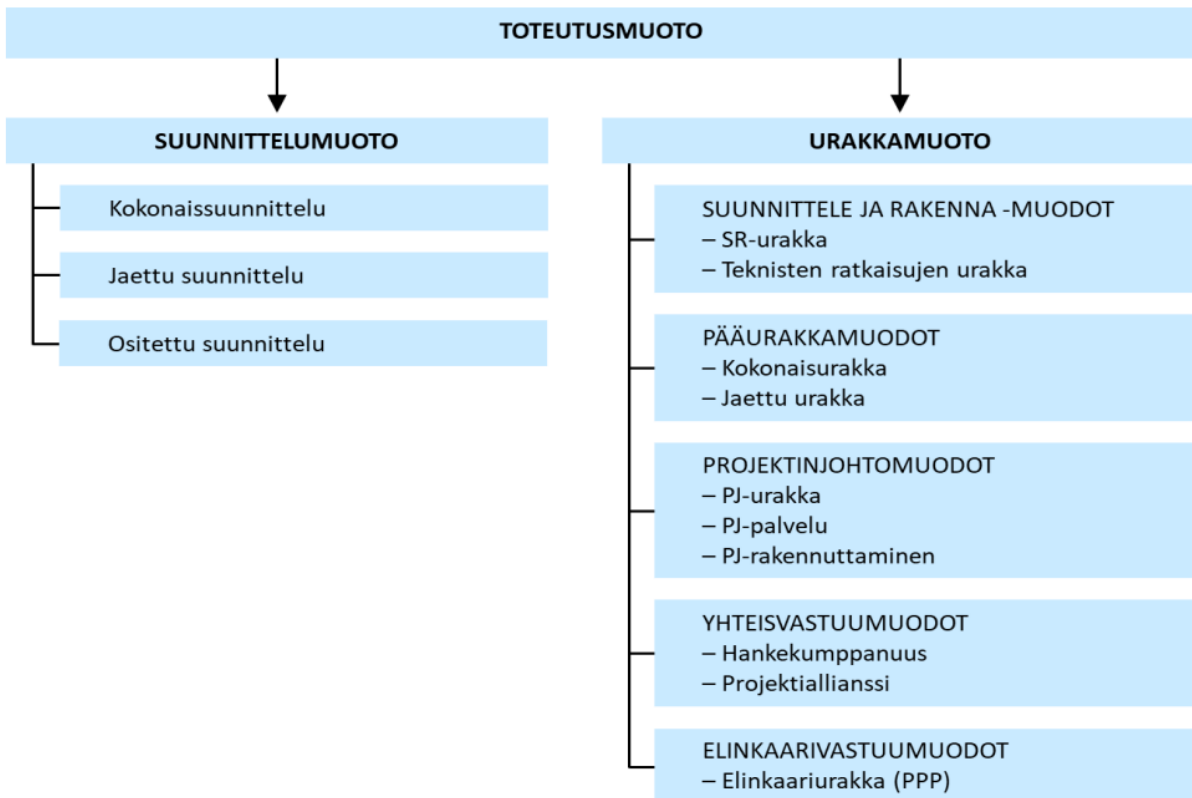
Rakennushankkeessa käyttäjäksi kutsutaan henkilöä tai tahoa, joka tulee käyttämään rakennettavaa rakennusta tai rakennustyön tulosta sen valmistuttua (RT 10-11222, 3). Käyttäjä voi siten olla esimerkiksi asuinrakennuksen tuleva asukas, toimitilarakennukseen sijoittuva yritys tai sijoittuvassa yrityksessä työskentelevä henkilö, tai peruskorjattavan koulurakennuksen tuleva oppilas, henkilökunnan jäsen tai koulun salia vuokraava urheilujoukkue.

3.2 Hankkeen johtaminen

Johdanto-osassa todetusti hankkeen johtaminen muistuttaa sisällöllisesti laajaa asianajotoimeksiantoa, jossa rakennuttajakonsultti tilaajan tahtotilan mukaisesti järjestää hankkeen toteuttamiseksi tarvittavat lähtötiedot, laskemat, suunnitelmat ja toteutuksen. Hanketta johtava rakennuttajakonsultti huolehtii suunnittelun ja toteutuksen budjetoinnista, aikataulutuksesta ja resursoinnista. Valmistuvan tuotteen käyttöönoton johtaminen sisältyy myös hankkeen johtamisen tehtäviin. (RT 10-11284.)

Hankintamuodosta riippuen osa hankkeen johtamisen tehtävistä voidaan hankkia urakoitsijalta (esim. projektinjohtourakka tai kokonaisurakointi) tai perinteisemmin rakennuttajatehtäviä hoitavalta rakennuttajakonsultilta. Usein myös tilaaja hoitaa itse jonkin osan hankkeen johtamisen tehtävistä (Laine 2018, 18). Projektissa käytännön johtamistoimia hoitava rakennuttajakonsultti toimii usein myös kohteen työturvallisuuskoordinaattorin tehtävissä (RT 10-11222).

Seuraavassa rakennusalan kilpailukykyä ja rakentamisen laatua Suomessa selvittäneen Valtioneuvoston tutkimuksen kaaviossa esitellään eri toteutusmuotoja, jotka kaikki edellyttävät hieman toisistaan poikkeavia toimintamalleja myös hankkeen johtamisessa.



Kaavio 3 Rakennuttamis- ja suunnittelupalvelujen toteutusmuodot. (Ahonen ym. 2020, 35)

3.3 Ohjaus ja valvonta

Rakennuttamistehtävään sisältyvät hankkeen johtamisen lisäksi teknisen suunnittelun sekä hankkeen toteutuksen ohjaus ja valvonta. Ohjaus- ja valvontatehtävät varmistavat rakennushankkeen ajallisten, taloudellisten ja laadullisten päämäärien toteutumisen. Laadullisessa valvonnassa pyritään sekä suunnitteluprosessia, että toteutusta dokumentoimalla osoittamaan laatutavoitteiden saavuttaminen. (Ahonen ym. 2020, 146)

Valvojan tehtävät jaetaan usein rakennus- ja taloteknisten valvojien kesken, joista rakennustekninen valvoja toimii yleensä valvontatiimiä johtavana päävalvojana. Talotekniikkavalvonta jaetaan suuremmissa hankkeissa vielä lvi-valvojan ja sähkövalvojan kesken. Usein suurissa tai erityisen arvokkaissa kohteissa voi lisäksi olla myös joukko muita erityisalojen valvojia, kuten rakennusautomaation, Tervetalo-toteutuksen ja rakentamispuhtauden valvojat.

3.4 Määritelmät rakentamisen tehokkuudelle ja tuottavuudelle

SI-järjestelmässä tehon määritelmä on työ - eli energiamäärä - jaettuna ajalla. Tätä soveltaen tuoksellisena tehokkuutena pidetään yleisesti tehdyn työn, siis tietyssä ajassa käytetyn energian, suhdetta saavutettuun työn tulokseen. Työn tuottavuus puolestaan on käytetyn kokonaistyömäärän suhde saavutetun työntuloksen työnsisältöön. Valtioneuvoston selvityksessä (Ahonen ym. 2020, 37) työn tuottavuus on esitetty rakennusalan kilpailukykyä kuvaavana seuraavasti:

$$Tuottavuus = \frac{Arvonlisä}{Työtunnit}$$

Tehokkuutta ja tuottavuutta voi tarkastella ja mitata myös hyvin monista muistakin näkökulmista, kuten Vaasan yliopiston julkaisemassa tuotantotalouden pro gradu -tutkielmassa *Tuotantotoiminnan tehokkuus tilauksesta suunnittelun strategiassa* (Liesaho 2017, 30–36) on esitetty.

Tässä rakennuttamisen ja valvonnan tekoälytukea käsittelevässä tutkimuksellisessa kehitystyössä painopiste on tekoälyn tarjoamisessa, rakennuttamisen liiketoiminnan kannattavuuden parantamiseen tähtäävissä mahdollisuuksissa, jolloin perusmäärittelyjen voitaneen katsoa riittäväksi tietopohjaksi tehokkuudelle ja tuottavuudelle.

4 Toteutus

Tietoaineistoa kerätessä havaittiin, ettei rakennuttamisen tehtäväsektoriin keskittyneitä, ja tekoälyn käyttöä koskevia julkaisuja, juurikaan löytynyt. Suunnittelun ja rakentamisen sektorilla tietoaineistoa oli huomattavasti runsaammin saatavilla. Näillä molemmilla sektoreilla julkaistujen tutkimusten määrä on 2020 luvulla eksponentiaalisesti lisääntynyt. Myös rakennuttamista koskevia tutkimuksia on vuodesta 2022 alkaen lisääntyvästi julkaistu.

4.1 Kehittämistyön menetelmä

Tietopohjan runko koottiin kirjallisuuskatsauksella, jossa haettiin viimeaikaisten tutkimusten kautta perustaa tutkimuskysymysten tarkentamista varten. Lisäksi katsottiin välttämättömäksi kirjoittaa tilaajayrityksen mahdollista sisäistä eritahtisuutta, tekemällä kyselytutkimus sekä WSP Finland Oy:n sisällä, että joihinkin WSP konsernin muissa maissa sijaitseviin yksiköihin verraten.

Tieteellisten julkaisujen kirjallisuuskatsauksen ja niistä tehtyjen artikkelien kautta selvitettiin, millaisia ratkaisuja kehitystehtävän kysymyksiin oli esitetty. Samalla saatiin todettua ne kysymykset, joihin ratkaisu tuli hakea kehitystyön kautta.

Yrityksen muutamien muiden yksiköiden ja eräiden kilpailijoiden prosesseja tekoälypohjaisen automaation käytössä tarkastellen etsittiin jo mahdollisesti valmiiksi koeteltuja kehityspolkuja rakennuttamisen tehtävien tehokkuuden ja laadun parantamiseksi.

Puolistrukturoidulla kyselytutkimuksella pyrittiin selvittämään yrityksen rakennuttamispalvelujen johdon ja henkilöstön tosiasiallisesti käyttämät toimintamallit ja teknologiat. Vastaavat asiat pyrittiin selvittämään ulottamalla kyselytutkimus muutamille WSP:n muissa maissa sijaitseville yksiköille ja joillekin kilpailijoille.

Kyselyn tarkoitus oli selvittää, mitä osaamista jo oli olemassa, mitä tiedettiin ja mille alueille kehittämistä eniten kaivattaisiin. Samalla pyrittiin havainnoimaan olemassa olevan tiedon välittymisen tehokkuutta organisaation sisällä ja alalla yleisemmin.

4.2 Kehittämistyön aineisto ja sen keruu

Tämän tutkimuksellisen kehittämistyön tietoaineistoa kerättiin tieteellisistä kirjallisuuslähteistä, kohdennetulla suppeahkolla kyselytutkimuksella, sekä muutamien haastatteluin. Lisäksi tutustuttiin useiden eri yritysten ja yhteisöjen verkkosivujen kautta saatavilla oleviin uutiskirjeisiin ja esitteisiin, viimeisimmän markkinoilta saatavissa olevan tiedon ja teknologian paikallistamiseksi. Osa haastattelutuloksista saatiin koottua eri tilaisuuksien yhteydessä syntyneitä spontaaneista keskusteluista alan johtavien toimijoiden asiantuntijoiden kanssa.

4.2.1 Kirjallisuuslähteet

Kirjallisuuskatsaus ja artikkelit koottiin lähinnä verkon välityksellä saatavissa olevasta aineistosta, Jyväskylän ammattikorkeakoulun kirjaston tietokantoja, Scopus-viittaustietokantaa sekä Google Scholar -hakupalvelua hyödyntäen. Tietolähteiksi pyrittiin valitsemaan mahdollisimman tuoreita lähteitä, tutkimuksen aihepiirin viimeaikaisen empiirisesti koetun voimakkaan kehityksen joh-

dosta. Käytännössä julkaistujen tutkimusten määrän ja tulosten voitiin havaita 2020-luvulla kehittyneen niin voimakkaasti, ettei juuri tätä vanhempia tietolähteitä varsinaiseen kehittämistyöhön liittyvässä osuudessa ollut tarpeen tai mielekästä käyttää.

4.2.2 Kyselytutkimus

Kyselytutkimus toteutettiin avoimilla kysymyksillä sähköpostikyselynä, kohdennetulle suppealle vastaajajoukolle helmikuussa 2023. Kyselyjä lähetettiin yhteensä 20, suomenkielisenä 13 vastaanottajalle ja englanninkielisenä seitsemälle huolellisesti valikoidulle vastaanottajalle

Kyselytutkimus kohdistettiin kolmelle eri vastaajasektorille:

- Kuudelle WSP Finland Oy:n rakennuttamispalvelujen johdossa ja henkilöstössä toimivalle.
- Seitsemälle henkilölle, jotka toimivat WSP Ltd:n rakennuttamisyksiköissä kolmessa eri maassa.
- Seitsemälle muiden yritysten rakennuttamis- tai projektinjohtotehtävissä Suomessa toimivalle nimetyille henkilöstöille.

Vastauksia saatiin neljä, joista kaksi WSP Finland Oy:n rakennuttamispalvelujen johdossa toimivilta, sekä yksi WSP Ltd:n palveluksessa Kanadassa rakennuttamispalvelujen henkilöstöön kuuluvalta ja yksi muun yrityksen projektinjohtotehtävissä toimivalta henkilöltä. Vastausprosentin jäätyä 20 %:n tasolle, ei vastauksista voitu tehdä yhteenvetoa, jossa yksittäisen vastauksen merkitys ei kasvaisi tilastollisesti liian korkeaksi. Saaduista vastauksista poimittiin lopulta haastattelunomaisesti joitakin linjauksia, jotka vaikuttivat yhtenäisiltä. Kysymykset ja vastaukset tallennettiin muistiomuotoisina ja ovat tutkimuksen tekijän hallussa. Kysymykset liitetään tutkimusraporttiin liitteenä.

4.2.3 Haastattelut

Ohjelmistojen ja teknisten apuvälineiden markkinoilla olevista versioista tehtiin kaksi haastattelua. Olemassa olevan tilan mittaamiseen ja kuvaamiseen soveltuvista laitteista haastateltiin Leica Geosystems Oy:n edustajaa lokakuussa 2022. Asiakirjojen automaatiosta haastateltiin Efima Oy:n edustajaa helmikuussa 2023. Muistiot haastatteluista ovat tutkimuksen tekijän hallussa.

4.3 Aineistonhallinta

Koottu aineisto sisältää yleisestä tietoverkosta saatavilla olevien tutkimusten julkaistuja tietoja, sekä kyselytutkimuksen ja haastattelujen perustana ja vastauksina joukon henkilötietoja ja henkilöityviä näkemyksiä ja arvioita.

Aineistoa säilytin tutkimuksellisen kehitystyön ajan WSP Finland Oy:n käyttöni tarjoaman tietokoneen muistissa, sekä varmuuskopiona USB-muistille tallennettuna henkilökohtaisessa työtilassani. Aineistoa karttui myös sähköpostiohjelman ja tietoverkkojen tietokantoihin, joista tietoja ei käyttäjän keinoin voida varmuudella poistaa.

Valmistuva päättötyö kyselytutkimuksen vastustietoineen tallennettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun ohjeiston mukaisesti oppilaitoksen verkosta selattavaksi. Julkaistusta aineistosta poistettiin vastausten henkilötiedot, sekä muokattiin vastaukset henkilöitymättömään muotoon.

Olennaisia tilaajayrityksen kilpailukykyyn ja järjestelmiin liittyviä tietoja ei kirjattu eikä tallennettu päättötyön julkaistavaan materiaaliin. Aineiston keräämisessä ja säilyttämisessä noudatettiin Euroopan Unionin GDPR-asetusta.

4.4 Aineiston analyysi

Lähdeaineistona tässä tutkimuksellisessa kehittämistyössä käytettiin aineistoa, joka poimittiin kirjallisuudesta ja muista julkaisuista, jotka kerättiin kohdassa 4.2.1 esitetyistä lähteistä. Aineistoanalyysi tehtiin kvalitatiivisen tutkimuksen tyypittelyanalyysimallia soveltaen, tavoitteena löytää yhtenäiset rakenteet eri lähdeaineistojen välillä. Kyselytutkimuksen tuloksia puolestaan analysoitiin fenomenografisen analyysimenetelmän tavoin, pyrkien selvittämään kyselyyn vastanneiden kokemus toimintaympäristöstään ja sen mahdollisista muutoksista. Haastattelujen tuloksia analysoitiin fenomenologisen analyysin tavoin, pyrkien eliminoimaan tutkijan ennakkokäsitykset ja lähestymään haastattelujen tuloksia riippumatta tutkijan toimimisesta tutkittavalla alalla, kehitettävien tehtävien parissa.

4.5 Tutkimusetiikka

Kyselytutkimuksen kysymykset pyrittiin muotoilemaan siten, ettei vastauksiin olisi tullut tutkimukseen vastaavien henkilöiden omien ihmis- tai työsuhteiden kannalta ongelmallisia vastauksia. Kyselytutkimuksen tuloksissa jätettiin huomioimatta muut, kuin suorat vastaukset tutkimuskysymyksiin. Mikäli kyselytutkimuksen tai haastattelujen vastauksissa havaittiin eettisesti arveluttavia asioita, poistettiin nämä seikat vastausten joukosta. Tutkimuskysymysten sisällöstä käytiin ohjaajien kanssa ennen kyselyn lähettämistä keskustelut, joissa harkittiin, olisiko ollut tarpeen pyytää esim. eettisen lautakunnan päätöstä asiassa. Lausunnon pyyntöön ei tutkimuksellisen kehitystyön julkaistavan sisällön yleisluontoisuuden vuoksi päädytty.

4.6 Luotettavuuden arviointi

Raportoinnin yhteydessä kehitystyön luotettavuuden arviointi suoritettiin laadullisen tutkimuksen luotettavuuden arviointiperusteita (Tuomi 2020) soveltaen. Tämän tutkimuksellisen kehittämistyön uskottavuus nojaa osaltaan kyselytutkimukseen osallistuneiden päivittäiseen toimimiseen kehitettävissä tehtävissä, eli projektinjohdon, sekä suunnittelun ja rakentamisen ohjaus- ja valvontatehtävissä. Vastaavuuden arvioinnissa todettakoon kehitettävien tehtävien toteuttamisen tavan ja käytänteiden jossain määrin eroavan alan eri yritysten sisäisten toimintaohjeiden poikkeusta toisistaan. Yhtenäisten yleisohjeiden, sekä alan viranomaissääntelyn vuoksi vastaavuuden voidaan todeta näine eroineenkin olevan varsin kattava. Niinpä kehitystyön tulosten siirrettävyyttä rakennuttamisalan eri toimijoiden käyttöön voidaan pitää melko hyvänä.

Tutkimuksen tulosten luotettavuuden varmistamiseksi Jyväskylän ammattikorkeakoulun tälle tutkimukselliselle kehittämistyölle nimeämille valvojille on esitetty tutkimusaineisto ja tutkimusraportti tarkastettavaksi, ennen sen julkaisua. Tutkimustilanne ajoittuu tutkimuksen aiheen kannalta kehityksen erittäin voimakkaan kiihtymisen aikaan, jolloin taajaan julkaistavat uudet innovaatiot ja sovellukset voivat muuttaa tutkimuksen tulosten ajankohtaisuutta lyhyehkönkin ajan kuluttua tutkimusraportin julkaisemisesta, ja siten heikentää tulosten varmuutta.

Kehityksellisen tutkimustyön toteutuksessa riippumattomuuteen on kiinnitetty erityistä huomiota, ja se on tehty laadullista tutkimusta ohjaavien tieteellisten periaatteiden mukaisesti. Tulosten vakiintuneisuuden varmistamiseksi raportin tarkastavat sekä em. oppilaitoksen, että tilaajayhtiön

tälle työlle nimeämät ohjaajat. Vahvistettavuuden osalta tutkimuksellisen kehitystyön ratkaisuehdotukset on pyritty esittämään seikkaperäisesti, vahvistuvuuden korostuessa sekä tämän tutkimuksen lähdeviitteissä, että muissa ajankohtaisissa julkaistuissa tutkimusraporteissa, joista tärkeimmät ovat mm. Scopus-tietokannassa vertaisarvioituina. Jonkin verran lähteinä jouduttiin käyttämään myös muita, kuin tieteellisiä julkaisuja, kehityksen aiheen ollessa varsin uusi. Nämä lähteet ovat eri ohjelmisto- ja laitevalmistajien julkaisuja, sekä alalla toimivien henkilöiden blogi-ym. kirjoituksia.

