

Building 2030: Visuaalinen johtaminen ja tilanne- kuvan käyttö

Loppuraportti

Kirjoittajat:

Aalto-yliopiston tutkijat: Olli Seppänen, Eelon Lappalainen, Joonas Lehtovaara, Ana Reinbold, Antti Aikala, Yuan Zheng

Aalto-yliopiston opiskelijat: Jami Kajander, Emma Maliniemi, Aku Hänninen



Aalto-yliopiston Rakennustekniikan laitoksen Building 2030 tutkimuskonsortion jäsenet tutkimusvuonna olivat: A-Insinöörit, Amplit, Fluent Progress, Fira, Granlund, Haahtela, Jatke, Lujatalo, Parma, Pohjola Rakennus, Ramboll, Rejlers, Rakennusliike U. Lipsanen, Ramirent, Skanska, SRV, Stark, Tocoman, Trimble, Vastuu Group ja YIT.

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	3
1.1	Tutkimuksen tausta.....	3
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja menetelmät	3
2	Visuaalinen johtaminen.....	5
2.1	Mitä on visuaalinen johtaminen?	5
2.2	Visuaalinen johtaminen tahtituotantohankkeessa – case Lippulaiva.....	5
3	Tilannekuva suunnittelussa.....	11
3.1	Taustaa	11
3.2	Suunnittelun johtamisessa tehtävät päätökset	11
3.3	Nykyhetken tilannekuva	12
3.4	Suunnittelun tilannekuvan vaatimukset jatkossa	15
4	Tuotannon tilannekuva	20
4.1	Taustaa	20
4.2	Tuotannossa tehtävät päätökset	21
4.3	Tilannetiedon keruutavat.....	24
4.4	Tilannekuvatiedon mahdollisuudet työvaiheiden analyysissä	28
4.5	Tilannekuvan saavuttaminen tietoja yhdistelemällä – ontologioiden rooli	33
4.6	Tilannekuvan mahdollisuudet prosessien analyysissä.....	35
4.7	Työmaan päätöksentekoa tukevan tilannekuvan vaatimukset	39
5	Yhteenveto ja johtopäätökset	42
5.1	Miten visuaalinen tiedon jakaminen kaikille projektin työntekijöille vaikuttaa tuloksiin?	42
5.2	Minkälaiset visuaalisen johtamisen työkalut mahdollistavat työntekijän tilannetietoisuuden hajautetussa tahtituotannossa?	42
5.3	Suunnittelujohtajan päätökset ja niihin liittyvä digitaalinen tilannekuva	43
5.4	Työmaan päätökset ja niiden digitaalinen tuki	43
	Lähdeluettelo	45

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Edellisen vuoden Building 2030 -tutkimushankkeessa ”Hajautettu työnsuunnittelu” tunnistettiin työryhmien olennainen merkitys työnsuunnittelussa. Hankkeen aikana selvisi, että kansainvälisissä tahtikohteissa visuaalinen ohjaus työntekijätasolle oli huomattavasti pidemmällä kuin Suomessa ja sitä pidettiin tahtituotannon onnistumisen edellytyksenä. Toisaalta Suomessa oltiin yhtä pitkällä tai jopa pidemmällä digitaalisen tilannekuvan saavuttamisessa työmaalla. Tilannekuvan hyödyntäminen päätöksenteossa on kuitenkin yksittäisten hankkeiden kiinnostuksesta kiinni.

Konsortion ohjausryhmä valitsi rahoitettavaksi sekä visuaaliseen johtamiseen että tilannekuvan liittyvät tutkimukset. Koska teemoilla havaittiin selkeä yhteys, hankkeet päätettiin yhdistää yhdeksi hankkeeksi. Molempia teemoja päätettiin tutkia nimenomaan tahtituotannon näkökulmasta, jotta aiempien vuosien tuloksia voitaisiin täydentää uudella tiedolla. Tähän oli hyvät edellytykset, koska tahtituotanto oli hankkeen alkuun mennessä jo yleistynyt Suomessa ja tahtituotantoa soveltavia hankkeita oli saatavilla tutkimuskohteiksi. Lisäksi tutkittiin tilannekuvaa suunnittelun johtamisen näkökulmasta.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja menetelmät

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia ja kehittää menetelmiä asentajien visuaaliseen johtamiseen ja tilannekuvan hyödyntämiseen päätöksenteossa. Hankkeessa pyrittiin ymmärtämään visuaalisen johtamisen merkitys tuottavuusongelman ratkaisussa ja selvittää parhaita käytäntöjä visuaalisen johtamisen käyttöönottoon rakennushankkeissa. Tilannekuvan osalta haluttiin ymmärtää päätöksentekoa suunnittelussa ja tuotannossa ja selvittää, miten päätöksentekoa voidaan kehittää tilannekuvateknologian avulla.