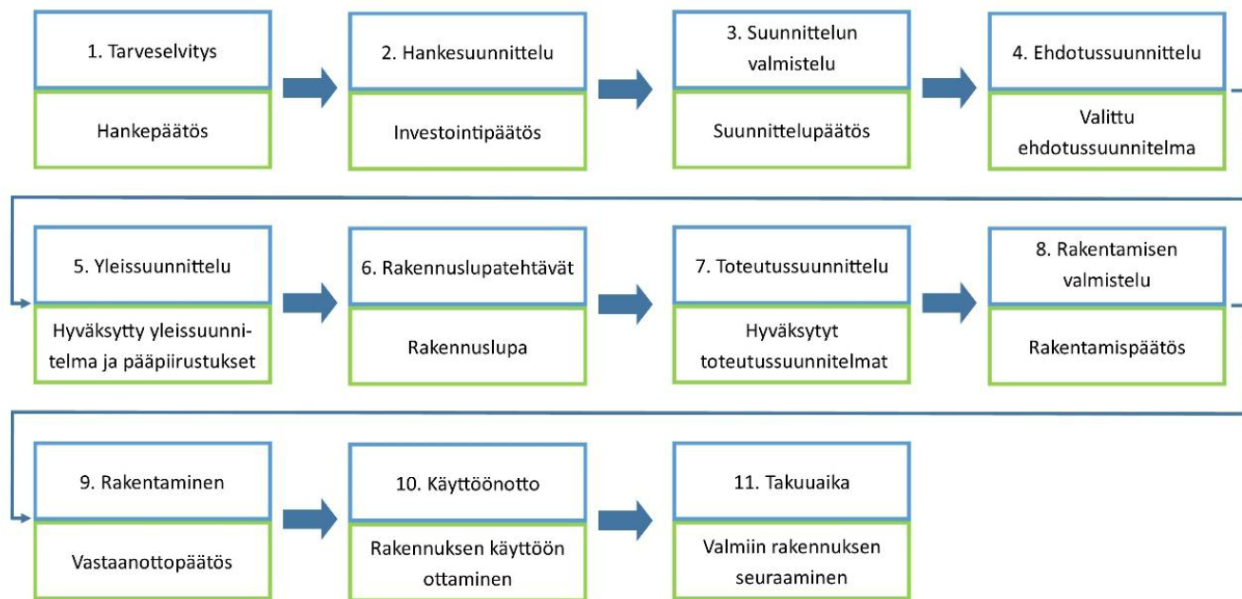
5 Tekoälyn hyödyntäminen rakennusteollisuudessa

Tätä laadullista tutkimuksellista kehitystyötä taustoitettaessa löydettiin kirjallisuuslähteiksi suhteellisen niukasti tutkimuksia, joissa tekoälyä olisi tutkittu nimenomaisesti rakennuttamisen ja rakentamiseen sisältyvien valvontatehtävien näkökulmasta. Valtaosa löydetyistä tutkimusraporteista ajoittuu 2020-luvulle. Muutamia raportteja oli löydettävissä aivan 2010-luvun viimeisiltä vuosilta, muttei juurikaan tätä vanhempia. Rakentamisprosessin ohjaamisen ja erityisesti suunnitteluohjelmistojen automaation näkökulmista lähteitä oli huomattavasti helpommin ja runsaammin löydettävissä.

Haastattelujen ja kyselytutkimuksen tuloksista poimitut tiedot kuvaavat osaltaan teknologisten mahdollisuuksien ja arjessa koettujen tilanteiden eroja, jotka voidaan nähdä toimintamallien kehittämismahdollisuuksina.

5.1 Rakennusprojekteista yleisesti

Useissa tutkimuksissa on havaittu enenevässä määrin rakennusprojektien laajuuden kasvavan, ja samalla aikataulujen ja budjettien tiukentuvan (Eber 2019, 206). Riippumatta siitä, onko kyseessä uudis- vai korjausrakentaminen, on rakennushanke aina monivaiheinen projekti, jonka jokaisessa prosessissa on lukuisia alaprosesseja ja niihin liittyviä päätöksentekovaiheita (Salminen 2016, 2–3). Rakennushankkeen kulkua on kuvattu seuraavassa kaaviossa, jossa Salminen (2016, 38) on tuonut esille myös prosessiin liittyvän tuotoksen.



Kaavio 4 Rakennushankkeen pääprosessit (Salminen 2016, 38)

Rakennusprojekti on useimmiten tilaajalle suuri investointi, ja siten myös suuri ja monitahoinen riski. Ryhtyessään tarveselvityksen perusteella rakennushankkeeseen, tilaaja valmistautuu rakennusprojektin aiheuttamaan taloudelliseen ja toisinaan myös tuotannolliseen riskiin. Hankkeen riskien eskaloituessa tilaaja saattaa kohdata myös mainehaittaa, joka puolestaan voi merkittävästikin vaikeuttaa tilaajan asemaa markkinoilla ja yhteiskunnassa. Riskien ennakointi ja hallinta on siten hyvin merkittävässä roolissa rakennusprojektin johtamisen, suunnittelun ja toteuttamisen tehtävissä.

5.2 Rakentamisen tehokkuus ja kannattavuus

Toiminnan kannattavuus muodostuu käytetyn kokonaistyömäärän taloudellisen arvon ja luovutettavan työntuloksen myyntihinnan suhteesta (Teräväinen 2021, 27). Rakentamisen tehokkuutta on tutkittu paljon. Näistä tutkimuksista aiheeseen sopivana esimerkkinä Hyyryläinen (2014). Tykkä (2016, 21) sekä Pihlajamaa (2018, 58) ovat todenneet projektin menestyksen syntyvän yhteisestä toiminnasta ja olevan parhaiten kannattavaa, kun koko konsortio toimii yhteisesti sovitulla toimintamalleilla yhteisen päämäärän saavuttamiseksi.

Eriyisesti johtamisen laatuun ja johtamistaitoihin liittyen Teräväinen (2021, 27) mainitsee yksilön toiminnan tehokkuuden vaikutuksen työmaan kokonaistehokkuuteen olevan riippuvainen työmaan johtamisen organisaation yhteisesti sovittuihin prosesseihin sitoutumiseen ohjaamisesta ja näiden toimien valvonnan syvyydestä. Yksittäisten työntekijöiden kurinalaisella ja tehokkaalla toiminnalla on siten merkitystä vasta, kun koko työmaa toimii samojen periaatteiden mukaisesti (Teräväinen 2021, 27).

Valtioneuvoston teettämässä rakennusalan kilpailukykyä ja laatua selvittävässä tutkimuksessa rakennusalan kannattavuuden on todettu laskeneen vuosina 2000–2017. Rakennusalan yritysten käyttökateprosentti on jäänyt mainitulla ajanjaksolla tasolle 7,3 %. (Ahonen ym. 2020, 38.)

Rakennusalan digitalisaatio on alan tuottavuuden ja kannattavuuden kannalta välttämätöntä. Tekoälyä hyödyntävien sovellusten ja järjestelmien avulla kannattavan rakentamisen monitahoinen ongelma saadaan tehokkaasti ratkaistua, samalla parantaen rakennustyömaiden turvallisuutta. (Makaula, Munsamy & Telukdarie 2021, 154–155)

5.3 Kyselytutkimuksen tuloksista

Alkuvuodesta 2023 tehdyssä kyselytutkimuksessa kartoitettiin rakennuttamisen ja valvonnan digitalisaation tilaa. Saaduista vastauksista ilmeni kirjallisuuslähteiden tietojen kanssa samansuuntaisuutta. Kyselyyn vastanneilla oli vastausten mukaan käytössä digitaalisia työvälineitä, kuten matkapuhelimia ja kameroita, sekä tietokoneita niin tabletteina kuin kannettavinakin versioina. Eri päätelaitteilla käytettävänä sovelluksina mainittiin:

- BIM360 – Pilvipalvelu projektin suunnitelmien ja dokumenttien jakamiseen.
- BimTasks – Tarkastussovellus rakennusvirheiden dokumentointiin ja korjausten kuittaamiseen.
- Bluebeam – Pilvipalvelu projektin suunnitelmien ja dokumenttien jakamiseen.
- Congrid – Tarkastussovellus rakennusvirheiden dokumentointiin ja korjausten kuittaamiseen.
- Dalux – Pilvipalvelu projektin suunnitelmien ja dokumenttien jakamiseen, tarkastussovellus rakennusvirheiden dokumentointiin ja korjausten kuittaamiseen, kiinteistönpidon suunnitelma ja dokumenttihakemisto, huoltokirja palautekanavineen.

- Kotopro – Tarkastussovellus rakennusvirheiden dokumentointiin ja korjausten kuittaamiseen.
- Planman – Aikataulujen ja resursoinnin laadintaan ja seurantaan.
- SiteVision – Laajennetun todellisuuden sovellus tietomallien katseluun, tarkastuksiin, mittaukseen ja dokumentointiin.
- Tokoman – Määrä- ja kustannuslaskentaan, tietomallien tarkasteluun ja aikataulutukseen.

Edellä olevan aakkostetun sovellusluettelon sovellusten toimintoja kuvaavat selitteet on laadittu sovelluksia tarjoavien yritysten verkkosivuilta saatujen tietojen pohjalta. Verkkosivut haettiin maaliskuussa 2023, käyttäen Google-hakukoneessa hakusanana sovelluksen nimeä.

Sovellusten käyttö painottuu kyselytutkimuksen vastausten perusteella rakentamisen aikana toteutuneiden virheiden dokumentointiin. Vain kahdessa vastauksessa mainittiin ohjelmistoja, joilla pyritään ennaltaehkäisemään virheiden syntymistä. Rakennuttajakonsultin työvälineiksi soveltuvista ohjelmistoista vastauksissa esiintyi projekti aikataulujen määrittämiseen soveltuvia ohjelmia, sekä määrä- ja kustannuslaskentasovellus. Niitä sovelluksia, joilla suunnittelunohjaustehtävässä voisi välittää tietoa ja varmistaa suunnitelman toteutuskelpoisuutta, käytetään annettujen vastausten perusteella vain suunnitelmien ja toteutuksen virheiden kirjaamiseen. Ennakoivan kehittämisen ja ohjauksen kannalta tulos on siten varsin heikko.

5.4 Haastattelujen keskeisimmät tulokset

Tekstiasiakirjojen laadintaan ja ylläpitoon on markkinoilta saatavilla useita erilaisia sovelluksia, kuten Efima TekstiÄly. Varsinaista tekoälyä kevyemmät asiakirjarobotiikkaa hyödyntävät sovellukset ovat hankintahinnaltaan edullisia, ja niillä voidaan esimerkiksi poimia tekstistä viittauksia ja verrata niitä lähteisiin, jolloin viittausten ajantasaisuus voidaan helposti tarkistaa. (Hirva 2023.)

Varsinaiset tekoälyohjelmistot voivat tuottaa tekstiä prosessin perusteella. Mallinnetun prosessin ja kerätyn metadatan perusteella tekoälyohjelma voi koota annettujen lähtötietojen pohjalta useimmat rakennushankkeessa tarvittavat asiakirjat. Koska rakennuttamisen prosessit ovat toistuvia ja asiakirjamuodot toistensa kaltaisia, on haastattelun mukaan ilmeistä, että tekoäly voisi koota

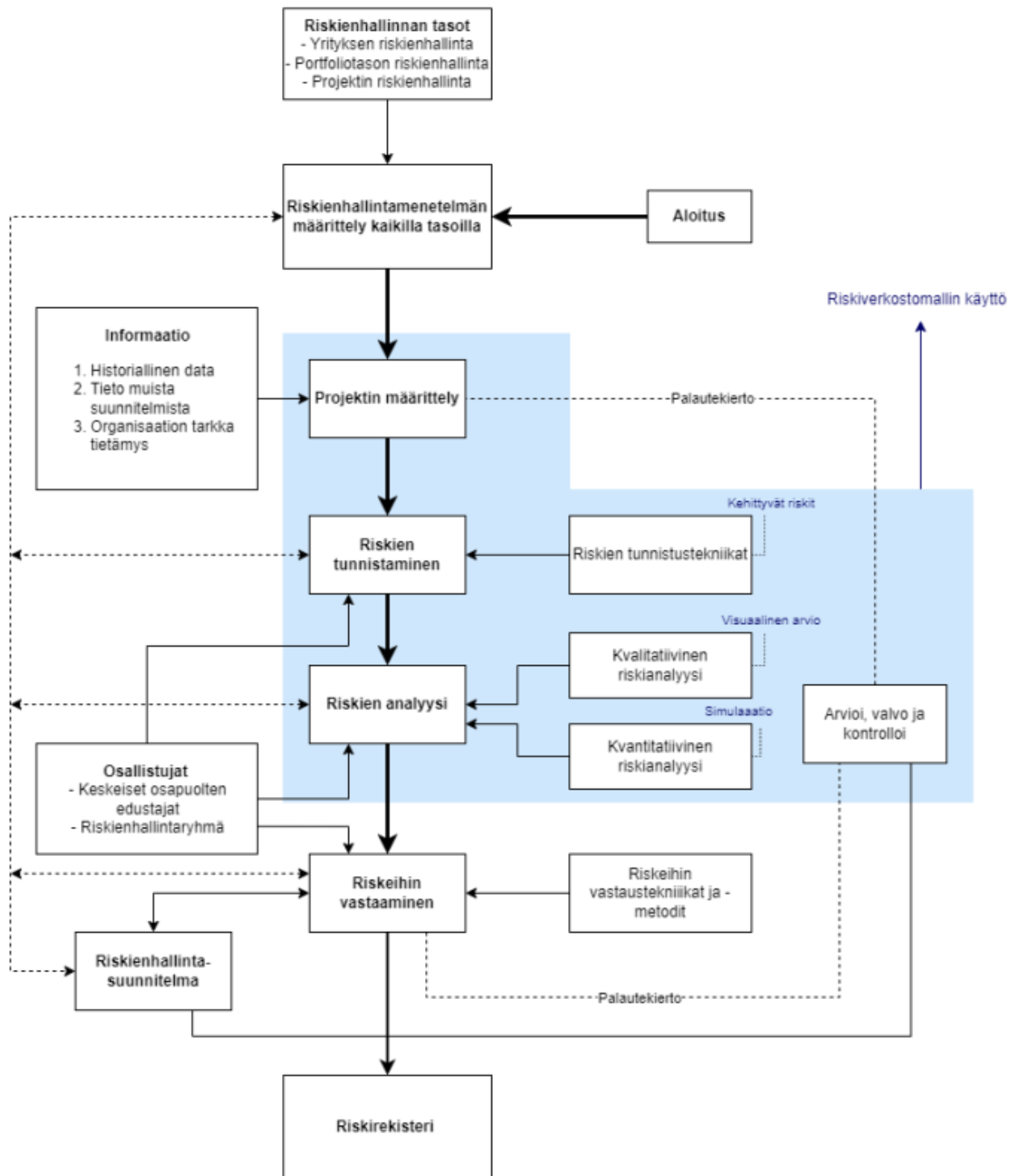
ja kirjoittaa suurimman osan kussakin hankevaiheessa tarvittavista hankeasiakirjoista lähes valmiiksi, kun lähtötiedoiksi annetaan hankkeen yhteystiedot. Avaamalla rajapinnat kustannusten, aikataulun ja teknisen suunnittelun tietokantoihin, saataisiin automaatiota edelleen kehitettyä. (Hirva 2023.)

Rakennuspaikan geometrian lähtötilanteen ja rakentamisen aikaisen mittauksen ja dokumentoinnin toteuttamiseen on jo valmiita tekoälyohjelmia. Rakenteilla oleva rakennus voidaan esim. päivittäin mitata ja dokumentoida kuvaavilla laserkeilaimilla, ja saatuja tuloksia voidaan suoraan verrata rakennuksen tietomalliin. Rakennustyön aikana kohteeseen varastoidut materiaalit, sekä mittauksessa ja kuvauksessa havaitut henkilöt voidaan automaattisesti poistaa kuvaustuloksista. Rakennustyön tulosten vertaaminen tietomalliin ja aikataulun seuranta on mahdollista automatisoida tekoälypohjaisen negatiivisen tietomallivertailun avulla. Myös kuvaaminen ja keilaaminen voidaan automatisoida, käyttämällä esimerkiksi kuvaavaa laserkeilainta kuljettavaa robottikoiraa. (Joala 2022.)

5.5 Riskien hallinta

Riskienhallinta on ollut erityisesti haastavaksi koetussa korjausrakentamisessa keskeisessä roolissa Aalto Yliopiston korjausrakentamista koskevassa Building 2030 osahankkeen loppuraportissa Teollinen ja digitalisoitu korjausrakentaminen (Peltokorpi ym. 2023). Riskienhallinnan tärkeyden ja havaittujen ongelmien toistuvuudesta riippumatta, projektinjohdon myös tunnistaessa korjausrakentamisen riskienhallinnan tarpeet, on riskienhallinta korjausrakentamisessa todettu heikoksi. Ongelmien tunnistamisesta huolimatta kehitystyötä riskienhallinnan parantamiseksi ei ole juurikaan havaittu tehdyksi. (Peltokorpi, Nygvist, Chauhan & Ghassemi 2023, 12.)

Riskit vaikuttavat kulminoituvan projektin saumakohtiin (Salminen 2016, 51). Olennainen vaikutus riskien kannalta on myös tiedonkulun puutteilla. Suhteellisen harvoin järjestettäviin suunnittelukouksiin tuotunakaan tieto ei välttämättä välity suunnitteluorganisaatiossa riittävästi (Salminen 2016, 79). Toisaalta rakentamisen viivästymiseen ja kustannusten nousuun suurimman vaikutuksen riskitekijöiksi on havaittu: 1) urakoitsijan taloudelliset vaikeudet, 2) tilaajan taloudelliset vaikeudet, 3) sopimuksen teko halvimman tarjoajan kanssa, 4) suunnitelmamuutokset ja 5) urakoitsijan heikot projektinjohtotaidot (Alshihri, Al Gahtani & Almohsen 2022, 9–12).



Kuva 3 Riskienhallinnan prosessikaavio (Peltokorpi ym. 2023, 13)

5.5.1 Viivästymisriskin ennustaminen

Rakennusalan tuottavuutta suuresti alentava ja jatkuvaa mainehaittaa aiheuttava ongelma on rakennushankkeiden viivästyminen. Viivästymisriskin ennustaminen ja projektissa viivästyvän työvaiheen ennustava paikallistaminen on mahdollista koneoppivilla tekoälysovelluksilla, joita on viime vuosina vertailtu ja kehitetty Hertfordshiren ja Salfordin yliopistoissa Britanniassa (Egwim ym. 2021). Viivästymisriskin juurisyiden tunnistaminen on kirjattu Peltokorven ym. (2023, 13) tutkimuksen riskienhallinnan tärkeimpiin tehtäviin. Resurssien, siis työvoiman ja materiaalien saataavuus, ovat esimerkkejä tällaisista juurisyistä. Viemällä näiden riskien tarkastelu tietomalliin, voidaan riskianalyysi tehdä vuorovaikutteiseksi (Mikkola 2021, 57) ja tekoälypohjaisilla tietomalliohjelmilla myös automatisoida (Abioye, Oyedele, Akanbi, Ajayi, Delgado, Bilal, Akinade & Ahmed 2021, 7).

Ainutkertaisia arkkitehtuurimonumentteja suosivassa julkisessa rakentamisessa menetetään monistettavista ratkaisuista saatavilla oleva tieto ja osaaminen. Kertaluonteiset ratkaisut johtavat usein kokeiluihin ja muutoksiin, jolloin suunniteltu valmistusaika ei riitä, eli hankkeen valmistuminen viivästyy (Ahonen ym. 2020, 59). Koneoppimisen menetelmillä integroiduista tietomalleista viivästymisriskit havaittaisiin jo ennen rakentamisen aloittamista (Egwim ym. 2021, 13). Tietomalleissa olevaa ja rakennusalan toimijoiden käytettävissä olevaa tietoa hyödynnetään kuitenkin erittäin vähän. Tämän on päätelty johtuvan rakennusalan toimijoille yleisestä tavasta pitäytyä matalan teknologian hintakilpailussa, innovatiivisen ja kansainvälistyvän kasvukilpailukyvyyn rakentamiseen perustuvan toiminnan sijaan (Ahonen ym. 2020, 67). Kiinnittämällä huomiota hankkeista karttuvan datan hallintaan ja hyödyntämiseen (ks. Etelälahti 2021, 72 ja liite 3), olisi viivästymisriskin ennustaminen tekoälytekniikalla hallittavissa.

5.5.2 Taloudellisten riskien hallinta

Tuotannon toimijoiden materiaali- ja hankintaosaamisen liittämisen suunnitteluvaiheeseen on koettu parantavan tuotantotehokkuutta ja pienentävän taloudellisia riskejä tuotantovaiheessa (Ahonen ym. 2020, 60). Tuotannon talousjohtamista on tutkittu paljon. Myös tekoälyn käyttöä talousjohtamisessa, nimenomaisesti mahdollisimman pienillä kustannuksilla tapahtuvan tuotannon näkökulmasta, on käsitelty viime vuosina useissa tutkimuksissa. Pokki (2020) kiteyttää talousohjattua projektinjohtourakointia selvittävässä tekoälytutkimuksessaan useimpien tutkimusten

tavoitteen: mahdollisimman halpa tuotanto, ilman teknisten ja toiminnallisten ominaisuuksien karsimista (Pokki 2020, 46).

Rakennushankkeeseen ryhtyvän tilaajan kannalta tuotantokustannuksia merkityksellisempää on sijoituksen tuotto. Sijoituksen suunnitellusta kestästä riippuen tilaajan taloudellisina tavoitteina voivat olla joko mahdollisimman pienet rakennuskustannukset (lyhyt sijoitus) tai mahdollisimman pienet elinkaarikustannukset (pitkä sijoitus). Näissä molemmissa tapauksissa urakoitsijoiden taloudesta riippuva suorituskyky on olennaisin riskitekijä (Alshihri ym. 2022, 9). Kun vielä huomioidaan suunnitelmamuutosten vaikutus (Alshihri ym. 2022, 9), voidaan päätellä ainakin projektinjohtourakoitsijoiden taloudellisen tuloksen perusteella kehitettävien talousohjattujen hankkeiden riskiarviointiosaan olevan perusteltua liittää myös urakoitsijoiden taloudellisen suorituskyvyn arviointi. Kokonaisvaltaiseen taloudelliseen tarkasteluun kykeneviä tekoälypohjaisia järjestelmiä ei ole muutamana vuoden takaisessa tutkimuksessa markkinoilta löydetty (Abioye ym. 2021, 9).

5.5.3 Laaturiskien hallinta

Suunnittelutyö ja sen johtaminen muodostuu lukuisista kerroksellisista tehtävistä, kuten Salminen (2021, 82) toteaa. Nämä suunnittelutehtävät ovat sidoksissa sekä oman työn laaduntarkkailuun, että alisteisten tehtävien laatuun. Merkittävä rooli suunnittelunohjauksessa, ja siten myös laadunvalvonnassa, on myös tilaajalla ja rakennuttajakonsultilla, jotka yhdessä vastaavat suunnittelun ohjaamisesta ja siis omalta osaltaan suunnitelman laadun valvonnasta (Salminen 2021, 83).

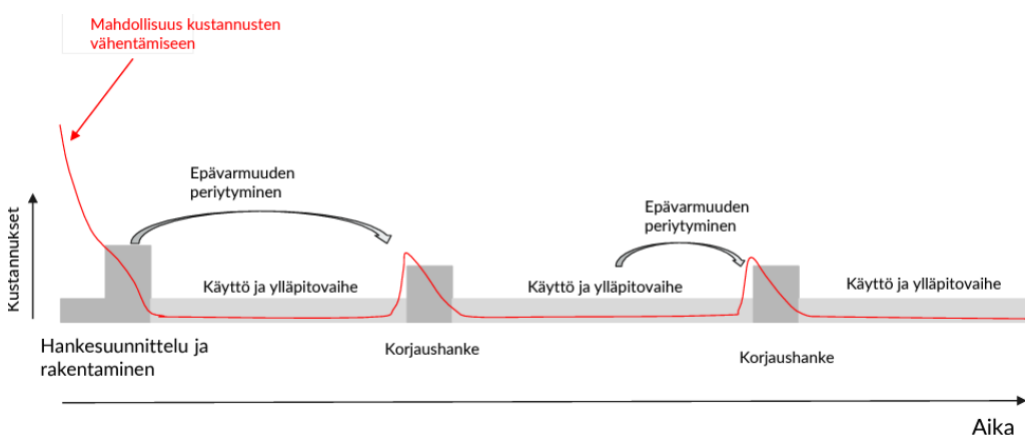
Suunnittelussa suhteellisen merkittävä osa rakennustyön valmistumisen edellyttämistä seikoista jää esittämättä ja ratkaisematta, johtuen tietomallintamisen matalasta tasosta (Seppänen ym. 2022b, 16). Näin ollen myös laadunvalvonta ja laaturiskien arviointi jää näiltä osin suorittamatta.

Siirryttäessä toteutukseen, on työmaan ratkaistava suunnitelmissa esittämättömät asiat. Laadun varmistustoimia tehdään useilla iteraatiokierroksilla rakentamisen aikana, ja jo ennen rakentamisen aloittamista (Prisching 2021, 22–25). Rakentamisen riskinarviointiin on eri yrityksillä erilaisia toimintamalleja. Viimeisimpiä julkaistuja ehdotuksia on kaksivaiheinen menettely, jossa suunnitelman asennettavuus tarkastetaan asentajataustaisten henkilöiden toimesta (Seppänen ym. 2022b, 29). Laaturiskinarvioiden tasoa on siten kehitettävissä paremman laadunvarmistuksen tarpeisiin.

Tietomalliin tuotuna riskiarvioita voidaan käyttää tietomallin kehitysprosessissa systemaattisena riskienhallintavälineenä. Tietomalleilla suoritettavissa simuloinneissa laaturiskit voidaan ennakoita, joskaan rakentamista paljolti käsityönä toteutettaessa ei työvirheistä johtuvia laaturiskejä voida täysin eliminoida. Hyvällä riskianalyysillä tietomallinnettu riski on kuitenkin helpommin hallittavissa, eli riskikohteita voidaan rakentamisen aikana tehokkaasti tarkkailla. (Mikkola 2021, 54–57)

5.5.4 Korjausrakentamisen tiedonpuutteiden epävarmuusriskit

Rakentamisen kustannuksiin vaikuttaa olennaisesti hankkeen osapuolten tunnistamien riskien mitatakaan arviointi. Aalto Yliopiston Teollinen ja digitalisoitu korjausrakentaminen -julkaisussa (Peltokorpi ym. 2023) tarkastellaan korjausrakentamisen kannalta periytyvää tiedonpuutteen ongelmaa, joka muodostaa epävarmuusriskin paitsi käsillä olevalle, myös seuraaville korjausrakentamishankkeille.



Kuva 4 Epävarmuuden periytyminen korjausrakentamisessa (Peltokorpi ym. 2023)

Peltokorpi ja muut (2023) toteavat Building 2030 osahankkeen loppuraportissaan korjausrakentamisen aikana todetusta ja toteutetusta todellisuudesta tallennetun dokumentaation vajavaisuuden aiheuttavan periytyvän riskin kiinteistön seuraaviin korjausrakentamishankkeisiin. Hyvä dokumentaatio sekä uudistetty korjausrakentamishankkeen aikana pienentää epävarmuusriskiä kiinteistön seuraavissa korjausrakentamishankkeissa (Peltokorpi ym. 2023). Riskiä pienentämällä siis kevennetään kiinteistön omistajalle aiheutuvaa kustannusta seuraavien korjausrakentamishankkeiden yhteydessä.

5.6 Organisaatiokulttuurin vaikutus uuden teknologian hyödyntämisessä

Yrityskulttuuri tarkoittaa työyhteisön mukaiseksi muovautuvaa käsitystä siitä, miten kyseisen yrityksen henkilöstö erilaisissa tilanteissa toimii. Yleisemmin tätä toimintaa ohjaavaa koodistoa kutsutaan organisaatiokulttuuriksi. (Vartiainen 2021, 43.) Tämän tutkimuksen jatkotutkimussuosituksissa ehdotetaan tutkimuksen kautta selvitettäväksi muiden vaikuttimien ohella myös kulttuurisia tekijöitä suomalaisten rakennusalan toimijoiden vähäiseen tekoälyn ja robotiikan hyödyntämiseen. Näitä johtamisen ja kulttuuristen seikkojen näkökulmia Teräväinen (2012) on tarkastellut tuoreessa väitöskirjatutkimuksessaan. Seuraavissa kappaleissa pyritään hie- man avaamaan tekijöitä, jotka selittävät alan jäykkyyttä uusien toimintamallien käyttöönotossa.

Teräväinen (2021, 36) on todennut rakennusalan yritysten johdon useimmiten pitäytyvän vanha- kantaisessa pysyvyyttä ja kontrollia vaalivassa johtamistavassa, yrityksen vahvaan sisäiseen maail- maan tukeutuen, korostaen henkilöstön hyvinvoinnin merkitystä. Nuorempien työntekijöiden muutoshalukkuus on Teräväisen (2021) väitöskirjatutkimuksen mukaan ollut selkeästi suurempi. Johtamistaitojen monipuolisuuden ja yhtiön toiminnan läpinäkyvyyden kysynnän rinnalla nousee Teräväisen (2021, 47) tutkimuksen mukaan myös halu tuoda uusia teknologisia toimintamalleja ja työkaluja rakennusalan käyttöön.

Teräväisen (2021) väitöskirjan tutkimusta ja tuloksia on helppolukuisesti referoitu Oulun ammatti- korkeakoulun julkaisusarjan Oamk Journal numerossa 110/2022 julkaistussa artikkelissa (Stenius 2022). Artikkelista erityisesti kappale ”Johtamiskulttuuri tarvitsee muutosta” on varsin suositelta- vaa luettavaa rakennusalan yritysten johdossa toimiville.

5.7 Rakennushankkeen tietovarannon hallinta

Jotta kehittyneitä järjestelmiä voitaisiin tehokkaasti käyttää, tulee kaikki projektiin karttuva tieto tallentaa siten, että se on kaikkien osapuolten käytettävissä. Rakennusalan tiedonvaihtoalustoiksi (Data Exchange) suunniteltuja prosessointijärjestelmiä käyttäen kaikki tuotettu data saadaan kaik- kien projektin osapuolten hyötykäyttöön. Prosessoivilla tiedonvaihtoalustoilla, esim. Platform of Trust, voidaan rakennushankkeiden kaikki tieto tuoda, koota ja ylläpitää sopimus pohjaisessa pilvi- palvelussa kaikkien hankeosapuolten ulottuvilla. Näissä alustaratkaisuisa lähtötietojen tallentami- nen, suunnittelu ja rakennettavan hankkeen tuote- ja ylläpitotietojen tallennus sopimus pohjaiseen

pilvipalveluun mahdollistaa neuroverkon nopean prosessoinnin ansiosta tiedon kopioimisen yhteiseen formaattiin, josta kaikki sopimusosapuolet saavat samanaikaisesti järjestelmiensä käyttöön kattavan projektidatan. (Liu, Chang, Zuo, Webber, Xiong & Dong 2021, 14.)

5.8 Rakennuttajakonsultin tekoälyapu

Seuraavaksi perehdytään rakennuttajakonsultin tehtävän hoidon kannalta tekoälyä hyödyntävien sovellusten valinnan lähtökohtiin ja niiden olennaisiin ominaisuuksiin.

Neuroverkkopohjaisten tekoälysovellusten nykytilaa ja tulevaisuudennäkymiä selvittävässä kirjallisuustutkimuksessa Liu ja muut (2021) selvittivät 2000-luvulla julkaistujen rakentamisen johtamiseen suunnattujen ANN-sovellusten (artificial neural networks) kehitystä. Rakennusala tuottaa Liun ja muiden (2021, 1) mukaan erittäin paljon tietoa, mutta sen hyödyntämisen taso on matala. He katsovatkin rakennusteollisuuden olevan digitalisaation hyödyntämisessä selvästi jäljessä, suhteessa muihin teollisuuden aloihin. Liu ja muut (2021, 14) näkevät rakentamisen moniulotteisten ongelmien (ks. Eber 2019, 206) ratkaisussa tekoälyn hyödyntämisen voivan tuottaa erittäin merkittävää etua. Samoin ovat havainneet Hooda, Kuhar, Sharma ja Verma (2021, 4) tutkiessaan kompleksisten rakenneriskitarkastelujen menetelmiä. Vastaavasti ANN-sovellukset Hoodan ja muiden (2021, 4) mukaan parantavat työturvallisuutta, neuroverkon seuratessa työntekijöiden ja materiaalien liikettä ja sijaintia työmaalla. Työturvallisuuden paranemiseen liittyen Patil (2019, 24) artikkelissaan huomauttaa puuttavan teknologian merkityksestä.

Liu ja muut (2021) on tutkijaryhmänä lähes samassa kokoonpanossa vuonna 2022 julkaissut uuden tieteellisen katsauksen (Xu, Chang, Pan, Li, Liu, Webber, Zuo & Dong 2022) neuroverkkojen käytöstä rakennusteollisuuden kilpailu- ja suorituskyvyn parantamiseksi. Xu ja muut (2022) toteaa rakennusteollisuuden digitalisaation suurimmaksi ongelmaksi matalasta tuottavuudesta juontuvan yhteistyön puutteen alan kehittämisessä. Tulos on mielenkiintoinen tilanteessa, jossa juuri matala tuottavuus on alan yhteinen perusongelma. Kun Abioye ja muut (2021, 11) pitävät tekoälysovellusten käyttöä tehokkaimpana tapana parantaa rakennusalan tuottavuutta, on Xun ja muiden (2022) havainto yhteistyöongelmista kirjattu myös Mäen, Kerosuon ja Koskenvesan tutkimuksen (2018) tuloksiin. Mäki ja muut ovat todenneet, ettei parhailakaan yhteistyömalleilla tuottavuus parane, ellei ihmisiä saada johdettua toimimaan yhdessä (2018, 115). Yhteistyön ongelmana saattaa olla

myös tehtävä- ja linjakohtainen siiloutuminen ja kehittämisestä palkitsemisen epätasa-arvo (Teräväinen 2021, 46). Vastaavasti Liesaho (2017, 54) on havainnut organisaatiokulttuurin huonon sisäisen joustavuuden heikentävän tuottavuutta. Johtamisella, palkkiojärjestelmillä ja laajemmin organisaatiokulttuurilla lienee siis merkittävä osuus rakennusalan kehitystyössä, jossa tekoälysovellukset tuodaan tehostamaan tuottavuutta.

Rakennuttajakonsulttien henkilötyöstä merkittävä osa kuluu hankeasiakirjojen laatimiseen ja päivittämiseen. Mikäli asiakirjojen laadinta ja ylläpito automatisoitaisiin tekoälysovellusten avulla, voitaisiin konsulttien kaupallisten rajoitteiden vuoksi hankekohtaisesti yhä niukkenevaa työaikaa vapauttaa elintärkeään dialogiin eri hankeosapuolten kanssa.

Tekoälysovellusten tehokas käyttö hyvätasoisten projektiasiakirjojen laatimisessa vaatii runsasta viitedataa, eli lähtötietoja, joiden pohjalta tekoäly voi koota ja mallintaa toivotunlaisen uuden asiakirjan, tarkoitettulla sisällöllä (Etelälahti 2021, 11). Tekstiasiakirjat ovat asiakirjatyypeittäin rakenteellisesti samantyyllisiä lähes kaikissa rakennushankkeissa, riippumatta niiden tekijästä tai rakennettavasta kohteesta. Tämä samantyyllisyys ja pitkälle vakioituneet toimintatavat tarjoavat hyvän ydindatalähteen tekoälysovellusten hyödyntämiselle (Etelälahti 2021, 14). Kun lisäksi asiakirjojen viitelähteet (lait, asetukset, viranomaisohjeet, jne.) eli metadata, on verkossa helposti sovellusten saatavilla, ovat asiakirjojen automatisoinnin edellytykset jo valmiiksi koossa, jolloin dataarkkitehtuuria päästään määrittämään (Etelälahti 2021, 12).

Viime vuosien tekoälysovellusten kehitys on ollut nopeaa, ja myös suomenkielisiä tekstinkäsittelyn tekoälysovelluksia on tullut markkinoille. Rakennusalan hankeasiakirjat ovat varsin lähellä julkishallinnon asiakirjamalleja, joiden soveltuvuutta tekoälyn käsiteltäviksi Laakkosen (2021) toimitamassa informaatioteknologian filosofiaa, etiikkaa ja digitalisoitunutta yhteiskuntaa käsittelevässä kirjassa Jari Autioniemi on käsitellyt. Autioniemen esittämän Mehrin taulukon (Taulukko 1) (Laakkonen 2021, 152–153) esittämät ongelmat sopivat erittäin hyvin kuvaamaan myös rakennushankkeiden asiakirjahallinnon ratkaistavia kysymyksiä.

Tekoälypohjaisia asiakirjojen laadintaan tarkoitettuja ohjelmistoja valmistavan Efima Oy:n liiketoimintajohtaja Janne Hirva kertoi haastateltaessa (Hirva 2023), sekä kirjoittajalle osoittamassaan

sähköpostiviestissä tekstiasiakirjoissa olevien viittausten ajantasaisuuden valvonnan olevan mahdollista esimerkiksi valmiin Efima TekstiÄly -sovelluksen avulla. Rakentamisen hankeasiakirjat olisi myös mahdollista koostaa mallintamalla rakennushankeprosessi esim. Power Platform -alustaa käyttäen, jolloin olemassa olevasta metadatasta voitaisiin tuottaa rakennushankkeen asiakirjat syöttämällä projektikohtaiset tiedot järjestelmälle. (Hirva 2023.)

Taulukko 1 Tekoälylle soveltuvat hallinnolliset ongelmat (Laakkonen 2021, 152)

Tekoälylle soveltuvat hallinnolliset ongelmat	
Resurssien allokointi	<ul style="list-style-type: none"> • Tehtävän suorittaminen edellyttää hallinnollista tukea • Vastausajat ovat pitkiä riittämättömän tuen vuoksi
Suuret tietokannat	<ul style="list-style-type: none"> • Tietokannat ovat tehokkuuden kannalta liian suuria työntekijöille • Sisäisiä ja ulkoisia tietokantoja voidaan yhdistää tulosten ja löydösten lisäämiseksi
Asiantuntijoiden puute	<ul style="list-style-type: none"> • Yksinkertaisiin kysymyksiin voidaan vastata, mikä vapauttaa asiantuntijoita muihin tehtäviin • Erityiskysymyksiä voidaan oppia asiantuntijoiden tueksi tutkimuksessa
Ennustettava skenaario	<ul style="list-style-type: none"> • Tilanne on ennustettavissa pohjautuen historialliseen dataan • Ennustaminen auttaa kiireellisissä vastauksissa
Proseduuri	<ul style="list-style-type: none"> • Tehtävä on luonteeltaan itseään toistava • Syötteillä ja tuotoksilla on binaarinen vastaus
Monipuolinen data	<ul style="list-style-type: none"> • Data sisältää visuaalista/avaruudellista ja auditiivista/kielellistä informaatiota • Laadullista ja määrällistä dataa tulee arvioida säännöllisesti
Esimerkit	<ul style="list-style-type: none"> • Chatbotit, kansalaisten auttaminen tiedonetsinnässä ja ohjaaminen viranomaiselle, dokumenttien kääntäminen, kyselyihin vastaaminen, raporttien tekeminen

5.9 Suunnittelun ohjauksen tehostamisen mahdollisuuksista

Suunnittelun ohjaus ja johtaminen on kompleksinen prosessi tavanomaisessakin kohteessa. Projektiluonteisen suunnittelutyön ja suunnittelun ohjauksen tehtävissä aiempien tehtävien soveltaminen on usein haastavaa, hankkeiden kertaluonteisuudesta johtuen. Usein projektin heikko menestys johtuu suunnittelun ja organisoinnin ongelmista. Suunnittelussa menestyminen muodostuu pitkälti ihmisten ja asioiden johtamisen kyvystä. (Salminen 2016.)

Tiedon määrä ja prosessien samanaikaisuus muodostavat merkittävän viestinnällisen ja hallinnollisen haasteen projektia ohjaaville henkilöille. Tilanteessa, jossa suunnittelijat työskentelevät etäällä toisistaan, ei toimiviakaan sähköisiä viestintäratkaisuja juuri palaverieja lukuun ottamatta käytetä. Viestintään jää aukkoja, verrattuna työskentelyyn samassa tilassa. Erillään työskentelevien suunnittelijoiden hallussa oleva ja kulloinkin käsiteltävä tieto jää jakamatta projektiryhmälle. Tämä tuo projektin suunnittelijoille tunteen eriytymisestä, joka johtaa korjauksia vaativiin päällekkäisiin ja ristikkäisiin työntuloksiin. (Tykkä 2016, 62). Suunnittelualoittain tiimeinä toimivat ryhmät pyrkivät parantamaan tulostaan, ja osoittamaan sen mittaamalla tehokkuuttaan (Lönroth 2012, 40). Sosiaalisesti vastuutettu dialoginen projektiryhmä toimii itseohjautuvien tiimien verkostona, joka viestii vastavuoroisesti kuunnellen, kysyen ja kyseenalaistaen, keskinäisen arvostuksen ilmapiirissä (Tykkä 2016, 21). Tiimien välillä yhteisvastuullisen sitoutumisen kannustimena on havaittu sopimusteknisesti järjestettävissä oleva palkkio tavoitteellisia ja dialogisia vaateita paremmin toimivaksi (Tykkä 2016, 93).

Tiedon hallinta ja jakaminen on keskeisintä rakennushankkeen prosessien onnistumisessa (Salminen, 27). Tiedon ja sen hallinnan pirstaloituminen puolestaan aiheuttaa teknologisen esteen projektin onnistumiselle (Opuku, Perera, Osei-Kyei, Rashidi, Bamdad & Famakinwa 2023, 19).

Eryteisesti korjausrakentamisen suunnittelussa nykyisellään heikoksi todettua viestintää voitaisiin merkittävästi parantaa digitaalisella tiedolla johtamisen avulla (Peltokorpi ym. 2023, 27). Käytettäessä BIM-tietomallia yhteisenä tiedon tallennusalustana, voidaan myös suunnittelualojen välisessä dialogissa nousta selvästi paremmalle tasolle.

Suunnittelutyössä syntyvät virheet ja päällekkäisyydet johtuvat usein puutteellisista lähtötiedoista. Eryteisesti korjausrakentamisen suunnittelussa lähtötilanteen kartoituksen tarkkuus määrittää pit-

kähti myös suunnittelun onnistumisen mahdollisuuksia. Yhteiseen tallennuspaikkaan toteutettu tietomallisuunnittelu tarjoaa suunnittelunohjaajalle mahdollisuuden tarkastella lähtötietojen ja kehittyvän suunnitelman yhteensopivuutta suunnittelun aikana. Mikäli lähtötietomallinnus on onnistunut, voi suunnittelunohjaaja kehittyvää suunnitelmaa ja lähtötietomallia tarkastelemalla varmistua suunnitelman toteutuskelpoisuudesta jo ennen suunnitelman valmistumista.

Telineiden, muottien ja muiden väliaikaisten rakenteiden mallintamisen puutteesta johtuviin ongelmiin törmätään usein rakentamisvaiheessa, jopa sinänsä tarkkojen suunnitelmien toteuttamisen yhteydessä (Haapanen 2022, 14).

5.9.1 Tekoälyn käyttö suunnittelussa

Kaakkois-Aasian – Uuden-Seelannin alueella toteutetussa järjestelmällisessä kirjallisuustutkimuksessa Manzood, Othman, Durdyev, Ismaila ja Wahab (2021) selvittivät tekoälyn käyttöä rakennetun ympäristön suunnittelussa. He näkevät tekoälyn oleellisimpana tekijänä suunnittelun suorituskyvyn lisäämisessä, ja erityisesti suunnittelukohteen digitaalisen kaksosen toteutuksessa (Manzood ym. 2021). Digitaalisiin kaksosiin palataan tämän tutkimuksen kohdassa 5.13.1.

Samanaikaisesti Heinäjärvi (2021) on Tampereen yliopistolla tutkinut tekoälyn hyödyntämistä suunnittelun tietomallien toteutuksessa, erityisesti riskienarvioinnin ja teknistaloudellisen tarkastelun näkökulmista. Tämä aihe on ollut tarkasteltavana myös, kun Abioye ja muut (2021, 3) monikansallisessa tutkimuksessaan toteavat perinteiseen insinöörisuunnitteluun verrattuna tekoälyn valitsemien suunnitteluratkaisujen olevan yleisesti riskittömämpiä ja edullisempia.