Tutkimuksen ensimmäinen osa keskittyy tahtituotannon tulosten parantamiseen visuaalisella johtamisella. Tutkimuskysymykset olivat:

- **Miten visuaalinen tiedon jakaminen kaikille projektin työntekijöille vaikuttaa tuloksiin?**
- **Minkälaiset visuaalisen johtamisen työkalut mahdollistavat työntekijän tilannetietoisuuden hajautetussa tahtituotannossa?**

Tutkimusmenetelmäksi valikoitui työmaatestit Skanskan Lippulaivan työmaalla. Testattavat toimenpiteet määriteltiin aiemman tutkimuksen ja kansainvälisten parhaiden käytäntöjen perusteella. Aallon tohtorikoulutettava Ana Reinbold tekee väitöskirjaansa visuaalisesta ohjauksesta ja hän oli avainroolissa testattavien menetelmien määrittelyssä.

Hankkeessa tutkittiin tilannekuvaa päätöksenteon näkökulmasta. Tavoitteena oli selvittää päätöksentekoa suunnittelujohtajan, vastaavan työnjohtajan ja työnjohtajan näkökulmasta. Kukin roolin osalta pyrittiin vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

- **Mitkä ovat tärkeimmät rooliin liittyvät päätökset?**
- **Mihin tietoon päätökset perinteisesti pohjautuvat?**
- **Mitä tilannetietoa voidaan tuottaa digitaalisesti em. päätöksiin liittyen?**
- **Mitä vaikutuksia digitaalisella tilannetiedolla olisi päätöksentekoon?**

Tutkittava kokonaisuus oli varsin laaja, joten sitä lähestyttiin useilla eri tavoilla. Päätöksiä selvitettiin tohtorikoulutettavien ja diplomityöntekijöiden tekemillä haastatteluilla. Tilannekuvan käyttöä selvitettiin työpajoilla sekä case-tutkimuksilla, joissa tutustuttiin hankkeisiin, joissa tilannekuvateknologiaa oli käytössä. Mukaan analyysihin päätyi kaksi tuotantovaiheen hanketta ja kaksi suunnitteluvaiheen hanketta. Lisäksi tilannekuvaa ja sen vaikutuksia arvioitiin jatkuvasti hankkeen työryhmän työpajoissa. Lisäksi selvitettiin robottitekniikan valmiutta kerätä tilannekuvatietoa automaattisesti.

2 Visuaalinen johtaminen

2.1 Mitä on visuaalinen johtaminen?

Visuaalinen johtaminen on tiedon käyttöä visuaalisesti siten, että tehtävää suorittava henkilö näkee tehtävän kannalta tärkeää tietoa yhdellä silmäyksellä ja voi välittömästi hyödyntää tietoa tehtävän suorittamisessa (Greif 1991). Visuaalisen johtamisen tavoitteena on muuttaa työn tekemistä siten, että siitä tulee itsestään järjestyvää ja itsensä selittävää (Galsworth 1997). Visuaalisen johtamisen hyödyntäminen rakentamisessa voisi lisätä tuotannon läpinäkyvyyttä ja mahdollistaa hukatun ajan ja häiriöiden paremman tunnistamisen (Formoso ym. 2002). Visuaalinen johtaminen on erittäin tärkeä osa lean-ajattelua (Koskela ym., 2018).