Tekoälyn käyttö on Hoodan ja muiden (2021) rakennesuunnittelun nousussa olevia sovelluksia koskevan tutkimuksen mukaan siirtymässä heikon tekoälyn (Weak AI, ANI) sovellusten yksinkertaisista erillistehtävistä vahvan tekoälyn (Strong AI, ASI) suunnittelujärjestelmiin. Vahva tekoäly mallintaa inhimillistä ajattelua, mutta ylittää inhimillisen suorituskyvyn rajat (Abioye ym. 2021, 2). Tämä suoritustaso saavutetaan, kun koneoppiva tekoäly tuottaa suunnitteluratkaisut vertailemalla kaikkia pilvipalveluiden kautta saatavilla suunnitteluratkaisuja toisiinsa ja niillä saavutettuihin tuloksiin. Lähtötietojenkaan ei tarvitse enää olla aukottomia, sillä hiljattain julkaistu SHM-järjestelmä on saavuttanut kyvyn korjata lähtötietodatan aukot vertaamalla kaikkia hyväksyttäviä tuloksia lähtötietomatriiseihin (Hooda ym. 2021, 3).

Asiakasyritysten liiketoiminnan digitalisaation edistämiseen keskittynyt monikansallinen Appinventiv Ltd. kertoo verkkosivullaan tekoälyohjattujen autonomisten robottien tuottavan automaattisesti suunnittelun lähtötiedoksi ja rakentamisen aikaiseksi dokumentaatioksi päivittäin päivittyvää rakentamisen BIM-tietomallia (Srivastava 2022). Kun Srivastavan (2022) tekstiä verrataan em. Abioyen ja muiden (2021) sekä Hoodan ja muiden (2021) vuoden takaisiin tutkimuksiin, voidaan Tuovisen (2019) tutkimuksen mukaisesti todeta tekoälyn ja sen käytön kehittyvän eksponentiaalisen nopeasti (Tuovinen 2019, 18).

Suomessa tietomallipohjaiset rakennuslupakäsittelyt ovat tulossa käyttöön useilla paikkakunnilla, kuten Mikkola (2021) rakennushankkeiden mallinnusta koskevan tutkimuksensa raportissa toteaa. Mallipohjaisia rakennuslupakäsittelyjä on jo kokeilukäytössä toteutettu mm. Vantaalla. (Mikkola 2021, 12–13). Mikkolan (2021) tutkimuksessa käsitellään moniulotteisesti mallinnettujen hankkeiden hallintaa tekoälyn avulla. Näissä hankkeissa rakennuksen kolmiulotteisen suunnittelun lisäksi malli sisältää ajan, kustannusten, elinkaaren ja riskien mallintamisen. Niinpä Mikkola puhuuakin 7D-mallinnuksesta (Mikkola 2021, 36–56). Vastaava mallinnus on nähtävissä vuonna 2014 Alexandrian yliopiston julkaisemassa tutkimusraportissa, jossa Aziz, Hafez ja Abuel-Magd esittelevät järjestelmän mega-luokan projektien hallintaan (Aziz ym. 2014).

Rakennustietosäätöön vuonna 2017 julkaisema rakennuttamisen tehtävät määrittävä ohjekortti RT 10-11284 kuitenkin velvoittaa rakennuttajan suunnittelunohjauksessa varmistamaan suunnittelun johtavan mm. toiminnallisesti, teknisesti ja taloudellisesti tavoitteiden mukaiseen toteutuskelpoiseen lopputulokseen (RT 10-11284, 15–16, 19). Samoin Maankäyttö- ja rakennuslain (1999) 119 § määrää, että rakennushankkeeseen ryhtyvällä, siis rakennuttajalla, tulee olla riittävä osaaminen todetakseen suunnitelman täyttävän säädökset ja määräykset.

Koneoppivan tekoälyn suorittaessa merkittävän osan suunnittelusta, riskinarvioinnista ja hankkeen johtamisesta päädytään pohtimaan: Miten rakennushankkeeseen ryhtyvä - tai tämän konsultti - voi vakuuttua hankitun suunnitelman täyttävän tehtäväluetteloiden, tai edes Maankäyttö- ja rakennuslain, vaatimukset ja velvoitteet.

5.9.2 Tietomallit ja tekoälyavusteiset suunnittelutyökalut

Suunnitteluohjelmien (CAD) ja rakennusten tietomallien (BIM) kautta suunnitelmaan karttuu nykyisin valtava määrä tuote- ja materiaalitietoa, joka useimmiten on tallennettu IFC-formaattiin (Mikkola 2021). Useiden erikoisalojen suunnittelijoiden laatiessa suunnitelmia kukin omien suunnittelualojensa järjestelmillä, viedään niistä kulloinkin tarvittava tieto muunnoksena yhteisiin tietomalleihin soveltuvaan formaattiin. Muunnosten yhteydessä suuri osa tiedosta jää edelleen suunnitteluyritysten omiin tietokantoihin, eikä kartu hyödyttämään suunniteltavan kohteen tietovarantoa.

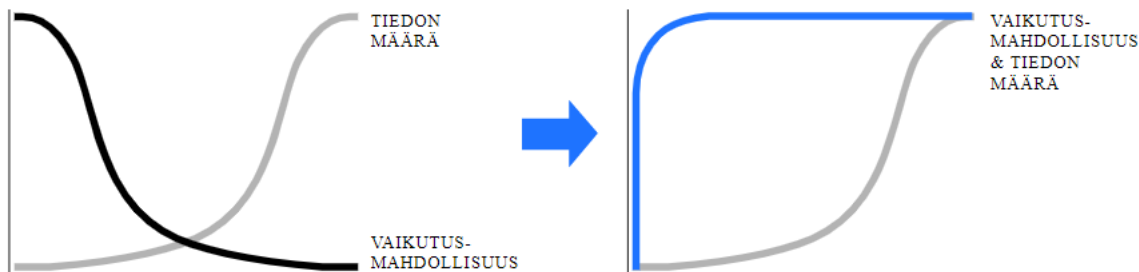
Suunnitelmaosuuksia kehitetään usein melko pitkälle, ennen suunnitelman muuntamista yhteensopivaan muotoon, ja toimittamista tietomallikoordinaattorille, joka tekee vertailua eri suunnittelumallien yhteensopivuudesta, lähinnä fyysisen tilankäytön kannalta. Teknisen yhteensopivuuden tarkastelu jää näissä tietomallikoordinaattoreiden yhteensovitusvertailuissa usein heikoksi.

Tietomallinnuksen suunnitteluratkaisujen ongelmakohtien selvittämisessä käytetään jo melko laajasti tekoälyavusteisia ohjelmistoja, kuten Tampereen yliopiston julkaisemassa kirjallisuuskatsauksessa Tekoälyn hyödyntäminen rakennusteollisuuden tietomalleissa todetaan (Heinäjärvi 2021).

Generatiiviset AI-suunnitteluohjelmat tarjoavat suunnittelijoille lukuisista mallivaihtoehdoista soveltuvimpia ja vähäriskisimpiä. Suurena etuna Heinäjärven (2021) kirjallisuuskatsaukseen on poimittu huomio suunnittelun standardien ja säännösten noudattamisen automaattisoinnista. Tämä on rakennuttamisen kannalta yksi keskeisimmistä toiminnallisen tehokkuuden parannuskeinoista. Sacks, Girolami ja Brilakis ovat tutkimuksessaan 2020 todenneet tietomallin ja rakentuvan todellisuuden tietoja tekoälypohjaisesti vertaamalla, rakentamisprosessin aikaisen jatkuvan mittauksen laadun- ja turvallisuuden valvonnan automatisoinnin mahdollisuuden, joskaan valmista ja toimivaa automaatiotekniikka he eivät havainneet (Sacks ym. 2020, 4–7).

Suunnittelutavoitteiden moniulotteisuus on kasvanut mm. hiilijalanjäljen laskennan tultua lisäämään ratkaisujen vertailu- ja valintaperusteita. Ramboll on kehittänyt rakenne- ja arkkitehtisuunnittelun synkronointiin Fenix-ohjelmiston, jolla rakennuksen muoto- ja runkovaihtoehtoja voidaan

nopeasti ja kustannustehokkaasti vertailla. Fenixin algoritmi tuottaa tilaohjelman ja siihen liitettyjen kuormitustietojen perusteella massoittelun ja materiaalivalintojen erilaisia vaihtoehtoja, sekä laskee vertailuun lisäksi materiaalien hiilijalanjäljen. (Kainulainen 2023.)

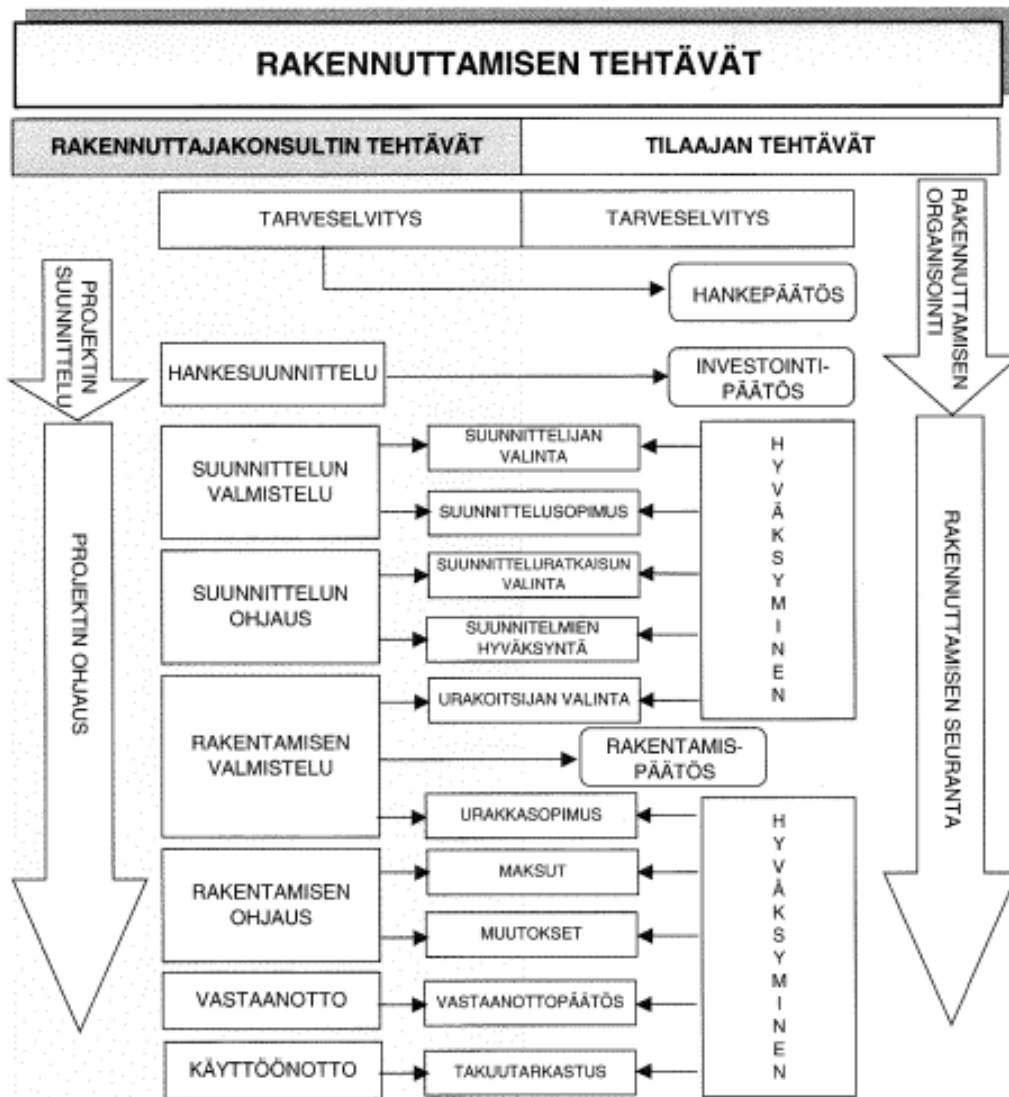


Kuva 5 Tiedon määrän ja vaikutusmahdollisuuden suhde perinteisen ja simulointisuunnittelun edetessä (Haahtela 2023).

Visualisoinnin ja simuloinnin tuottamia virtuaalimalleja voidaan tarkastella jo melko varhaisista tietomalleista animoituina havainne- ja tarkastelumalleina (Ramboll 2023). Haahtela TVD -simulaatiomalli tuottaa neuroverkon mitoitusalgoritmin avulla erittäin suuresta (n. 100 000 kpl) mallitietovarannosta simuloitun mallin koko rakentamisprosessista materiaali- ja toimintotietoi- neen, jolloin koko rakennuksen ja sen rakentamisen massa-, mitoitus- ja hintatiedot ovat päästö- tietoi- neen käytettävissä, ennen varsinaisen rakennussuunnittelun alkua (Haahtela 2023).

5.10 Valvonnan toimintamallit ja työkalut

Rakennusalan perinteisiin toimintamalleihin on kuulunut asioiden kirjallinen esittäminen: suunnitelmien laadinta, työohjeiden ja sopimusten kirjoittaminen, sekä muutosten ja työntulosten kirjaaminen ja kuvallinen dokumentointi. Rakennuttamisen tehtävät on suomalaisen rakennusalan yleisenä tehtävluettelona julkaistu mm. Rakennustieto Oy:n Rakennuttaminen -käsikirjassa (Kankainen & Junnonen 2001). Kankainen ja Junnonen (2001, 14) luokittelevat rakennuttamistehtävät kronologisessa järjestyksessä kolmeen päävaiheeseen: taustaselvitykset, hankkeen käynnistämisen vaiheen tehtävät, ja varsinaiset hankkeen rakennuttamistehtävät. Nämä viimeksi mainitut on vastuujakoineen esitetty seuraavassa kaaviossa.



Kaavio 5. Rakennuttamisen tehtävät. (Kankainen & Junnonen 2001, 15).

Rakennuttaminen-kirjassa (Kankainen & Junnonen 2001) on esitetty myös tehtävien hoitamiseksi soveltuviksi katsotut toimintamallit, jotka pääsääntöisesti ovat kirjaamistehtäviä. Huomionarvoista on, etteivät suunnittelun ja rakentamisen ohjauksen rinnalla tapahtuvat valvontatehtävät näy perinteikkäässä tehtäväkaaviossa, vaikka nämä ilmeisesti olisivat lopputuotteen laadun kannalta hyvinkin merkityksellisiä toimia.

5.10.1 Rakentamisen valvonnan kehittymisen vaiheista

Rakennusalan kehitystasoa suhteessa yleiseen teknologiakehitykseen kuvaa vuonna 2015 Aalto Pro yliopistossa tehty tutkielma *Rakennusvalvonnan organisointi, johtaminen ja valvonnan uudet*

työkalut (Virolainen 2015). Näinä uusina työkaluina esitellään tehtäväluetteloita ja valmiita asiakirjapohjia, jopa valokuvien tallentamista on väläytetty.

Samanaikaisesti muilla aloilla teknologia on edennyt itsenäisesti toimiviin kuvausautoihin, jakelu- droneihin ja mars-tutkimuksen toisella planeetalla autonomisesti tutkimusta tekevään liikkuvaan robottilaboratorioon. Rakennusalan hitaaseen kehitykseen on pitkien elinkaarien, ja työvoimavaltaisuuden lisäksi vaikuttanut myös huomattavan suuri sidosryhmien määrä (Su, Zhong & Jiang 2022, 7). Heikon tuottavuuden ja hitaan kehityksen vuoksi rakennusala on viime vuosikymmeninä taantunut yleisestä kehityksestä (Ahonen ym. 2020, 44). Suunnitteluala on kuitenkin kehittynyt ja siirtynyt pitkälti mallipohjaiseksi, usein simuloinnin tukemaksi digitaaliseksi toiminnaksi. Jotta rakennustyön valvonta voisi seurata kehittyvän suunnittelualan tuottamia suunnitelmia tehokkaasti, ja täyttää Tynkyniemen (2017, 8) muistuttaman olennaisimman tehtävänsä, ratkaista ennakoivasti kehityksessä olevat ongelmat ennen kuin ne vaikuttavat työmaan toimintaan, on valvonnan toimintamalleja uudistettava. On siis aika ottaa digiloikka.

5.10.2 Digitalisaatio uudistaa valvonnan menet

Rakennusalan kehityksen murros ajoittune 2010-luvun puoliväliin, sillä vain kaksi vuotta Virolaisen tutkielman (Virolainen 2015) julkaisemisen jälkeen on Metropolia Ammattikorkeakoulussa rakennusmestarin mestarityössä (Tynkynniemi 2017) vertailtu rakennustyön valvonnan digitaalisia ratkaisuja. Silloisena havaintona ohjelmistot ovat keskittyneet lähinnä pääurakoitsijoiden omavalvontatarpeisiin. Tuolloin Tynkynniemi (2017, 29) on arvioinut rakennuttajavalvojen käyttöön soveltuvien sovellusten kehittämiseen päästävän ennen vuotta 2020.

Journal of Building Engineering -verkkojulkaisun numerossa 44/2021 Abioye ja muut (2021, 2) toteavat jo johdantosanoissaan rakentamisen olevan yksi maailman vähiten digitalisoiduista teollisuudenaloista. Suurimpina ongelmina Abioye ja muut pitävät työmaasta tuotettujen tietojen hajanaisuutta ja jäsentymättömyyttä (Abioye ym. 2021, 6). Puheen ymmärtämisen ja puheena annettujen ohjeiden merkityksen erityisesti rakennustyömaaolosuhteissa on nähty olevan merkittävä laatutekijä. Tämä oivallus yhdistettynä koneoppivaan lohkoketjutekoälyyn, tuotetiedoilla (IFC) varustettuun tietomalliin (BIM) ja robotiikkaan voisi Abioyen ja muut (2021, 7) mukaan tuottaa huomattavaa etua materiaalityömaatoimitusketjujen ja työturvallisuuden sarjoilla.

5.11 Laajennettu todellisuus valvojan työvälineenä

Tietomallin tarkastelu ja tietojen vieminen tietomalliin rakennustyön aikana, tai korjausrakentamiskohteen lähtötietojen kerääminen voidaan suorittaa tarkastelemalla tietomallia laajennetun todellisuuden AR (Augmented Reality) tai MR (Mixed Reality) katselulaitteilla. Esimerkiksi Microsoft HoloLens, Trimble XR10 ja XYZ Atom ovat yhdistetyn todellisuuden katselulaitteita, joista kaksi viimeksi mainittua ovat suojakypärään integroituja ja tietomallin hallintalaitteilla varustettuja.



Kuva 6. XYZ Atom ja Trimble XR10 (xyzreality.com ja shop.trimble.com)

Rakennustyön valvonnassa on tärkeää havaita rakenteiden ja asennusten oikean paikan, oikea-aikaisen tuotannon ja suunnitelman mukaisten materiaalien käytön lisäksi myös työmaan työturvallisuusnäkökohtia. Kun valvoja seuraa yhdistetyn todellisuuden välineillä samanaikaisesti sekä fyysistä ympäristöä, että digitaalista tietomallia, syntyy perinteisiin menetelmiin nähden huomattavasti enemmän sekä tekniseen suoritteeseen, että työturvallisuuteen liittyviä havaintoja. Kun nämä havainnot voidaan suoraan tietomalliin merkitsemällä välittömästi jakaa kyseiseen havaintoon liittyvän sidosryhmän ohjeiksi, voidaan sekä työturvallisuuden, teknisen laadunvalvonnan, että tuottavuuden kannalta saavuttaa merkittävä parannus myös viestinnän tehokkuuteen. (Partanen 2022, 14–15.) Perinteinen tapa on ollut käsitellä valvojan työmaamuistioiden kirjauksia viikoittaisissa urakoitsijapalavereissa, johon nähden vuorovaikutteisella laajennetulla todellisuudella voi helposti havaita olevan valtava vaikutus tiedonsiirron nopeuteen.

5.12 Kehittyneiden järjestelmien vaikutuksesta rakennusalan kustannuksiin

Tekoälyn, esineiden internetin ja robotiikan käyttöönoton on arvioitu laskevan rakennusteollisuuden kustannuksia jopa 20 % (Patil 2019, 25). Autonomisten kuvausta ja mittausta tekevien robottien tulo rakennustyömaille on jo muualla maailmassa alkanut (Srivastava 2022). Tämä tulee muuttamaan myös suomalaista rakennuttamistehtävää laajasti ja pysyvästi.

Pohjoismaisen rakennusteollisuuden tuotantokäytössä on jo useita robotiikkajärjestelmiä, kuten Leica iCON ja Trimble Spot the Robot. Leica iCON:in käyttö voi alkaa jo rakennusalueen mallintamisesta, sillä Leican työmaatabletilla hallinnoitava robottilasertakymetri vastaa itsenäisesti yhdellä asemoinnilla useamman mittaajan mittasauvoille, jolloin mittojen tarkistus sekä linjojen ja pisteiden merkintä tehostuu olennaisesti (Leica Geosystems 2022, 8). Rakentamisen runkovaiheesta alkaen Trimblen robottikoira mittaa ja kuvaa itsenäisesti koko työmaan esim. yön aikana, ja siirtää latausasemaansa telakoiduttuaan mittaus- ja kuvaustulokset projektin pilvipalveluun projektiorganisaation käyttöön (Juhola 2021). Vastaavat toiminnot voidaan tuottaa myös Leican järjestelmällä (Leica Geosystems 2023).

Autonomisen laserskannausjärjestelmän hankintakustannukset muodostuvat skannerin ja ohjelmiston sekä skanneria kantavan robotin hinnasta. Keväällä 2023 eri verkkokauppoja selatessa voidaan todeta skannerin hankintahinnan järjestelmineen olevan n. 40 000 € ja skanneria kantavan Boston Dynamicsin Spot The Robotin n. 70 000 €. Robotin ja skannerin muodostaman kokonaisuuden hankintakustannukset vastaavat siis likimäärin puolentoista vuoden työmaavalvojan henkilökustannuksia. Valmistajien välinen kilpailu näyttää laskevan teknisten apuvälineiden hintoja nopeasti. Esim. kolmen kilon hyötykuormaa kantavan Xiaomin robottikoira Cyberdogin hinta on vain n. 6 000 €, joskaan Cyberdog ei vaikuta olevan ominaisuuksiltaan aivan Spotin veroinen.

5.13 Kehittyneet järjestelmät rakennuttamistehtävissä

5.13.1 Mallinnus

Tietomallinnuksella tarkoitetaan rakennuksen suunnittelun ja rakentamisen digitaalista esitystä, jolla tavoitellaan suunnittelun ja rakentamisen laatua ja tehokkuutta, sekä rakennustyön ja rakennuksen käytön turvallisuutta ja taloudellisuutta (Haapanen 2022, 3). Mallintaminen suoritetaan

nykyisin yleensä 3D-suunnitteluohjelmistoilla, joiden tuottamista erillisistä tietomalleista yleensä kootaan yhteiseen formaattiin viety BIM-tietomalli.

BIM-tietomallitarkasteluun tarkoitettujen katseluohjelmien avulla rakennuttajakonsultti voi rakennuttamistehtävänsä aikana tarkastella suunnitelmia, ja havaintojensa perusteella laatia rakennushankkeen päätöksentekoprosesseissa ja hankintojen kilpailuttamisessa tarvittavia asiakirjoja. Rakennuttajakonsultin avuksi suunnittelijat voivat BIM-tietomallin IFC-tietokannasta tulostaa materiaali- ja tuotemääriä, joista on mm. kustannuslaskennassa huomattava apu.

Laajennettaessa geometrista 3D-mallia aikatauluhallintaan, siirrytään 4D-tietomalliin, josta rakentamisen järjestys ja työvaiheet voidaan jo todeta. Rakentamista ohjaavana tekijänä rakentamistalous on kuitenkin erittäin merkittävässä roolissa, erityisesti rakennuttajakonsultin näkökulmasta. Lisäämällä kustannustiedot tietomalliin siirrytään 5D-tietomallien käsittelyyn, jolloin aikataulun lisäksi myös kustannukset ja niiden ajoittuminen saadaan mallinnettua. (Mikkola 2021, 44–49.)

Edelleen kasvattamalla tietomallin ulottuvuuksia rakennustuotteiden elinkaaren hallintaan, säävutetaan rakennuksen energian ja ympäristöressurssien kulutuksen, sekä rakennusosien ja laitejärjestelmien huollon ja uusimistarpeen ennakoiva 6D-tietomalli. Suunnittelun aikana voidaan 6D-tietomallilla määrittää myös rakentamisen ympäristökuormitus, sekä sen vaikutus rakentamista koskevien määräysten kautta rakennuksen rakentamisen ja ylläpidon ratkaisuihin ja kustannuksiin. (Mikkola 2021, 49–51.)

Riskienhallinnan tietomalli lisäämällä rakennuksen tietomalli kasvaa 7D-tietomalliksi, jolloin rakentamisen ja kiinteistönpidon riskienhallinta siirretään tietomallin riskianalyyysien ohjaukseen (Mikkola 2021, 56).

Kehittyneitä tietomalleja kustannus- ja riskiarvioissa käytettäessä on tärkeää havaita mallinnuksen tarkkuus ja puutteet. Tilapäisten rakenteiden, kuten telineiden ja muottien, sekä joidenkin välttämättömien apujärjestelmien, kuten kannakoinnin ja kiinnitysten puuttuminen mallista on huomiotava toistaiseksi perinteisemmin menetelmin (Haapanen 2022, 13–15).

5.13.2 Laajennettu todellisuus

Merkittävä osa rakennuttamisen hankejohtamisen ja suunnittelunohjauksen tehtävistä ajoittuu yleensä rakennushankkeen suunnitteluvaiheeseen. Virtuaalitodellisuuden keinoin esitellyillä tietomalleilla hankkeen tarkastelu, sekä kommunikointi tilaajan ja käyttäjän edustajien kanssa helpottuu, ja riskit väärinymmärryksistä vähenevät.



Kuva 7 Havainnekuva lisätyn todellisuuden näkymästä. (xyzreality.com)

5.13.3 Simulointi

Simuloimalla voidaan tuottaa rakennushankkeen kohteesta toiminnallisia malleja, joilla voidaan havainnoida yksittäisen laitteen, laitteiston muodostaman järjestelmän tai koko kohdekiinteistön virtuaalisen mallin toiminnallisuutta.

Rakennushankkeen tuottavuuden varmistamisessa yhdenkertaisen suoritteen varmistaminen on olennaista. Simuloimalla järjestelmä ja sen toiminta ennen rakentamista, saadaan halutun lopputuloksen onnistumisen todennäköisyyttä nostettua merkittävästi, verrattuna perinteiseen tapaan eriyettyjen hankintojen jälkeen toimitetuista osista koottavien laitejärjestelmien koekäyttöihin nähden. Nykyisessä toimintamallissa ongelmat paljastuvat usein vasta koekäyttöjen yhteydessä,

jolloin seurauksena voivat olla aikataulun viivästyminen ja sopivampien komponenttien hankkimisesta johtuvat taloudelliset haitat.

5.13.4 Digitaaliset kaksoset

Pohjonen (2022, 17) määrittelee digitaalisen kaksosen reaali maailman fyysistä kohdetta vastaavaksi virtuaali maailman digitaaliseksi tietomalliksi, johon tuodaan tietoa reaali maailman kohteesta. Digitaalisen kaksosen määritelmä ei ole täysin yksikäsitteinen (ks. Laine 2022, 15–17), mutta tämän tutkimuksellisen kehitystyön kannalta Pohjosen määritelmä antaa jo hyvän lähtökohdan. On kuitenkin tärkeää huomata tiedonsiirron kaksisuuntaisuus. Digitaalinen kaksos on myös rakennuksen, ja sen rakennusautomaation ohjauksen väline (Su ym. 2022, 7). Reaali maailman rakennuksen talotekniikkaa ja koneistusta voidaan ohjata digitaalisen kaksosen asetteluja muuttamalla. Näin toteutettu digitaalinen kaksos jatkaa elämäänsä rakennuksen koko elinkaaren ajan, jolloin suurimman osan elinkaarestaan digitaalinen kaksos itseasiassa mittaamalla mallintaa rakennuksen tuottamaa tilapalvelua (Kortman 2021, 30–31).

Suunnittelun ja rakentamisen aikana digitaalinen kaksos voi toimia suunnittelun ja simuloinnin työvälineenä lopputuotteen tavoitteenmukaisuuden arvioinnin ja laadunvarmennuksen osana, sekä hankintoja ja asennusta ohjaavana järjestelmänä (Laine 2022, 21). Rakennuksen käytön aikainen kustannusvaikutus muodostuu ihmiskeskeisissä palveluissa paitsi teknisten järjestelmien etäohjauksen, myös simuloituihin fyysisiin vasteaikoihin ennakoivan tilojen palveluohjauksen kiinteistöpalvelulle muodostamasta arvonalisästä (Kortman 2021, 35).

Koska käyttäjä on varsin merkittävässä osassa tilapalvelukokonaisuutta, voidaan mallin elinkaaren aikana haluta animoida ja simuloida myös tilassa toimiva käyttäjä. Vaikka tämä teknisesti on tietyn rajoittein mahdollista, on yksityisyyteen ja tietosuojaan syytä kiinnittää erityistä huomiota, kuten Kortman toteaa. (Kortman 2021, s. 33.)

WSP on käynnistänyt monialaisen Digital Twins -hankkeen, jonka yhtenä tavoitteena on parantaa rakentamisen tuotantotehokkuutta vähentämällä virheistä johtuvia korjauksia ja varastoinnista johtuvia kustannuksia tuoteosien oikea-aikaisin toimituksin, sekä tuottaa rakennuksen omistajalle rakennuksen ylläpidon ja huollon helpottamiseksi pysyvä digitaalinen kaksos, jota tarkastelemalla kiinteistön käyttäjälle voidaan tuottaa häiriöttömät, turvalliset ja miellyttävät olosuhteet.

Rakennusten digitaalisia kaksosia kehitetään WSP:llä sekä Iso-Britanniassa, että Ruotsissa. (Okraglik 2022, 5–15, 25–32.)

Digitaalisten kaksosten käyttöönotto edellyttää reaali maailman objektin kaikkien ominaisuuksien ja toimintojen mallintamista. Rakennusteollisuudessa toimivan digitaalisen kaksosen perustaminen alkaa käytännössä tietomallipohjaisesta suunnittelusta, jossa luotuu digitaaliseen malliin tuodaan kaikki siihen liittyvä tieto, joka ylläpidetään kohteen elinkaaren ajan. Tällaista laajaa mittaus- ja lähtötietokantaa kutsutaan yleisesti nimellä big data. (Pohjonen 2022, 19–20, ks. Pylkkänen 2018, 9.)

Jatkuvan tiedonkeruun ja ohjauksen mahdollistamiseksi tarvitaan automaattista tiedonsiirtoa järjestelmistä, laitteista ja rakennustuotteista. Esineiden internet, eli IoT-teknologia, jossa laitteet ja anturit viestivät automaattisesti keskenään, mahdollistaa paitsi tietojen keräämisen, myös verkkoon kytkeytyneiden laitteiden ohjaamisen (Pylkkänen 2018, 6–7). IoT on digitaalisten kaksosten elinkaarenaikaisen ylläpidon kannalta aivan oleellisessa asemassa.

5.14 Koulutuksen merkitys

Kehittyneiden sovellusten käyttöönotto edellyttää myös nykyisen organisaation kehittymistä, eli käytännössä toimivan henkilöstön koulutusta. Kasvavaa osaamisvajetta (ks. Patil 2019, 24) on pikimmiten ryhdyttävä kuromaan umpeen, jotta tekoälysovellukset saadaan jalkautettua käyttöön (vrt. Tuovinen 2019, 64). Onnekaasti kuitenkin kaikki organisaatiot ovat oppivia organisaatioita, sillä kun organisaation jäsenet työskentelevät yhdessä, syntyy kollektiivisesti osaamista kehittävä oppimista (Venäläinen 2014, 20).

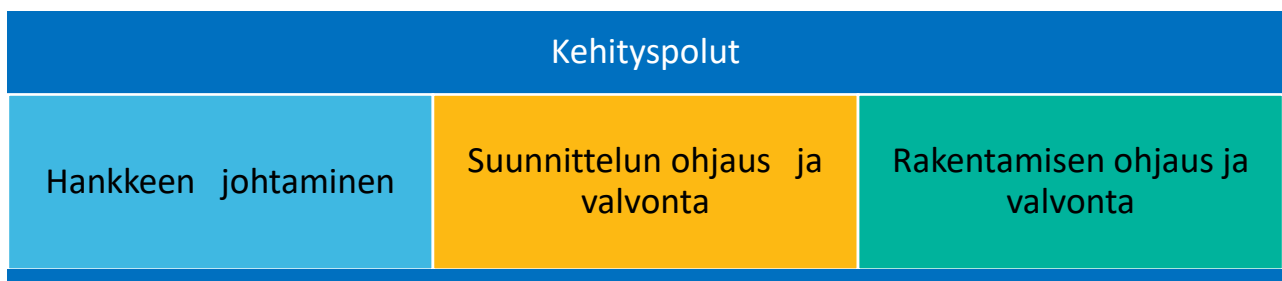
Rakennusteollisuuden konservatiivinen luonne näkyy hyvin digitaalisten kaksosten käyttöönoton esteitä rakennusteollisuudessa kartoittaneessa artikkelissa Barriers to the Adoption of Digital Twin in the Construction Industry (Opuku ym. 2023). Kolmeenkymmeneen luokkaan kirjatusta, digitaalisen kaksosen käyttöönoton esteestä, viisi kuudesta merkittävimmästä on Opukun ja muiden (2023) mukaan koulutuksellisia asioita: 1 - tietotaidon matala taso, 2 - heikko teknologioiden hyväksyntä, 3 - puutteet tavoitteiden tunnettuudessa, 5 - tietojen kirjaaminen käsin ja 6 - osaamisen

puute (Opuku ym. 2023, 16). Ymmärrystä rakennusten digitaalisten kaksosten hyödyistä koko rakennusteollisuuden liiketoiminnan kannattavuuden parantamisessa puuttuu Opukun ja muiden mukaan paitsi rakennusteollisuuden sisällä, myös sidosryhmissä (Opuku ym. 2023, 18–20).

6 Tulokset

Tämän työn tavoitteena on ollut rakentaa kehityspolku, jota seuraamalla WSP Finland Oy:n rakennuttamisyksiköiden kilpailukyky ohjataan ja kehitetään teknologisten apuvälineiden hyödyntämisessä tasolle, jolla sen rakennetun ympäristön suurimman suunnitteluyrityksen osana tulisi alan tulevaisuuteen valmiina suunnannäyttäjänä olla.

Seuraavissa kappaleissa esitetään tutkimuksellisen kehitystyön tulokset, sekä ehdotukset rakennuttamisen palvelutuotantolinjojen kehityspoluiksi. Ehdotukset on ryhmitelty samalla kolmijaolla, jota on käytetty edellä kysymyksen asettelussa ja tietopohjan kokoamisessa. Hankkeen johtamisen, suunnittelun ohjauksen ja valvonnan, sekä rakentamisen ohjauksen ja valvonnan kehityspolut voidaan joiltain osin toteuttaa erillisinä tai rinnakkaisina. Tavoitteen kannalta ehein ja toimivin kokonaisuus edellyttää näiden kehityspolun jaksojen sulauttamista toisiinsa. Käytännössä tämä tarkoittaisi projektien hankekonsortioille kaikkien osallistuvien tahojen palvelu- ja liiketoimintamallien uudistamista. Jotta kehitys tuottaisi pysyviä tuloksia, tulisi rakennuttamisen toimialan toimintamalleja pyrkiä kehittämään yhdessä alan muiden suurten toimijoiden kanssa. Myös oppilaitokset tulisi osallistaa kehitystyöhön, jotta uudet rakennuttamisen toimialalle valmistuvat saisivat riittävän tietopohjan jo koulutuksensa aikana.



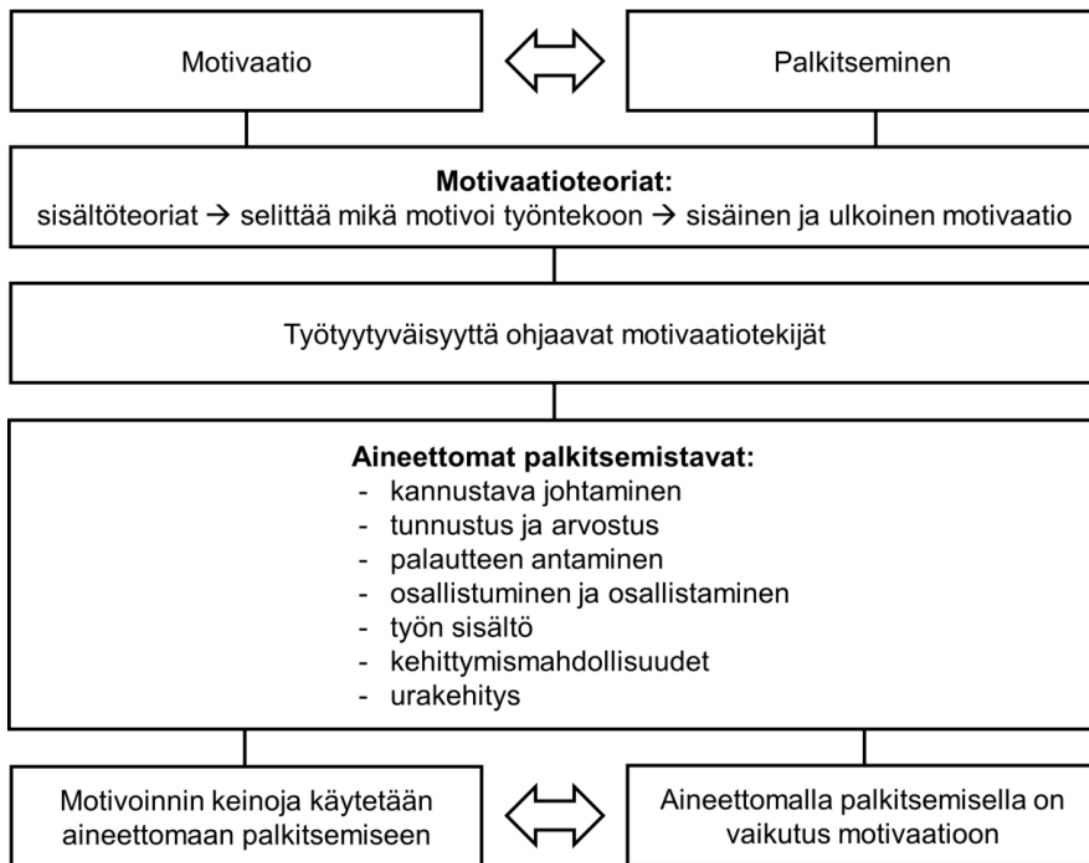
Kuva 8 Kehityspolkujen kolmijako

6.1 Muutoksen johtamisesta

Tutkimuksellisessa osassa havaittiin ylikansallisena ongelmana teknologisten apuvälineiden käytössä osaamisen ja koulutuksen puutteet, ja pääosin näistä puutteista johtuva muutosvastarinta. Jotta kilpailukykyä parantaviin tuloksiin voitaisiin päästä, on toteutettava joukko muutoksia, jotka väistämättä aiheuttavat epätietoisuutta ja kysymyksiä henkilöstön keskuudessa. Muutoksen käynnistämässä on taitavasti käytettävä muutosjohtamisen aidon kohtaamisen keinoja, jottei henkilöstön keskuudessa synny vastareaktiota, joka pahimmillaan näkyy parhaan aineksen siirtymisenä toisten työnantajien palvelukseen. Ennen muutostöiden aloittamista tulee henkilöstöä lähestyä dialogin keinoin, esitellen uudistusten tarve ja tavoite, sekä perustellen käyttöönotettavien teknologioiden tarkoitus. (Markkanen 2010, 77.)

Yrityksen kilpailukykyyn parantaminen on työpaikkojen säilymisen kannalta ehdoton edellytys. Jotta muutos ja sen aiheuttama uuden oppimisen tarve tulee henkilöstön keskuudessa hyväksyttäväksi, on ennen uusien teknologioiden käyttöönottoa tarpeen tuoda koulutuksen ja innostavan johtamisen keinoin tarjolle työn jalostumisen päämäärä, sekä muutoksessa jokaiselle työntekijälle karttuva henkilökohtainen kilpailukyky työmarkkinoilla. Muovattaessa yrityskulttuuri kasvua ja kehitystä johtavaksi, voidaan saavuttaa jatkuvan oppimisen kulttuuri, jolloin motivoituneet asiantuntijat itsekin hakeutuvat kehittämään omaa osaamistaan. (Asunmaa 2019, 25–26.)

Olennainen osa muutoksen johtamisessa on siis motivaation ylläpitäminen, tai oikeammin kasvataminen. Samalla on huomattava rakennusteollisuuden markkinoilla tapahtuva ennen näkemättömällä nopeudella etenevä digitalisaatio, joka muutoksena väistämättä järkyttää alan perinteisiä toimintamalleja. Koko rakennusteollisuuden ala, ja aivan erityisesti rakennuttamistehtäviä suorittava toimialasektori ovat siis disruptiossa, jonka lopputulosta on vaikea ennustaa. Kun disruptiota hallitaan transformationaalisen johtajuuden arvoihin, eettisiin periaatteisiin ja vakaisiin pitkäjänteisiin päämääriin nojaamalla, saadaan henkilöstön tavoitteet vähitellen dialogin avulla muutettua, jolloin näihin uusiin päämääriin päästään (Northouse 2016, 161).



Kuva 9 Motivointi aineettomilla palkitsemiskeinoilla (Suomi J. 2017, 73)

Teknisesti haastavimmat muutokset ehdotetaan pilotoitaviksi pienillä kehittämissyrymillä, joihin henkilöt valitaan kyvykkyyden ja halukkuuden perusteella, varmistaen jokaiselle osallistuvalla kehittämisen ja pilotoinnin edellyttämät riittävät resurssit. Erittäin tärkeää on ylläpitää jatkuvan palautteen vastaanottoa ja reagoimista palautteeseen. Palautetta tulee systemaattisesti kerätä paitsi kehitystä ajavalta kehittämissyrymältä, myös suoraan eri sidosryhmien edustajilta (ks. Ahonen ym. 2020, 159).

Uusien toimintamallien käyttöönotto on pitkä ja merkittävästi resursseja kuluttava prosessi, jonka onnistuminen edellyttää koko organisaation sitoutumista muutokseen. Ilman riittävää taloudellista panostusta muutos jää kesken, jolloin voimakkaasti kehittyvillä markkinoilla ennuste olisi yhtiön menestyksen kannalta huono.

6.2 Hankejohtamisen kehittäminen

Aivan ensimmäiseksi kaikki sellaisenaan useisiin asiakirjoihin kopioitavissa oleva tieto esitetään siirrettäväksi tietokantasovelluksiin, joista esimerkiksi hankeosapuolten yritys- ja yhteystiedot suoraan kopioituvat kaikkiin sopimus- ym. asiakirjoihin.