Rakentamisessa visuaalista johtamista voitaisiin käyttää vaatimusten selvittämiseen työntekijöille ja kertomaan, kenen pitäisi tehdä mitä ja milloin. Tavoitteena on, että jokainen työmaan henkilö tietää, mitä pitäisi tehdä, mitä työmaalla on meneillään ja miten yksilön työsuoritus vaikuttaa projektin tavoitteisiin. Tämä voi edistää asentajien motivaatiota ja mahdollistaa jatkuvat kehittämisen, kun työryhmät ovat itseohjautuvampia ja ennakoivat ongelmia (Reinbold ym., 2020).

2.2 Visuaalinen johtaminen tahtituotantohankkeessa – case Lippulaiva

2.2.1 Johdanto

Kiinnostus tutkia tarkemmin työntekijätasolle asti ulottuvaa visuaalista johtamista tahtituotannon kontekstissa on herännyt usean edellisvuosien Building2030-tutkimushankkeen pohjalta. Esimerkiksi hukka- ja hajautettu työsuunnittelu -hankkeiden yhteydessä toteutetuissa case-tutkimuksissa visuaalinen johtaminen tunnistettiin yhdeksi potentiaalisista toimenpiteistä yhteisen tilannekuvan ja tätä myöten koko tahtiohjauksen parantamiseksi. Viitteitä tahtituotannon ja visuaalisen johtamisen yhdistämisen tärkeydestä on havaittu erityisesti korkean kypsyystason tahtihankkeissa (Lehtovaara ym. 2020), jossa tahtituotannon koko potentiaali halutaan ulosmitata. Yhteinen tilannekuva läpi koko tuotantoketjun on keskeistä tahtituotannon onnistumisen kannalta.

Viitteitä visuaalisen johtamisen tärkeydestä tahtiohjauksessa, sekä näiden välisestä synergiasta, on havaittu myös kansainvälisesti. Esimerkiksi Schöttle ja Nesensohn (2019) huomasivat tahtituotannon keskeisten haasteiden johtuvan erityisesti tuotannon tilanteen yhteisen ymmärryksen puutteesta. Yhteistä ymmärrystä olisi voitu tukea visuaalisen johtamisen keinoin. Tahtituotannon on havaittu myös toisaalta tukevan tehokasta visuaalista johtamista, koska se lisää yleistä tuotannon läpinäkyvyyttä ja ennustettavuutta sekä vähentää kommunikaatiokatkoksia (Frandsen ja Tommelein 2014).

Potentiaalistaan ja kasvavasta kiinnostuksesta huolimatta visuaalisen johtamisen työkaluja, niiden hyötyjä tai hyödyntämisen esteitä ei ole kuitenkaan toistaiseksi tutkittu tarkemmin tahtiohjausten yhteydessä. Käytännössä suomalaisilta työmailta ei juuri löydy asentajatasolta visuaalista ohjausta lukuun ottamatta työturvallisuuteen liittyviä asioita. Tämän tutkimusaukon ja käytännön haasteen pohjalta tässä osahankkeessa pyrittiin vastaamaan seuraavaan tutkimuskysymykseen: *Miten visuaalisen johtamien työkalut voivat tukea tahtiohjausta, ja erityisesti ohjauksen läpinäkyvyyttä sekä työntekijöiden sitouttamista?*

2.2.2 Case-hankkeen sekä tutkimuksen toteutuksen kuvaus

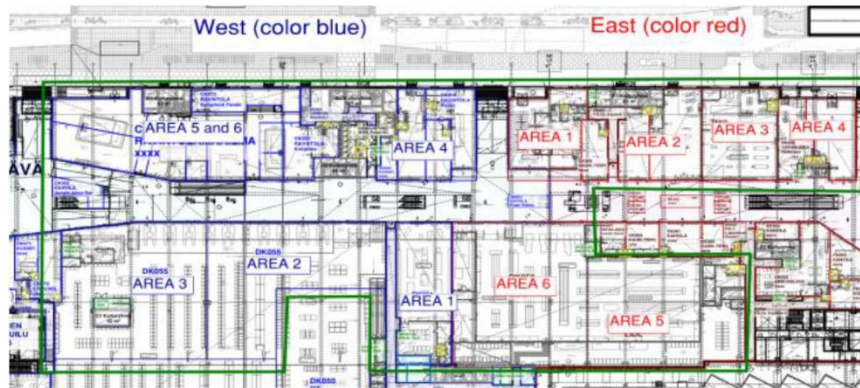
Tässä esitetyn case-hankkeen tulokset on raportoitu myös IGLC-konferenssijulkaisussa (Grönvall ym. 2021) sekä Eero Väisäsen (2021) erikoistyössä.