Toistuvien ja rakenteellisesti samankaltaisten asiakirjojen laadintatehtävien tehostamiseksi ehdotetaan tekoälypohjaisten tekstintuottosovellusten käyttöönottoa. Näin esimerkiksi urakkaohjelmat ja työturvallisuusasiakirjat voitaisiin tuottaa aiempien kohteiden tietoja yhdistävän tekoälyn avulla. Samalla tahattomat toistot asiakirjoissa saataisiin poistettua. Esimerkkinä tekoälyn tuottamista tekstiasiakirjoista on tämän tutkimuksen liitteenä tekoälyn vajaassa 36 sekunnissa kirjoittama artikkeli digitaalisesta kaksosesta rakennusteollisuudessa (Liite 3).

Rakennusalan toimintamallien muutoksiin laajempaa konsensusta hakevan seminaarisarjan kautta voitaisiin tarkastella asioiden esittämistapaa yleisemmin. Nykyiset tekstimuotoiset ja usein kymmeniä sivuja luettavuudeltaan haastavaa tekstiä sisältävät hankeasiakirjat ovat empiirisen tarkastelun valossa osoittautuneet heikosti työmaahenkilöstön keskuudessa omaksutuiksi. Suuren tekstmäärän omaksuminen ei työmaahenkilöstölle ole välttämättä mieluisa, tai ajanpuutteessa mahdollinenkaan tehtävä. Toisaalta on havaittu myös tilanteita, joissa urakointiyrityksen työnjohto ei edes luovuta tilaajatahon toimittamia tekstiasiakirjoja työmaahenkilöstölle, jotta nämä eivät käyttäisi työaikaansa asiakirjojen yleisluonteisten ja vaikeaselkoisten tekstien parissa.

Esimerkiksi videot voisivat olla tekstiasiakirjoja helpommin omaksuttavissa. Videoiden, tai laajennetun todellisuuden kuvallisen viestinnän käyttö on monille työntekijöille yksityiselämästä tuttua. Video-ohjeet ja laajennetun todellisuuden audiovisuaalisen aineiston voisi ainakin osittain tuottaa tekoälyavusteisesti, jolloin sen valmistamiseen ei kuluisi merkittävästi rakennuttajakonsulttien ja suunnittelijoiden henkilötyöaika. Tämänkaltainen lean-ajatteluun sisältyvä visuaalinen johtaminen lisäisi tuotannon läpinäkyvyyttä ja parantaisi työmaahenkilöstön motivoitumista, itseohjautuvuutta ja ongelmanratkaisukykyä. (Seppänen ym. 2022a, 5.)

6.3 Suunnittelun ohjaus- ja valvontatehtävien kehittämisestä

Kuten edelläkin on todettu, tietomallipohjainen suunnittelu on yleistynyt ja tullut suunnittelussa tavanomaiseksi menettelyksi (Mikkola 2021, 37). Useimmiten rakennuksen tietomallina käytetään BIM-tietomallia, johon edelleen liitetään rakennustuotteiden ominaisuudet eli IFC-tuotetiedot, kuten tuotteen valmistaja, mitat ja suoritusarvot (Tontti 2020, 14). Suunnittelutehtävän aikana voitaisiin tuotetietoihin sisällyttää linkitys rakennustuotteen valmistajan tietokantaan, jolloin jo suunnitteluvaiheessa voitaisiin määrittää tuotantoaikataulun pohjalta kyseisen tuotteen toimitusaika ja valmistajan ilmoittama hinta. Nämä linkitykset mahdollistaisivat 4D ja 5D mallinnuksen.

Uudisrakentamishankkeissa, ja mahdollisesti myös peruskorjaushankkeissa, rakennuskohteen tietomalliin tuotemallien avulla lisättävät lisä- ja viitetiedot määrittämällä voitaisiin tuottaa merkittävää lisäarvoa rakennuttamistehtävän ja tilaajan hyväksi.

Tietomallit tuotetietoineen määrittelee nykyisin suunnittelija. Jotta tietomallin sisältämä tuotetieto olisi jo alusta asti hankintoja vastaavasti määritetty, olisi projektin hankintatoimi kiinnitettävä hankkeelle jo suunnitteluvaiheessa. Tietomallia ja tuotetietokantaa käytettäisiin siis edellä kuvatun mukaisesti suunnittelunohjaustehtävän aikana määrittämään tuotemallipohjaisesti kustannusarvio (5D) ja projekti aikataulu (4D).

Laajentamalla suunnittelutehtävä BIM-tietomallin ja IFC-tietokannan lisäksi käsittämään myös toiminnallinen simulointi, saavutettaisiin taso, jolla voitaisiin tarkastella rakennettavan kohteen olosuhteita jo ennen rakentamista. Liittämällä olosuhdemalli, rakennettavan kohteen tavoiteolosuhteet ja mittauksin toteutunutta olosuhdetta todentava anturointi toisiinsa, saataisiin aikaan kohteen digitaalinen kaksonen, joka toimisi rakennuksen valmistuttua olosuhteiden valvonnan, säädön ja ohjauksen välineenä. Rakennustuotteiden itsestään verkkoon automaattisen tiedonsiirron avulla tuottama tieto on osa kasvavaa esineiden internetiä, josta usein käytetään englanninkielisen järjestelmänimensä Internet of Things lyhennettä IoT.

6.4 Rakentamisen ohjaus- ja valvontatehtävien kehittämistä

Rakentamisen ohjauksen ja valvonnan olennaisin ongelma on suunnitelmien irrallisuus. Eri suunnittelualoja on tavanomaisessakin rakentamisessa vähintään neljä, ja näiden alla lukuisa joukko erikseen suunniteltuja järjestelmiä. Vielä 2000-luvullakin valvojat liikkuvat rakennuskohteissa järjestelmäkohtaisten paperisten piirustusten kanssa. Käytännössä huolellinen valvoja tarkasti siis jokaisen rakennusvaiheen erikseen jokaisen järjestelmän kohdalta, käväisten välillä valvojan työmaatoimistossa noutamassa seuraavat piirustukset. Kävelykierroksia kohteessa tarvittiin siten yhteensä eri alojen valvojilla kymmeniä, jokaista työvaihetta kohti. Nykyisin kaikki suunnitelmat on työmaaolosuhteissakin tablettitietokoneilla käytettävissä, jolloin eri järjestelmäsuunnitelmia voidaan tiloittain kätevästi selata.

Jotta teknistä valvontaa voitaisiin työmaalla tehostaa, tulisi suunnitelmat yhtenäistää ja muokata helposti havainnoitavaan muotoon. Yksinkertaisimmin tämä voidaan toteuttaa tuottamalla rakennuksesta BIM-yhdistelmämalli, joka varustetaan kattavasti rakennustuotteiden IFC-tiedoilla (Su 2022, 10). Työmaa-aikaista valvontaa voitaisiin edelleen tehostaa ja tarkentaa käyttämällä rakennustuotteiden ja työntekijöiden tunnistamiseen radiotaajuustunnistusta (RFID) ja esineiden internetiä (IoT) (Su 2022, 7). Samalla työturvallisuus paranisi, kun kaikkien materiaalien ja jokaisen työntekijän paikka työmaalla olisi työnjohton tiedossa. (Patil 2019, 24)

Mikäli BIM-tietomalli IFC-tuotetietoineen sidottaisiin aikataulumalliin, voitaisiin myös tuotteiden toimituksen ja asennuksen oikea-aikaisuutta helposti valvoa, yhdistelmämallin aikataulutettua versiota tarkastelemalla.

Yhdistelmämallia voitaisiin työkohteissa tarkastella nykyisinkin usein käytettyjen tablettien avulla. Valvontatyössä laajennetun todellisuuden tekoälyohjatut virtuaalikypärät, kuten XYZ Reality Ltd:n HoloSite-Atom, voisivat olla suurena apuna mallipohjaisten suunnitelmien ja rakennetun todellisuuden vertailussa, erityisesti oikea-aikaisten toimitusten valvonnassa. Nykyisin virtuaalitodellisuustarkastelua käytetään useissa maissa, kuitenkin lähinnä rakentamisen tuotannonohjaustehtävissä.

6.5 Ehdotettavat kehityspolut

Laajojen toimintamallimuutosten kehityspolut ehdotetaan läpivietäviksi kullakin toimialalla ja tehtäväkentällä seuraavaksi esiteltävän vaiheittaisen rytmityksen mukaisesti. Eri vaiheiden pituutta ja ajoitusta on harkittava aina tapauskohtaisesti sen mukaan, kuinka suurta osaa henkilöstöstä mikäkin vaihe koskee. Muutosta ohjaamaan ehdotetaan koottavaksi pienehkö digitalisaation kehittämisryhmä, jolle valitaan johtaja ja varahenkilö.

Hankkeen johtamisen, sekä suunnittelun ja rakentamisen ohjauksen ja valvonnan ohjelmistopalvelujen tuottamiseen on markkinoilla tarjolla sekä erillisiä, että integroituja järjestelmiä. Toimialakohtaisesti ajateltuna järjestelmien integraatiotasolla ei ole suurta merkitystä, mutta yhtiön kokonaiskilpailukyvyyn ja taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta integroiduille ohjelmistoille voitaneen löytää hyvät perustelut. Jotta eri toimialoilla tarvittavien ohjelmistojen rajapintojen yhteensovittamisessa tarvittavien räätälöityjen ratkaisujen tarve olisi pienin mahdollinen ja mahdollisten ongelmien selvitys yhden palvelutuottajan vastuulla, olisi ohjelmistovaihtoehtoja selvitettäessä mielekästä asettaa etusijalle integroidut järjestelmät, kuten paikka-aikataulujen, 2D ja 3D määrälaskennan, 4D tuotantoaikataulutuksen, 5D kustannushallinnan ja BIM/VDC -riskianalyysoikalan sisältävä Trimble VicoOffice.

6.5.1 Informointi

Uusien toimintamallien tuominen käytäntöön on suositeltavinta aloittaa informoimalla henkilöstöä toimintaa helpottavien järjestelmien testaamisesta. Näin ehkäistään epämääräisten huhujen liikkeelle lähtemistä ja saadaan henkilöstön tietoisuuteen taho, josta oikeat tiedot voi halutessaan tarkistaa. Dialogisen toimintamallin mukaisesti on myös tärkeää järjestää yleisesti tietoon kehittämisryhmästä yhteyshenkilöt, joiden kanssa henkilöstö voi keskustella muutuskokeilussa mieltään askarruttavista asioista.

6.5.2 Esittely

Ensimmäisenä varsinaisena kehittämistoimenpiteenä kehittämisryhmä kokoaa koekäyttötiin, johon valitaan sekä johdon, että työntekijöiden edustusta kaikilta sektoreilta. Seuraavaksi järjestetään muutamia kertoja toistettava huolellisesti perusteltu esittely ensimmäisenä käyttöön otettavista ohjelmistoista ja nykyisten järjestelmien ja ohjelmistojen käyttötapojen muutoksista. Jotta

kiinnostus uusien järjestelmien ja toimintamallien käyttöönottoa kohtaan heräisi, tulisi jo tässä vaiheessa ilmoittaa palkkio, jonka muutos tuo. Palkkion tulee suhteutua kohtuullisena muutoksen hyötyyn ja muutosprosessin vaivaan nähden, ja sen tulee jakautua tasapuolisesti kaikkien muutokseen osallistuvien osalle.

6.5.3 Vertailu

Esittelyn jälkeen tehdään laaja vertailu uusien ja vanhojen toimintamallien välillä. Tulokset kootaan ja tallennetaan henkilöstön ulottuville, huolellisesti perusteltuina. Tuloksissa on tarpeen tuoda esille sekä hyvät, että huonot seikat, painottaen muutoksen aiheuttaman epämukavuuden tilapäisyyttä ja päämäärän merkitystä kilpailukyvyyn ja työpaikkojen säilymisen takaajina. Vertailujen tulokset esitellään koko henkilöstölle, ja tallenteet esittelyistä jaetaan kaikkien saataville esim. intraverkossa. Kehittämisryhmän esitellessä koekäyttötiimin kokemuksia avoimesti ja laajasti saadaan henkilöstö kiinnostumaan uusien toimintamallien kokeilusta.

6.5.4 Houkuttelu ja motivointi

Koekäyttötiimin jäsenet toimivat omissa yksiköissään myös uusien toimintamallien esittelijöinä, ja myönteisesti uusista tavoista ja ohjelmista viestiessään he lisäävät niiden houkuttelevuutta. Tämän kaltaisen toiminnan odotetaan lisäävän muun henkilöstön houkutusta kokeilla uusia tai uudistettuja tapoja ja järjestelmiä, jolloin henkilöstölle syntyy motivaatio uusien toimintamallien kokeiluun ja käyttöönottoon.

Asiakkailla ja yhteistyökumppaneilla on tässä vaiheessa hyvä järjestää seminaari, tai webinaarisarja, joka paitsi antaa asiakaskunnalle ja yhteistyökumppaneille aikaa reagoida, toimii myös heitä osallistavana markkinoinnin ja myynnin apukeinona. Parhaita kumppaneita lienee hyvä informoida ja haastatella muutoksesta jo esittelyn aikoihin, jotta mahdolliset kumppaneiden aiemmat kokemukset voitaisiin hyödyntää kehitystyössä.

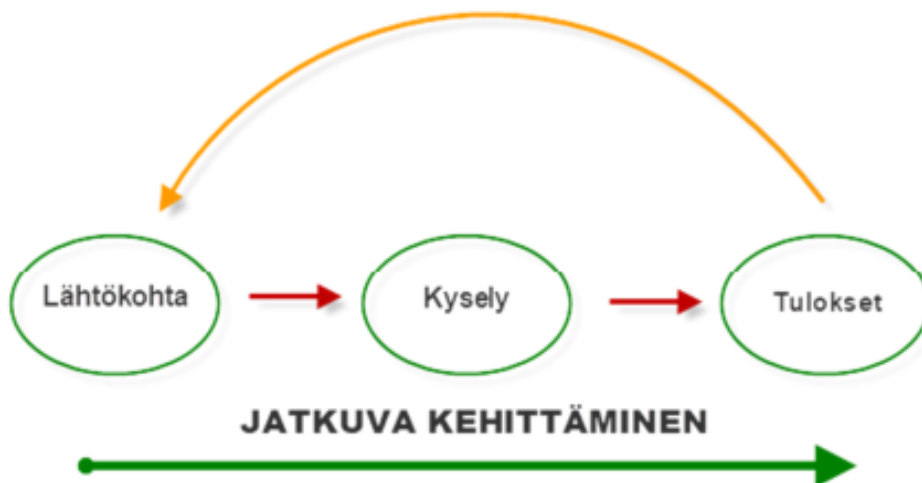
6.5.5 Kokeilu, innostaminen ja perehdyttäminen

Kokeilukäyttö koko henkilöstölle on hyvä aloittaa innostamalla henkilöstöä kertomalla positiivisesti muutokseen suhtautuneiden asiakkaiden palautteet henkilöstölle kokeilun aloittamisesta kerto-

vassa tiedotustilaisuudessa. Tällöin kerrotaan koulutusten ajankohdat, joissa kaikilla uudet toimintamallit käyttöönottavilla tulee olla mahdollisuus myös kysymysten esittämiseen. Muutoksen laajuudesta riippuen, ja aina mikäli käyttöönotetaan kokonaan uusia ohjelmia, järjestetään koulutuksista useita toistuvia sessioita, jotka edetessään ovat yhä perehdyttävämpiä.

6.5.6 Palaute ja reaktio

Hyvin suunniteltunakin muutos voi tarvita muutoksen, ennen kuin muutoksen tuloksista saadaan muovattua työyhteisölle sopiva ja toimiva työkalu. Huolellisen valmistelun jälkeen ja siitä huolimatta laajan käyttöönoton yhteydessä voi olla hyödyllistä muokata joitakin toimintoja sujuvamiksi. Onkin tyypillistä, että työntekijöillä on kehitysideoita, joita he eivät tuo julki, ellei niitä kysytä. On siten suositeltavaa pyrkiä jatkuvaan kehittämiseen, toistamalla järjestelmien ja toimintamallien toimivuuteen ja tehokkuuteen liittyviä kyselyjä sopivin määrävälein.



Kuva 10 Jatkuva kehittäminen prosessina (Vartiainen 2021,23)

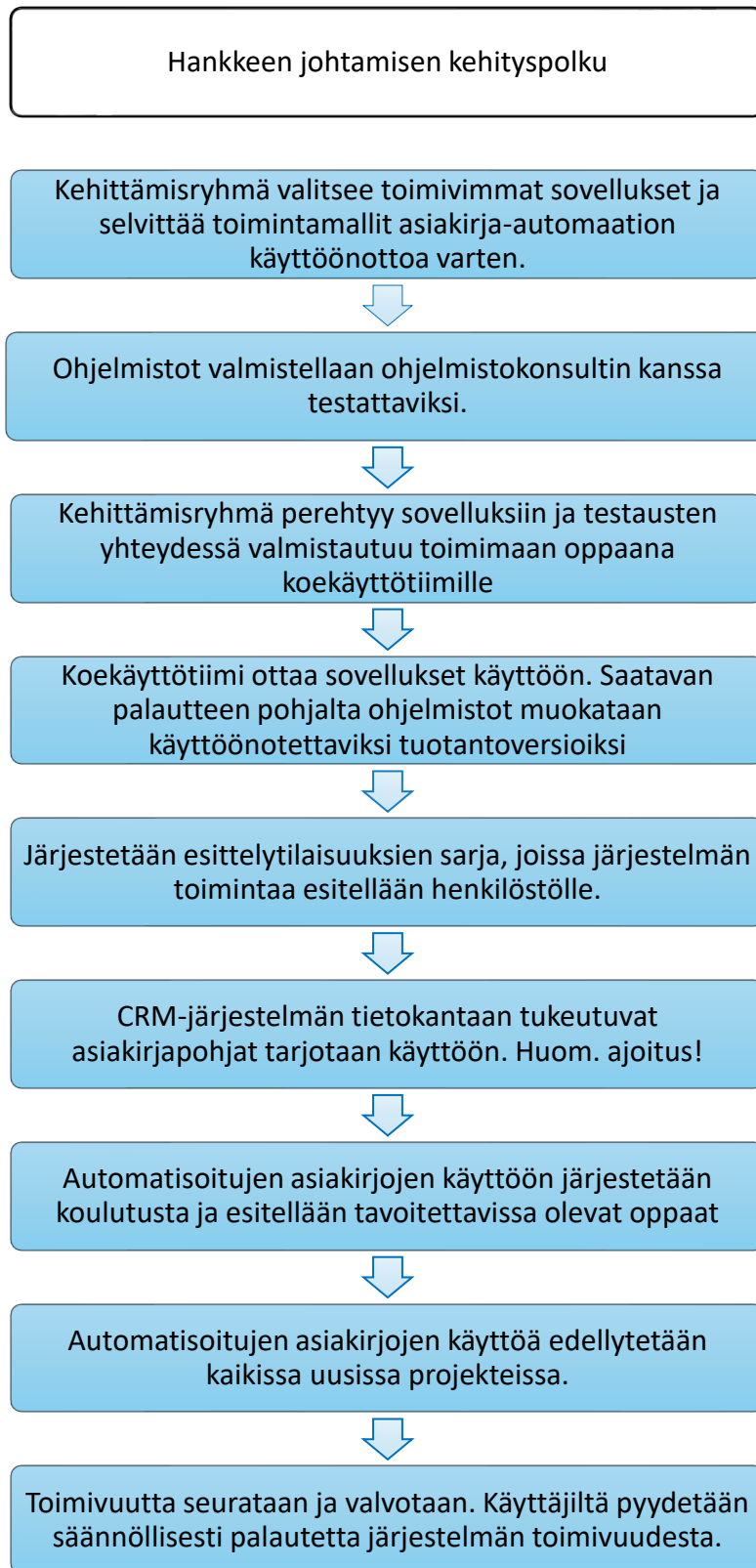
Kokeilukäytön aikana palautteita odotetaan saatavan selvästi enemmän, kuin kokeilujakson jälkeen, kun käyttö alkaa vakiintua. Palautteisiin tulee aina reagoida, ja palautteen antajan tulee saada tieto paitsi palautteen vastaanottamisesta, myös sen käsittelyn alkamisesta. Palautteiden käsittelyn ei tule aina automaattisesti johtaa järjestelmän tai ohjeistettujen toimintatapojen muutokseen, vaan on ensin selvitettävä, aiheutuuko palaute ohjeisiin perehtymättömyydestä tai jostain sellaiseen verrattavasta syystä.

6.5.7 Hankkeen johtaminen

Rakennuttajakonsulttien tehtävien kehittäminen tekoälyavusteiseksi ehdotetaan aloitettavan järjestelmäintegraatiolla. Useimmin toistuvat tehtävät liittyvät yhteystietojen käsittelyyn ja muodoltaan toistuvien kokousten ja palaverien pöytäkirjojen ja muistioiden laatimiseen. Nämä ovat muodoltaan tietokantopohjaisiin ohjelmiin ja tiedonhakuun sellaisenaankin hyvin sopivia tietoja. Niinpä on edullista aluksi varmistaa näissä tehtävissä käytettävien ohjelmistojen keskinäinen yhteensopivuus ja soveltuvuus tietokantapohjaiseen ylläpitoon. Muutosta käynnistettäessä selvitetään nykyisiä toimintamalleja lähinnä olevat yhtenäiset käytännöt mm. yhteystietojen käsittelyssä ja projektien tiedostojen tallennuskansioissa. Alkuvalmistelujen yhteydessä yhtiön projektiohjausmallien ohjeistoja tarkennetaan tarpeen mukaan ja henkilöstöä opastetaan niiden mukaisiin käytäntöihin.

Seuraavaksi viedään kaikki saatavilla olevat asiakkaiden, yhteistyökumppaneiden ja oman henkilöstön yhteystiedot tietokantapohjaiseen CRM-järjestelmään. Asiakirjapohjat tietokantoihin tarkastetaan ja ajantasaistetaan. Näissä tehtävissä on suositeltavaa käyttää apuna ulkopuolista ohjelmistokonsulttia, joka voi samalla rakentaa tarvittavan asiakirja-automaation ja valmistella tietokantojen tekoälyrajapinnat.