Visuaalista ohjausta testattiin case-hankkeessa. Hankkeeksi valikoitui Lippulaiva, Espoonlahden metroaseman yhteyteen rakennettava kauppakeskus, jonka pääurakoitsijana ja tahtituotannon koordinoijana toimii Skanska. Tahtituotantoa hyödynnettiin hankkeen sisävaiheessa, ja tahtisuunnittelu toteutettiin yhteistoiminnallisesti urakoitsijoiden kanssa. Suunnittelun pohjana toimi yhteensä yhdeksän tahtisuunnittelutyöpajaa. Sisävaiheen alkupuoli, johon visuaalisen johtamisen case-tutkimus keskittyi, käsitti pääasiassa talotekniset runkotyöt sekä väliseinätyöt. Tämän vaiheen tahtiajaksi määriteltiin viisi päivää. Tavoitteena oli pienentää eräkökoja ja lyhentää tahtiaikaa sisävaiheen loppuosassa.

Aluksi visuaalisen johtamisen työkalut kehitettiin ja niistä kerättiin alustavaa palautetta (palautte Building 2030 -työryhmistä, tutkimusryhmän ja Skanskan väliset keskustelut, kirjallisuuskatsaus, sekä työmaalla tehdyt esihaastattelut), jonka jälkeen niitä testattiin hankkeessa keräten samalla palautetta niiden toimivuudesta. Työkalut on esitetty tarkemmin seuraavassa luvussa. Työkalujen käyttöönotto toteutettiin alkuvuodesta 2021, ja dataa kerättiin yhteensä 8 viikon ajan. Käyttöönottoa tarkasteltiin ja siitä kerättiin palautetta pääosin työmaalla toteutetuissa työmaahenkilöstön haastatteluissa (yhteensä 36 haastattelua), joissa tarkasteltiin sekä tahtituotannon yleistä toimivuutta että visuaalisen johtamisen työkalujen toimivuutta ja vaikutusta työntekoon. Lisäksi työkalujen toimivuutta tarkasteltiin jatkuvan havainnoinnin sekä tahtiaikataulun toteumatietojen pohjalta.

2.2.3 Testatut työkalut ja niiden toimivuus

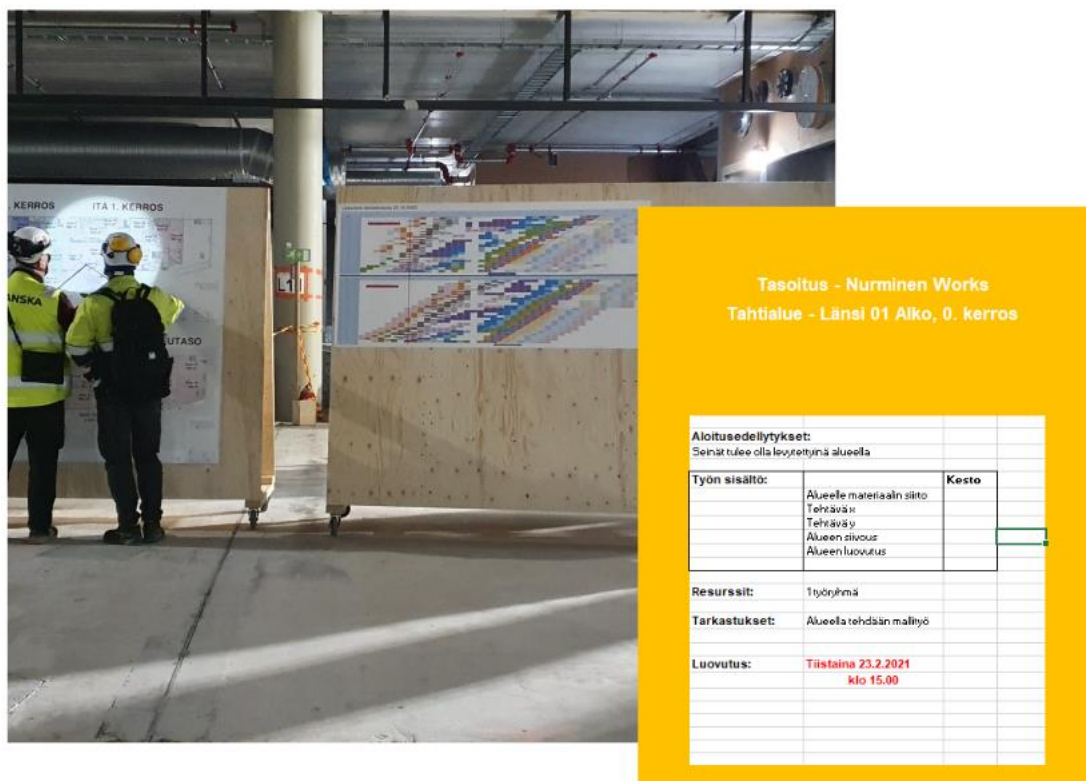
Case-hankkeessa testattiin yhteensä neljää visuaalisen johtamisen työkalua: 1) tahtiaikataulun sekä tahtialuejaon visualisointi työmaatauluilla, 2) tahtikortit, 3) tahtialuerajauksen fyysisen visualisointi, ja 4) työryhmien värikoodaus. Työkalut otettiin käyttöön länsipuolen (West) tahtialueilla 1-6, jonka lisäksi vertailudataa kerättiin vastaavalta viereiseltä itäpuolen (East) alueelta (kuva 1).



Kuva 1: Tahtialuejako ja visuaalisen johtamisen työkalujen testausalueet (Grönvall ym. 2021)

Tahtiaikataulut ja –aluejaot työmaalla: työmaataulut ("takt boards")

Työmaataulut (kuva 2 vasemmalla) sijaitsivat tahtialueiden lähistöllä sekä työmaakopeissa. Ne esittivät sekä tahtiaikataulun että tahtialuejaon. Alustavan palautteen pohjalta työmaatauluihin lisättiin myös aluevastaavien ja työnjohtajien yhteystiedot sekä jokaisen urakoitsijan 3-viikkoisaikataulut, joita päivitettiin viikoittain. Työmaataulut saivat haastatelluilta urakoitsijoiden edustajilta pääosin positiivista palautetta, ja ne nähtiin yhtenä tehokkaimmista työkaluista tahtiaikataulun havainnollistamiseen, koska ne olivat selkeitä ja helposti ymmärrettäviä. Erityisesti 3-viikkoisaikataulu oli urakoitsijoiden mielestä hyödyllinen. Työmaataulut olivat myös toimiva kohtaamispaikka, jossa voitiin tehdä töiden yhteensovitus ja ongelmanratkaisua, mikä tuki samalla tehokasta tahtiohjausta. Työmaatauluja hyödynsivät sekä työnjohto että työntekijät. Toisaalta osa haastateltavista koki, että aikataulujen ymmärtäminen ei välttämättä ole kaikille työntekijöille kovin tärkeitä. Erityisesti tämä näkemys korostui työntekijöillä, jotka olivat tottuneet saamaan aikatauluun liittyvät päätökset suoraan nokkamieheltä tai työnjohdolta.



Kuva 2: Työmaataulu ja tahtikortti

Tahtikortit

Tahtikorttien (kuva 2 oikealla) tarkoituksena oli esittää tahtivaunukohtainen tehtäväsuunnitelma, josta käy ilmi työn aloitusedellytykset, vaunun sisältämät työt ja niiden kesto, vaadittavat resurssit, tehtävät tarkastukset sekä luovutusaikataulu. Kortit sijoiteltiin tahtialueiden yhteyteen ennen työn aloitusta, ja niitä siirrettiin alueelta toiselle tahtiajan rytmissä. Tahtikortit pohjautuivat ajatukseen Kanban-korttien hyödyntämisestä ja aikaisemmassa vaiheessa tehtyihin tehtäväsuunnitelmiin. Palautteen pohjalta kortin tietoja yksinkertaistettiin (esimerkiksi keskimääräinen työtehoarvio jätettiin kortista pois, koska tätä ei nähty päivittäistyössä tärkeäksi tiedoksi) ja niiden yhteyteen lisättiin 3-viikkoisaikataulu, samalla kun niiden kokoa kasvatettiin ja visuaalista selkeyttä parannettiin.