Ohjelmistovalmistelun jälkeen kehittämisryhmä testaa omissa työtehtävissään uusia ja muokattuja ohjelmia ja rakennettua automaatiota. Vasta näiden saavutettua riittävän toimivuuden ja käytettävyyden, laajennetaan järjestelmien testausta ottamalla koekäyttötiimi mukaan ohjelmistojen käyttöön. Kun koekäyttötiimin palautteet on koottu ja tarvittavat tarkennukset ohjelmistoihin ja toimintaohjeisiin tehty, voidaan siirtyä laajempaan käyttöönottoon, edellä kuvatulla tavalla. Käytön jälkeen ohjelmistojen toimivuutta ja käytettävyyttä seurataan ja kehitetään tarpeen mukaan.



Kaavio 6 Hankkeen johtamisen kehityspolku

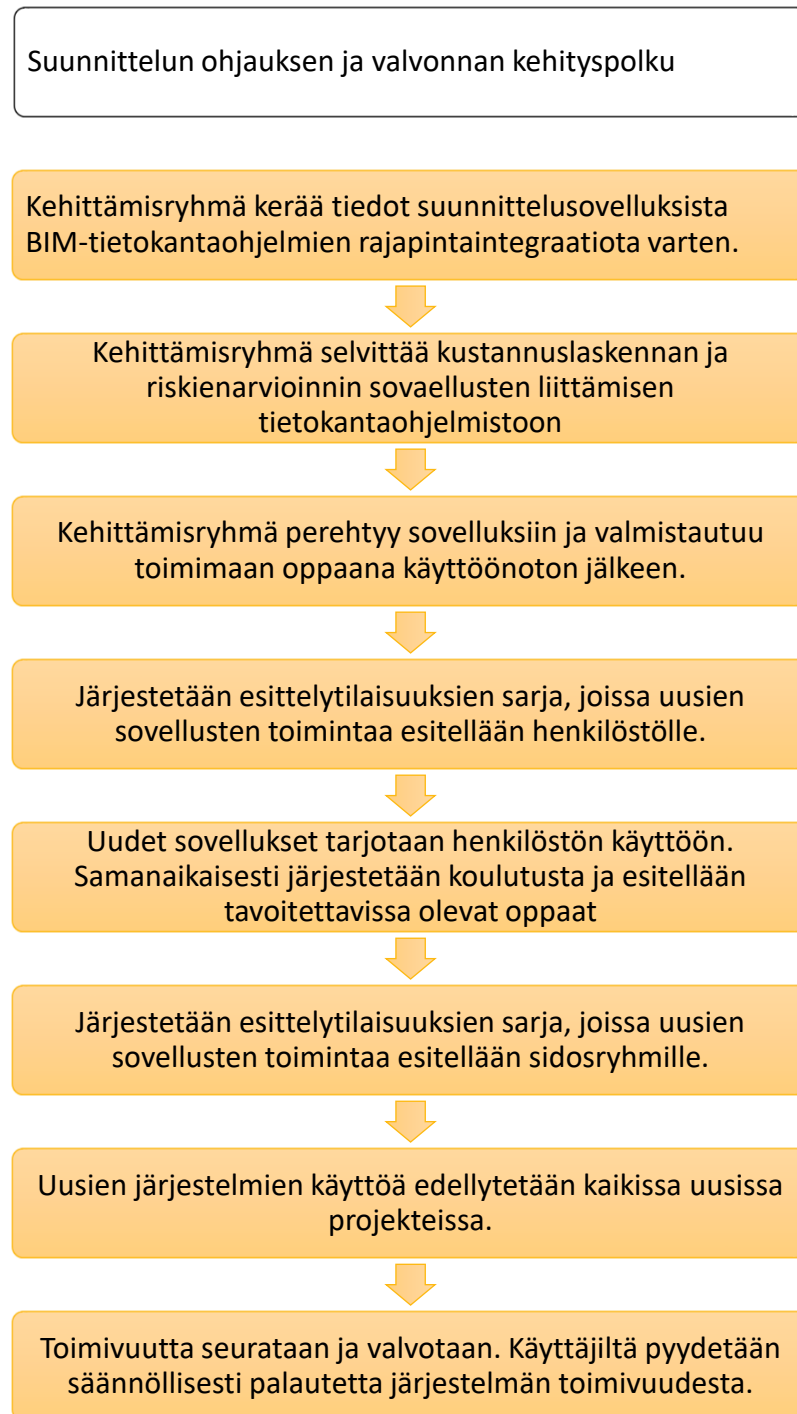
6.5.8 Suunnittelun ohjaus ja valvonta

Suunnittelun ohjauksessa ja valvonnassa valvojien työpanos on merkittävimmissä roolissa, mutta myös projektia johtava rakennuttajakonsultti tuo tähän vaiheeseen runsaasti ohjaavia tietoja. Jo varhaisessa vaiheessa hankesuunnittelua laadittava kustannusarvio voitaisiin perustaa suunnittelussa käytettävään tietomalliin esim. Haahtela TVD -ohjelmistolla, tai tietomalli kustannusraamiin, kuten Ramboll Fenix -ohjelmisto tekee. Ympäristövaikutusten arviointi tehdään ja suunnittelukohteen energialuokka määritetään perinteisesti suunnittelun tuloksista, mutta tekoälyavusteisessa tietomallisuunnittelussa ohjaaja voi antaa nämä lähtötietoina tai tavoitteina suunnittelijoille. Nämä perusratkaisut määrittävät ohjelmistovalintoja, joten nämä kysymykset tulisi ratkaista ennen testattavien ohjelmistojen valintaa.

Suunnittelun aikana perinteisen mallin mukaisesti laaditaan joukko asiakirjoja, kuten urakkaohjelma ja urakkarajaliite. Näiden tietojen paremman käytettävyyden vuoksi ehdotetaan kehitettäväksi mallia, jossa näiden asiakirjojen tiedot vietäisiin suunniteltavaan tietomalliin. Erityisesti työturvallisuuteen liittyvät asiat tulisi välittää tietomallin kautta, jotta ne olisivat kaikkien työmaalla työskentelevien käytettävissä. Sovellusten ominaisuuksien määrittelylle on tärkeää varmistaa yhtiön sopimusjuristilta ja ehkä myös tärkeimmiltä asiakkailta, missä muodossa nämä sopimusten liitetiedot on oltava luovutettavissa.

Digitaalisten kaksosten käyttöönoton yleistyessä tulee henkilöstön valmiuksia parantaa ja asenteita muokata tukemaan tätä teknologista edistystä. Ohjelmistojen valinnassa on varmistettava niiden yhteensopivuus simuloiviin malleihin, tai vähintään riittävien liitántärajapintojen olemassaolo kehittyviin mallinnusohjelmistoihin.

Suunnittelun yhteydessä tuotettava metadata on tärkeä kehityksen voimavara seuraavia hankkeita varten. Siksi hankkeiden tiedot ja tiedontallennustavat tulee riittävästi yhtenäistää ja tallentaa esim. pilvipalvelun yhteiskäyttöiseen tietovarastoon.



Kaavio 7 Suunnittelun ohjauksen ja valvonnan kehityspolku

6.5.9 Rakentamisen ohjaus ja valvonta.

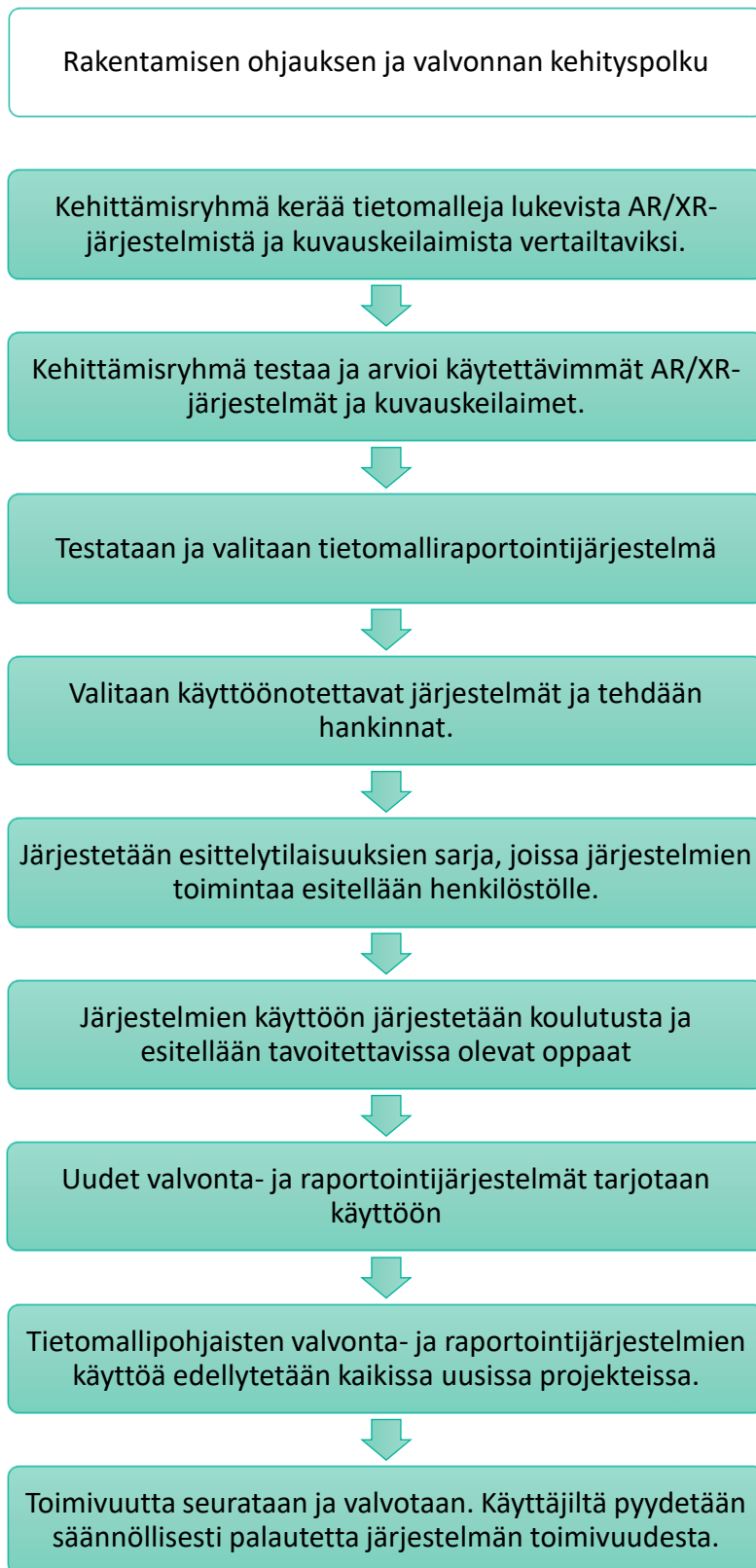
Valvojien keskuudesta ehdotetaan valittavaksi kehittämisryhmä, jonka kanssa yhtiön rakennuttamispalvelujen toimialan johto kävisi sarjan dialogisia keskusteluja, joissa pohdittaisiin rakentamisen ohjaus- ja valvontatehtävien tarkoitusta ja merkitystä, asiakkaalle tuotettavan lisäarvon ja viranomaisvaatimusten näkökulmista. Keskusteluista saatavien tulosten perusteella tulisi seuraavaksi asettaa yhteiset kehityksen päämäärät ja tavoitteet.

Avoimena ideariihenä voitaisiin pohtia keinoja näiden tavoitteiden ja päämääriin saavuttamiseksi tarvittavista ja mahdollisista toteutusmalleista ja keinoista. Pohdinnassa olisi hyvä olla mukana myös muiden alojen ihmisiä, tuomassa keskusteluun ulkopuolisen havaitsemia näkökulmia ja ideoita. Ideariihien tulisi keskittyä nykyisistä toimintamalleista poikkeaviin, mutta mainitun mukaisesti asiakkaalle sekä rakentamisessa, että kiinteistönpidossa lisäarvoa tuottaviin toimintatapoihin.

Toimialan johdon kanssa käydyistä keskusteluista saatuihin päämääriin, ja ideariihissä valittuihin toimintamalleihin, ehdotetaan kehittämisryhmän seuraavaksi kartoittavan markkinoilta saatavilla olevia ratkaisuja, rakentamisen ohjaus- ja valvontatehtävien teknisiksi apuvälineiksi. Kun kokeiltavaksi soveltuvat järjestelmät ja laitteistot on valittu, tulisi kehittämisryhmän ryhtyä koekäyttämään ja testaamaan heidän käyttöönsä hankittavia apuvälineitä. Tällaisina mahdollisina apuvälineinä nähdään tämän tutkimuksellisen kehittämistyön perusteella ainakin tietomalleja lukevat yhdistetyn ja laajennetun todellisuuden (MR/XR) kypärämonitorit. Lisäksi ehdotetaan kokeiluun hankittavaksi valokuvaavia laserkeilaimia ja negatiiviseen tietomallivertailuun kykenevä ohjelmisto.

Mikäli valokuvaavalla laserkeilaimella saavutetaan hyviä tuloksia, tulisi tarkastella ainakin kauempana yhtiön toimipisteistä sijaitsevien isompien kohteiden automatisoitua tiedonkeruuta, esimerkiksi työmaata mittaavan ja kuvaavan robottikoiran avulla.

BIM-tietomallin mukaisuuden ja rakennustyön aikataulun toteutumisen seuranta voidaan siis tehdä sekä lisätyn todellisuuden välineillä, että automaattisesti kerättävillä tiedoilla. Teknisiä järjestelmiä ja menetelmiä tärkeämpää kuitenkin on varmistaa asiakkaan kokema arvonlisä, sekä huomioida työmaahenkilöstön kanssa käytävien keskustelujen ja valvojan henkilökohtaisen kohtaamisen mahdollisuuden merkitys työmaan ilmapiiriin ja rakennustyön tulosten laatuun.



Kaavio 8 Rakentamisen ohjauksen ja valvonnan kehityspolku

7 Pohdinta

7.1 Keskeisten tulosten tarkastelu suhteessa tavoitteisiin

Tehtävän määrittelyssä keskeisimmäksi kysymykseksi nostettiin, voitaisiinko tekoälyn avulla säävuttaa etua, jonka kasvattaisi tilaajayrityksen markkinoilta saatavaa tulosta. Tehtävää tarkennettiin määrittämään tilaajayrityksen rakennuttamisen liiketoimintalinjalle kehityspolku, jota seuraamalla tekoälyavusteiset teknologiat voitaisiin saada parantamaan tuloksentekeykyä. Tähän tavoitteeseen päästiin, vaikkakaan tämän tutkimuksellisen kehitystyön tuloksista ei vielä voida päätellä, kuinka paljon ja millä tarkastelujaksolla tulosta voitaisiin parantaa.

Kyselytutkimuksen vastausten sekä nykytilaa kartoittavien kirjallisuuslähteiden, ja tämän tutkimuksellisen kehitystyön tulosten välillä on selkeästi havaittavissa potentiaalinen toimintamallien kehittämisen mahdollisuus. Saaduista tuloksista kuvastuu myös alan toimijoiden lujaan juurtuneet käsitykset asianmukaisiksi koetuista toimintatavoista, jotka ovat osin melko vanhakantaisia. Samalla kyselytutkimuksen ja haastattelujen vastauksista havaitaan toiveikkuus paremmasta huomisesta, joka kuitenkin erikoisella tavalla sammuu arkisessa kiireessä turhautumiseen ja oletettuun lisärasitteeseen, joka uusien toimintamallien opettelusta arvellaan työpäivään aiheutuvan. Toimintakulttuurisiin asenneasioihin onkin jatkokehityksen yhteydessä hyvä kiinnittää huomiota.

Tätä opinnäytetyötä käynnistettäessä oli tavoitteena koota WSP Finland Oy:lle opinnäytetöitä tekevästä ryhmä, joka olisi jakanut eri tehtäväkenttien tarkastelun ja kehitysvaiheet lohkoihin. Näin olisi päästy huomattavasti laajempaan ja syvempään kokonaisuuteen. Ryhmä jäi kuitenkin kokoomatta, henkilöstössä ja organisaatiossa tapahtuneiden vaihdosten vuoksi. Ryhmän puuttuessa tämä kehitystyö pyrittiin rakentamaan rungoksi, josta seuraavat opinnäytetöiden tekijät voivat eri osa-alueiden tutkimusta ja kehitystä jatkaa.

Kyselytutkimuksen jakelua laajentamalla vastaajia olisi voitu saada enemmän, jolloin vastauksia olisi voitu arvioida tilastollisina tietoina. Kyselytutkimuksen vastaanottajien seulonta erityisesti muualla kuin Suomessa sijaitsevista yksiköistä ei ollut aivan ongelmatonta, eri kielten ja kulttuurien vaikuttaessa samankaltaista työtä tekevien ihmisten tehtävänimikkeisiin ja sijoittumiseen organisaatiossa. Kyselyn vastausvaiheessa ilmeni myös yhtiön tiukan tietoturvallisuuspolitiikan

ohjeistuksesta johtuvaa arkuutta vastata sähköpostikyselyyn. Tämä olisi jälkikäteen ajateltuna ollut vältettävissä, lähettämällä tieto kyselystä sähköpostin lisäksi yhtiön sisäisen viestintäkanavan kautta kyselyn vastaanottajille ja heidän esimiehilleen.

7.2 Eettisyys

Tekoäly ja sen sovellukset herättävät usein ihmisissä pelkoa (Laakkonen 2021, 126), kuten Kuutti on Laakkosen toimittamassa informaatioteknologian filosofiaa, etiikkaa ja digitalisoituvaa yhteiskuntaa koskevassa kirjassa todennut (Laakkonen 2021, 120–138). Keskustellessani tästä kehitystyöstä alan toimijoiden kanssa huomasin useamman kerran tuon pelon läsnäolon. Ihmiset pelkäävät tekoälyn vievän heidän työnsä. Työ ja sen tekemisen tavat voivat muuttua, mutta ihmisten välinen kanssakäyminen ja sosiaaliset tarpeet ovat kuitenkin oleellinen osa rakennuttamista. Niinpä rakennuttajatehtävät oletettavasti kehittyvätkin mekaanisista toimista enemmän dialogisen kanssakäymisen suuntaan.

7.3 Johtopäätökset ja kehittämisehdotukset

Rakennusala elää voimakkaan murroksen aikakautta, jolloin kaikki alan toimijat ovat enemmän tai vähemmän markkinoiden ja kehityksen turbulentissa disruptiossa. Digitalisaation ja myöhemmin robotiikan muuttaessa rakennusteollisuuden toimintaympäristöä, olisi tärkeää ymmärtää, ettei kilpailutilanne markkinoilla tarkoita, eikä saa tarkoittaa vihollisuutta, vaan ennemminkin kilvoittelua parhaiden toimintamallien esiin nostamiseksi. Yhteisenä päämääränä tulisi ainakin alan johtavilla toimijoilla olla yhteinen visio digitalisaation viitoittamasta polusta, jonka seuraavana pysyvämpänä etappina on yhteensopivilla tietomalleilla johdettu kannattava ja tuottoisa rakennusteollisuus. Jotta tämänkaltaiseen päämäärään päästäisiin olisi tarpeen syventää rakennusalan toimijoiden yhteistoimintaa, esimerkiksi kiertävien seminaaripäivien järjestämisen avulla. Näissä yhteisissä rakennusteollisuuden yritysten vuorottain vetämissä työpajoissa olisi hyvä olla edustettuna myös alan koulutuksen tarjoajat: ammattikorkeakoulut ja yliopistot. Näin kehitystä voitaisiin opponoida ja kehityksen tuloksia saattaa myös ohjeistusten ja lainsäädännön kehityksen tavoitteiksi.

Haastattelujen ja löydetyn tuoreen lähdeaineiston perusteella voidaan arvioida rakennuttamisen toimialan käyttöön soveltuvien teknisten apuvälineiden ja ohjelmistojen nopea kehittyminen. Useat alan toimijat ovat jo tehneet investointeja ohjelmistoihin ja teknisten apuvälineidenkin

käyttö on voimakkaasti yleistymässä. Tämänkaltainen kehitys on muilla elinkeinoelämän sektoreilla yleensä johtanut teknologian hintojen laskuun, jota havaintoa voitaneen hyödyntää, kun harkitaan askelmerkkejä nyt viitoitetulla kehityspolulla.

Työn tekemisen tapoja ja välineitä voidaan kehittää harppauksin, tai pienin askelin. Jälkimmäisessä tapauksessa voisi olla mielenkiintoista vertailla mm. eri työmaavalvontaan käytettäviä sovelluksia. Haastattelujen yhteydessä ilmeni, että Kanadassa WSP:n projektipäälliköt käyttävät Bluebeam ja BIM360 -ohjelmistoja, kun taas Suomessa WSP:n käytössä on Congrid ja Solibri. Yhteistyökumppaneilla käytössä on näitä mainittuja, ja osalla näiden tilalla BimTasks -sovellus.

Tulevina tutkimus- ja kehitysaiheina ehdotetaan selvitettäväksi tämän tutkimuksellisen kehitystyön toteuttamisen aikana selvittämättä jääneiksi, epämääräisiksi tai keskeneräisiksi havaittuja osa-alueita, seuraavasti:

- Rakennusyritysten tuotanto- ja hankintaosaamisen kytkentä suunnittelunaikaisiin tietomalleihin.
- Kulttuuristen vaikutusten osuus kehittyneiden teknologioiden hyödyntämisen hitauteen rakennusteollisuuden eri toimialoilla.
- Laajennetun todellisuuden käyttö- ja näyttölaitteiden suhde rakennustyöturvallisuusvarusteista annettuihin määräyksiin.
- Robotiikan hyödyntäminen rakennuskohteissa (ks. Vaheri 2020).