Vaikka tahtikortit koettiin ajatuksen tasolla hyväksi tavaksi visualisoida tahtivaunujen työkokonaisuutta työmaalla, käytännössä korttien hyödyt jakoivat mielipiteitä. Kortit koettiin työntekijätasolla toisaalta aluksi liian monimutkaisiksi, ja toisaalta varsinkin yksinkertaisissa työvaiheissa niiden tuoma informaatiohyöty jäi alhaiseksi. Myös tahtikorttien viikoittainen päivitys koettiin työnjohdon puolesta työlääksi suhteessa niistä saatuihin hyötyihin, erityisesti kun kohteiden tahtialueet eivät olleet toistuvia. Jos tahtikorttien tieto ei ole ajantasaista, niiden hyödynnettävyys sekä samalla luottamus niiden sisältämään tietoon laskee. Selkeys, helppo havaittavuus, tehokas sijoittelu tahtialueiden ympäristössä, ajantasaisuus, sekä yksinkertaisuus nähtiin edellytyksiksi tahtikorttien tehokkaalle hyödyntämiselle. Haastateltavat toivat esiin myös sen, että kortissa tarvittava hyödyllisin informaatio voi vaihdella alueittain, urakoitsijoittain tai jopa työntekijöittäin, jolloin niiden sisältämään informaation tulee kiinnittää jatkuvasti tarkkaa

huomiota. Korttien potentiaali nähtiin lisäksi mahdollisesti suuremmaksi sisävaiheen viimeistelyosuudessa, jossa tahtivaunut vaativat laajempaa yhteensovitusta ja ne sisältävät mahdollisesti enemmän eri urakoitsijoita.

Tahtialueiden rajaukset työmaalla

Tahtialueet pyrittiin merkitsemään työmaalla selkeästi sekä opastinkyltein että rajausmerkinkein. Alueilla, joilla väliseinätyöt oli jo tehty (rajaten selkeästi tahtialueita), merkitseminen oli suhteellisen suoraviivaista, mutta isoissa avoimissa tiloissa alueiden rajojen havainnollistaminen koettiin osittain puutteelliseksi. Kokonaisuudessaan tahtialueiden rajaus (sekä niiden yhteydessä esitetyt tahtikortit) koettiin haastateltavien kesken erittäin hyödylliseksi tavaksi havainnollistaa työn alla olevaa kokonaisuutta. Ne ohjasivat työntekijöitä työskentelemään oikealla alueella sekä tahtialueen rajojen sisällä. Tulevaisuudessa erityistä huomiota tulisi kiinnittää laajojen, usean tahtialueen tilojen visualisoinnin selkeyteen.

Värikoodaus

Värikoodaus toimi muita visuaalisen johtamisen työkaluja tukevana menetelmänä, jossa yritysten vaatetusten värimaailma pyrittiin havainnollistamaan yhtenäisenä myös tahtiaikalussa sekä tahtikorteissa. Tämä koettiin helpoksi ja yksinkertaiseksi, mutta samalla erittäin toimivaksi tavaksi visualisoida työn etenemää sekä aikataulussa että konkreettisesti työmaalla. Toisaalta haastateltavat huomauttivat, että eri värien merkitys tulisi tuoda ehdottoman yksiselitteisesti esille kaikille. Esimerkiksi sähköurakoitsijan vihreä värikoodaus aiheutti paikoitain hämmennystä siitä, onko kyseessä valmiiksi merkitty työ vai sähköurakoitsijan tahtivaunu.

2.2.4 Yleiset havainnot testauksesta

Vaikka testauksessa havaittiinkin paljon kehityskohteita, kokonaisuutena käyttöön otettujen visuaalisen johtamisen työkalujen koettiin jo nykyiselläänkin tukevan tahtiohjausta. Haastatellut työntekijät kokivat visuaaliset työkalut pääosin hyödylliseksi, ja yleisesti oltiin sitä mieltä, että visuaalisia työkaluja tulisi hyödyntää jatkossa kasvavassa määrin. Yleisesti tahtituotannon kokonaisuus koettiin kokonaisuutena helpommin hahmotettavaksi kuin ”perinteinen” tuotanto. Lisäksi pääurakoitsijan edustajat huomauttivat, että kaikki tarvittava tieto visuaaliseen johtamiseen oli jo ennestään luotu tahtisuunnittelun aikana, eikä visuaalisten työkalujen hyödyntäminen sinänsä vaatinut uuden tiedon luomista.