Lähteet

Paperilomakkeista dataa keräviin robotteihin – rakentamisen tilannekuva digitalisoituu, 8.2.2021. 2021. Aalto-yliopiston uutiskirje 8.2.2021. Aalto-yliopisto. Viitattu 12.2.2023. www.aalto.fi/fi/uutiset/paperilomakkeista-dataa-keraviin-robotteihin-rakentamisen-tilannekuva-digitalisoituu

Rakentamisessa laatuhavainnot ovat oppimisen käyttämätön voimavara, 15.3.2021. 2021. Aalto-yliopiston uutiskirje 15.3.2021. Aalto-yliopisto. Viitattu 12.2.2023. www.aalto.fi/fi/uutiset/rakentamisessa-laatuhavainnot-ovat-oppimisen-kayttamaton-voimavara

Abioye S.O., Oyedele L.O., Akanbi L, Ajayi A, Delgado J.M.D., Bilal M, Akinade O.O., Ahmed A. 2021. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering* 2021, 44, 1-13. Viitattu 16.10.2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221011578/pdf>

Ahonen A., Ali-Yrkkö J., Avela A., Junnonen J-M., Kulvik M., Kuusi T., Mäkäpäinen K., Puhto J. 2020. Rakennusalan kilpailukyky ja rakentamisen laatu Suomessa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020, 24. Viitattu 6.1.2023. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-926-4>

Alshihri, S., Al-Gahtani, K., Almohsen, A. 2022. Risk Factors That Lead to Time and Cost Overruns of Building Projects in Saudi Arabia. *Buildings* 2022, 12, 902. Viitattu 11.3.2023. <https://doi.org/10.3390/buildings12070902>

Asunmaa S. 2019. Esimiestyötä kehittämällä kohti uudistuvaa yrityskulttuuria. Lahden ammattikorkeakoulu. Viitattu 6.3.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019110120543>

Aziz R,F., Hafez S.M., Abuel-Magd Y.R. 2014. Smart optimization for mega construction projects using artificial intelligence. *Alexandria Engineer Journal*. 53, 3, 591-606. Alexandria. Viitattu 25.10.2022. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2014.05.003>

Eber W. 2019. Artificial Intelligence in Construction Management – a Perspective. *Proceedings of the Creative Construction Conference 2019*, 030, 205–212. Viitattu 31.10.2022. <https://doi.org/10.3311/CCC2019-030>

Egwim C.N., Alaka H., Toriola-Coker L.O., Balogun H., Sunmola F. 2021. Applied artificial intelligence for predicting construction projects delay. *Machine Learning with Applications*, Volume 6, 2021, Article 100166. Viitattu 16.10.2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666827021000839/pdf>

Etelälahti S. 2021. Datanhallinta tekoälyn näkökulmasta – opas organisaation kyvykkyyden arviointiin. Osatutkimus, Turun yliopisto, AIGA-hanke. Haaga-Helia ammattikorkeakoulu. Viitattu 2.2.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021111520294>

Haahtela. 2023. TVD Real estate simulation model. Haahtela TVD -verkkosivu ja video. Viitattu 22.2.2023. <https://haahtelatvd.com/kuinka-se-toimii/>

- Haapanen M. 2022. Tietomallintamisen rooli rakennushankkeen kustannushallinnassa. Tampereen yliopisto. Viitattu 12.2.2023. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/144319/Haapanen-Mikko.pdf>
- Heinäjärvi M. 2021. Tekoälyn hyödyntäminen rakennusteollisuuden tietomalleissa. Tampereen yliopisto. Viitattu 12.2.2023. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/133962/Hein%C3%A4j%C3%A4rviMaria.pdf>
- Hooda Y., Kuhar P., Sharma K., Verma N.K. 2021. Emerging Applications of Artificial Intelligence in Structural Engineering and Construction Industry. Journal of Physics 2021, Viitattu 23.10.2022. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1950/1/012062/pdf>
- Huurre A. Mitä rakennuttaminen on? 2021. Vahanen Blogi. Viitattu 2.11.2022. <https://blog.vahanen.com/mita-rakennuttaminen-on>
- Hyyryläinen M. 2014. Suorituskyvyn mittaaminen rakennusteollisuudessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 30.3.2023. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/95716/DI20140319.pdf>
- Juhola V. 2021. Robottikoira Spot demokierroksella OOPSin työmaalla. Blogi. Trimble Finland verkkosivusto. Viitattu 7.11.2022. <https://fi.trimble-finland-office.com/post/robottikoira-spot-demokierroksella-oopsin-työmaalla>
- Kainulainen L. 2023. Fenix tuo rakennesuunnittelun tulevaisuuden tähän päivään. Verkkosivun teksti ja video. Ramboll. Viitattu 22.2.2023. <https://c.ramboll.com/fi/fenix-by-ramboll>
- Kankainen J., Junnonen J-M. 2001. Rakennuttaminen. Helsinki. Rakennustieto Oy. ISBN 951-682-631-8
- Kortman A. 2021. Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen palveluprosessien kehittämisessä. Lappeenrannan yliopisto. Viitattu 17.1.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021052431344>
- L 132/1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki. Finlex. Viitattu 25.10.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>
- Laakkonen M. 2021. Informaatioteknologian filosofia, etiikka ja digitalisoitunut yhteiskunta. Jyväskylän yliopisto. Yhteiskuntatieteiden ja filosofian laitos. Viitattu 11.2.2023. https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/78647/SoPhi_146_JYX.pdf
- Laine J. 2022. Rakennusvaiheen digitaalinen kaksosen. Diplomityö. Building technology. Aalto-yliopisto. Viitattu 14.1.2023. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202210165897>
- Laine M. 2018. Suorituskykymittariston suunnitteleminen rakennuttamisorganisaatioon. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 17.1.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2018083034330>
- Leica Geosystems. 2022. Rakentamisen digitalisaatio. Järjestelmäesite. Hexagon. Leica Geosystems AG, 9435 Heerbrugg, Switzerland. 2022.

Leica Geosystems. 2023. Autonominen Leica BLK ARC -laserskannausmoduuli. Verkkosivu. Viitattu 30.3.2023. <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/laser-scanners/autonomous-reality-capture/blk-arc>

Liesaho, T. 2017. Tuotantotoiminnan tehokkuus tilauksesta suunnittelun strategiassa. Pro gradu - tutkielma. Teknillinen tiedekunta. Vaasan yliopisto. Viitattu 13.10.2022. https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/2700/osuva_7507.pdf

Liu S., Chang R., Zuo J., Webber R.J., Xiong F., Dong N. 2021. Application of Artificial Neural Networks in Construction Management: Current Status and Future Directions. Applied Sciences 11, 20, 9616, 1–19. Viitattu 31.10.2022. <https://doi.org/10.3390/app11209616>

Lönnroth S. 2012. Itseohjautuvan tiimin jaettu johtajuus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 24.9.2022. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/77354/Kandidaatintutkielma_Solja%20L%C3%B6nnroth_Itseohjautuvan%20tiimin%20jaettu%20johtajuus.pdf

Makaula S., Munsamy M., Telukdarie A. Impact of Artificial Intelligence in South African Construction Project Management Industry. University of Johannesburg. Seminaarijulkaisu The International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Viitattu 21.3.2023. <http://www.ieomsociety.org/brazil2020/papers/48.pdf>

Manzoor B., Othman I., Durdyev S., Ismail S., Wahab M.H. 2021. Influence of Artificial Intelligence in Civil Engineering toward Sustainable Development—A Systematic Literature Review. Applied System Innovation 2021, 4. MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute). Viitattu 23.10.2022. <https://www.mdpi.com/2571-5577/4/3/52/pdf>

Markkanen L. 2010. Ihmisyys johtamisessa - dialoginen lähestymistapa ja sen merkitys muutostilanteessa. Itä-Suomen yliopisto Viitattu 1.12.2021. https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/10103/urn_nbn_fi_uef-20110077.pdf

Mikkola V. Rakennushankkeen mallintaminen rakennetussa ympäristössä. 2021. LAB-ammattikorkeakoulu. Viitattu 25.10.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202103223652>

Mäki T., Kerosuo H., Koskenvesa A. 2018. Tää on ollut meille kyllä tosi tuskasta... Tarinoita rakennusalan muutoshankkeista. Mittaviiva Oy. Viitattu 2.11.2022. <https://oma.tsr.fi/api/projects/f8f04ef6-3ec9-4343-b9e2-dbd318937769/attachment/a04a4335-7173-4ef8-add9-31b5d3021cce>

Northouse P. 2016. Leadership: Theory and practice. SAGE Publications Inc. ISBN 978-1-4833-1753-3

Okraglik H. 2022. Digital Twins. Snack & Learn Webinar. Case studies. WSP Digital. Viitattu 6.1.2023. WSP Ltd. Internal release.

Opoku D.-G. J., Perera S., Osei-Kyei R., Rashidi M., Bamdad K., Famakinwa T. 2022. Barriers to the Adoption of Digital Twin in the Construction Industry. Informatics 2023, 10. Viitattu 11.2.2023. <https://doi.org/10.3390/informatics10010014>

- Partanen T. 2022. Laajennetun todellisuuden hyödyntäminen työmaaturvallisudessa. Tampereen yliopisto. Viitattu 18.3.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202206085572>
- Patil G. 2019. Applications of Artificial Intelligence in Construction Management. International Journal of Research in Engineering 9, 3, 21–28. Viitattu 1.11.2022. http://indus-edu.org/pdfs/IJREISS/IJREISS_2876_17490.pdf
- Peltokorpi A., Lehtovaara J., Tikka T., Heinonen H. & Hänninen O. 2022. Uusien toimintamallien jalkauttaminen rakentamisessa. Aalto-yliopisto. Viitattu 12.2.2023. https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2022-02/Building2030-Toimintatapojen-muutos-loppuraportti-2022-02-03_0.pdf
- Peltokorpi A., Nygvist R., Chauhan K. & Ghassemi A. 2023. Teollinen ja digitalisoitu korjausrakentaminen. Aalto-yliopisto. Viitattu 12.2.2023. https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2023-01/B2030-Korjausrakentaminen_loppuraportti_3.1.2023.pdf
- Pihlajamaa S. 2018. Yhteistoiminnallisten urakkamuotojen tuomat hyödyt ja haasteet rakennuttamisessa Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 31.3.2023. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/25899/Pihlajamaa.pdf>
- Pohjonen T. 2022. Digitaalisen kaksosen tuottama lisäarvo teollisen pk-yrityksen tehdas- ja prosessisuunnittelussa. Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö. Vaasan yliopisto. Viitattu 14.1.2023. https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/14262/Gradu_v0_6_2_Pohjonen.pdf
- Pokki H. 2020. Projektinjohtourakan talousjohtamisprosessin kehittäminen. Tampereen yliopisto. Viitattu 11.2.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202105034325>
- Prisching D. 2021. Laatupankin mahdollisuudet rakentamisen oppimisessa ja jatkuvassa parantamisessa. Aalto-yliopisto. Viitattu 26.3.2023. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2021121910883>
- Pylkkänen T. 2018. IoT (Internet-of-Things) – teknologian hyödyntäminen rakennuksien paloturvallisuuden kehityksessä ja integroidussa älykkäässä ympäristössä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 19.3.2023. <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/156628>
- Ramboll. Muuta näkemykset todeksi. Ramboll visualisointi-palvelut -verkkosivusto. Viitattu 22.2.2023. www.visu.ramboll.fi
- Ronkainen M. 2015. Toteutusmuodon valinta kiinteistö- ja rakennushankkeissa. Diplomityö. Teknillinen tiedekunta. Oulun yliopisto. Viitattu 6.1.2023. <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201601201061.pdf>
- RT 10-11222. 2016. Talonrakennushankkeen kulku. Rakennustietokortisto. Rakennustietosäätiö. Rakennustieto Oy.
- RT 10-11284. 2017. Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo HJR18. Rakennustietokortisto. Rakennustietosäätiö. Rakennustieto Oy.

- Sacks R., Girolami M. & Brilakis I. 2020. Building Information Modelling, Artificial Intelligence and Construction Tech. Developments in the Built Environment 2020, 4. Viitattu 12.2.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165920300077>
- Salminen V., 2016. Suunnitteluprosessin johtamisen kehittäminen sairaalarakennushankkeessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 13.10.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201612154866>
- Seppänen O., Lappalainen E., Lehtovaara J., Reinbold A., Aikala A., Zheng Y. 2022. Visuaalinen johtaminen ja tilannekuvan käyttö. Building 2030 loppuraportti. Aalto-yliopisto. Viitattu 12.2.2023. https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2022-04/Building2030-visuaalinen-johtaminen-ja-tilannekuvan-kaytto_0.pdf
- Seppänen O., Valkonen T. & Ibrahim H.A. 2022b. Esivalmistusta tukeva suunnitteluautomaatio. Aalto-yliopisto. Viitattu 12.2.2023. <https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2022-12/Building2030-suunnitteluautomaatio-loppuraportti-2022-12-01.pdf>
- Srivastava S. 2022. AI in Construction – How Artificial Intelligence is Paving the Way for Smart Construction. Appinventiv Ltd. Viitattu 26.10.2022. <https://appinventiv.com/blog/ai-in-construction/>
- Stenius A. 2022. Rakennustoimialan toimintaympäristö ja johtaminen muutoksessa. Oulun ammattikorkeakoulu. Viitattu 14.9.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022062248735>
- Suomi J., 2017. Motivointi aineettomilla palkitsemiskeinoilla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 24.3.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201708188155>
- Su S., Zhong R.Y., Jiang Y. 2022. Digital twin and its applications in the construction industry. Digital Twin 2022, 12.10.2022. Taylor & Francis. Viitattu 5.2.2023. <https://doi.org/10.12688/digitaltwin.17664.1>
- Teräväinen V. 2021. Rakennusyrityksen organisaatiokulttuuri ja sen merkitys rakentamisen tehokkuuteen. Väitöskirja. Rakennetun ympäristön tiedekunta. Tampereen yliopisto. Viitattu 13.10.2022. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-1892-5>
- Tontti M. 2020. Virtuaalinen kiinteistö Granlund Managerissa. Metropolia ammattikorkeakoulu. Viitattu 14.1.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020112524310>
- Tuomi S. RE-AIM malli arviointityökaluna. 2020. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 5.5.2022. <https://panopto.jamk.fi/Panopto/Pages/Viewer.aspx?id=45abfbca-9454-4d85-840a-ac5e013443ad>
- Tuovinen K. 2019. Tekoälyn avulla digiloikasta tuottavuusloikkaan. YAMK opinnäytetyö Savonia-ammattikorkeakoulu. Viitattu 26.10.2022. <https://www.theseus.fi/handle/10024/160940>
- Tykkä H. 2016. Lisää dialogia raksalle. Helsingin yliopisto. Viitattu 2.11.2022. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-201701251193>

Xu H., Chang R., Pan M., Li H., Liu S., Webber R.J., Zuo J., Dong, N. 2022. Application of Artificial Neural Networks in Construction Management: A Scientometric Review. Buildings 2022, 12, 952. Viitattu 1.11.2022. <https://doi.org/10.3390/buildings12070952>

XYZ Reality. 2023. What is Engineering Grade Augmented Reality?. XYZ Reality Ltd. Insights -blogi 10.3.2023. Viitattu 17.3.2023. <https://www.xyzreality.com/resources/what-is-engineering-grade-augmented-reality?>

Vaheri M., 2020. Robotiikan hyödyntäminen rakennustyömaalla. Tampereen yliopisto. Viitattu 19.3.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202001101175>

Vartiainen A. 2021. Organisaation digikyvykkyyden selvittäminen ja digivalmiuksien kehittäminen. Karelia ammattikorkeakoulu. Viitattu 22.3.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/501154/Vartiainen_Asko_2021_05_31.pdf

Venäläinen V., 2014. Työn mielekkyyttä ja hallintaa tukevat tekijät Otavan Opistossa. Jyväskylän yliopisto. Viitattu 24.3.2023. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ju-201405021611>

Virolainen T. 2015. Rakennushankkeen valvonnan organisointi, johtaminen ja valvonnan uudet työkalut. Aalto yliopisto. https://www.aaltopro.fi/media/aalto-pro-publications/raps/raps37_projektityo_violainen.pdf

Haastattelut

Hirva Janne 2023. Senior Business Manager. Efima Oy. Haastattelu 14.2.2023.

Joala Vahour 2022. Market Segment Manager. Leica Geosystems Oy. Haastattelu 4.10.2022.

Liitteet

Liite 1. Rakennuttamisen ja valvonnan digitalisaation tila - Kyselytutkimus

Kysymykset

- 1) Mitä sähköisiä apuvälineitä tai ohjelmistoja käytätte:
 - a) Rakennuttajakonsulttitehtävissä
 - b) Suunnittelunohjaustehtävissä
 - c) Rakentamisen valvontatehtävissä
- 2) Onko joissakin mainitsemisianne sähköisissä apuvälineissä tai ohjelmistoissa tekoälypohjaisia automaattisia toimintoja? Kuvaillkaa näitä toimintoja, olkaa hyvä.
- 3) Mitkä toistuvat osatehtävät näkisitte hyödyllisiksi kokonaan tai osittain automatisoida? Voisitteko tarkastella asiaa seuraavien kolmen tehtäväkokonaisuuden kautta:
 - a) Rakennuttajakonsulttitehtävät
 - b) Suunnittelunohjaustehtävät
 - c) Rakentamisen valvontatehtävät
- 4) Miten työmaavalvontadata voitaisiin mielestänne tehokkaimmin kerätä ja jakaa?
- 5) Miten kerättyä dataa voitaisiin mielestänne tehokkaimmin verrata hankkeen tietomalliin?
- 6) Millaisessa muodossa tieto tulisi mielestänne kerätä ja esittää, parhaan hyödyn tarjoamiseksi projektien eri osapuolille?

Liite 2. The state of digitization of construction and supervision - Survey

The questions

- 1) What electric aid devices or software do you use:
 - a) In constructor supervision's positions
 - b) In controlling tasks of designing
 - c) In supervision tasks of constructing
- 2) Are there automatic artificial intelligence-based functions in the electronic aid devices or software you mentioned? Please describe these functions.
- 3) Which repetitive tasks would you consider useful to automate fully or partially? Could you look at the issue through the following three sets of tasks:
 - a) In constructor supervision's positions
 - b) In controlling tasks of designing
 - c) In supervision tasks of constructing
- 4) In your opinion, how could site monitoring data be most efficiently collected and distributed?
- 5) In your opinion, how could the collected data be compared to the project's information model most effectively?
- 6) In what form do you think the information should be collected and presented, in order to provide the best benefit to the different parties of the projects?

Liite 3. iAsk AI: Digitaalinen kaksonen rakennusteollisuudessa

Ask AI Questions - Free AI Search Engine

Question Search

Kirjoita lyhyt tieteellinen artikkeli aiheesta Digitaalinen kaksonen rakennusteollisuudessa



Reset

iAsk AI

Digitaalinen kaksonen, eli digital twin, on virtuaalinen malli fyysisestä kohteesta tai järjestelmästä. Rakennusteollisuudessa digitaalinen kaksonen tarkoittaa rakennuksen tai rakennusprojektin digitaalista kaksosta, joka mahdollistaa projektin suunnittelun, toteutuksen ja ylläpidon optimoinnin.

Digitaalinen kaksonen rakennusteollisuudessa koostuu kolmesta osasta: fyysisestä rakennuksesta, sen digitaalisesta kaksosesta ja niiden välisestä yhteydestä. Digitaalinen kaksonen voi sisältää kaiken tiedon rakennuksen suunnittelusta, toteutuksesta ja ylläpidosta, mukaan lukien materiaalit, laitteet, sähköjärjestelmät ja ilmastointi.

Digitaalisen kaksosen avulla rakennusteollisuus voi optimoida projektien suunnittelua ja toteutusta. Digitaalisen kaksosen avulla voidaan havaita mahdolliset ongelmat ennen kuin ne aiheuttavat merkittäviä kustannuksia tai viivästyksiä. Lisäksi digitaalinen kaksonen mahdollistaa eri skenaarioiden testaamisen ja vertailun ennen lopullisten päätösten tekemistä.

Digitaalinen kaksonen voi myös parantaa rakennusten ylläpitoa. Rakennuksen digitaalinen kaksonen mahdollistaa reaaliaikaisen seurannan ja analyysin, jolloin mahdolliset ongelmat voidaan havaita ja korjata nopeasti. Lisäksi digitaalinen kaksonen mahdollistaa ennakoivan ylläpidon, jolloin huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa ennen kuin ongelmat ilmenevät.

Digitaalinen kaksonen on jo käytössä useissa rakennusprojekteissa ympäri maailmaa. Esimerkiksi Kiinassa Shanghai Tower -rakennuksen suunnittelussa käytettiin digitaalista kaksosta. Suomessa Helsingin kaupunki on aloittanut projektin, jossa rakennusten digitaalisia kaksosia käytetään kaupungin energiatehokkuuden parantamiseen.

Digitaalinen kaksonen on siis tärkeä työkalu rakennusteollisuudelle projektien suunnittelussa, toteutuksessa ja ylläpidossa. Sen avulla voidaan optimoida rakennusprojektien kustannuksia ja aikatauluja sekä parantaa rakennusten ylläpitoa ja energiatehokkuutta.

Top 3 Authoritative Reference Publications or URLs:

1. "Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication" by Michael Grieves
2. "Digital Twins in Construction: A State-of-the-Art Review" by Rami Haddad and Farook Hamzeh
3. "Digital Twins: Benefits, Challenges, and Opportunities for Industry 4.0" by Zhiqiang Chen and Michael Khonsari