Työt etenivät hieman nopeammin (10%) alueilla, joilla visuaaliset työkalut olivat käytössä. Koronaviruksesta johtuneiden häiriöiden vuoksi suoria johtopäätöksiä työkalujen vaikutuksesta aikatauluun ei kuitenkaan voida johtaa. Merkittävänä huomiona visuaaliset työkalut miellettiin selkeästi hyödyllisemmäksi silloin kuin työn noudattivat hyvin aikataulua. Sitä vastoin, työn jäädessä jälkeen aikataulusta, visuaalisten työkalujen tuottama tieto ei ollut paikoin ajantasaista, mikä samalla laski luottamusta työkalujen hyödyntämiseen. Tämä kuvastaa välittömän reagoinnin tarvetta tilanteissa, joissa aikatauluun tulee viivästyksiä. Mikäli ohjaustoimenpiteitä

ei tehdä ajallaan ja aikataulua päivitetä jatkuvasti, ajautuu tuotanto helposti reaktiiviseen tilaan, jossa tilannekuva puuttuu ja tuotannonohjaus ei ole enää systemaattista.

Vaikka työkaluja on yllä olevassa luvussa tarkasteltu yksittäin, on yksittäisten hyötyjen lisäksi tärkeää kiinnittää huomiota eri työkalujen kokonaisuuteen sekä niiden toisilleen tarjoamaan synergiaan. Työkalut eivät saisi tuntua toisistaan irrallisilta, vaan niiden tulisi tukea toisiaan, tarjoten kokonaisuutena ajantasaista tietoa oikeaan aikaan ja oikeaan tarpeeseen. Yllä esitettyjen yksittäisten havaintojen lisäksi, yleisinä mahdollistajina visuaaliselle johtamiselle nähtiin erityisesti työkalujen tarpeeksi aikainen, yhteistoiminnallinen käyttöönotto ja jatkuva koulutuksen tarve sekä yleinen kulttuurin muutos visuaalisten työkalujen hyödyntämisessä.

Työkalujen aikainen käyttöönotto sekä niiden kehitys saadun palautteen pohjalta nähtiin erittäin suurena onnistumisen mahdollistajana. Kun työkalut suunnitellaan ja niiden käyttö valmistellaan työntekijöiden tarpeet huomioiden, saadaan niistä enemmän hyötyä. Vaikka yhteistoiminnallinen kehitys toi hyötyjä case-hankkeessa, tulisi jatkossa yrittää päästä tasolle, jossa työkalut koetaan keskeiseksi onnistumisen mahdollistajaksi. Lisäksi työkalut voitaisiin suunnitella jo tahtisuunnitteluvaiheessa, jolloin niiden käyttö voitaisiin kytkeä konkreettisemmin aikataulunhallintaan. Käyttöönotossa olennaista on järjestelmällinen työkalujen perehdytys koko työmaahenkilöstölle hankkeen alusta loppuun. Oman rajoituksensa case-hankkeessa toivat testauksen aloitus keskellä hanketta sekä datankeruujakson verrattain lyhyt kesto, ja voidaan olettaa, että jos tulevaisuudessa työkalujen käyttöönotto aloitetaan aikaisemmin ja järjestelmällisemmin, myös hyödyt ovat suuremmat.

Pidemmällä aikavälillä kulttuurin muutos työmaan päätöksenteossa nähtiin keskeisenä mahdollistajana tehokkaammalle visuaalisesti johdetulle tahtituotannolle. Ajattelutapa, jossa työntekijät vain toteuttavat työnjohdon heille antamia tehtäviä määrättyssä aikataulussa, ei tue alhaalta ylös tapahtuvaa jatkuvaa kehitystä, mikä on lean-ajattelun ja korkean kehitystason tahtituotannon keskiössä. Jos työntekijöiden päätäntävaltaa ja itseohjautuvuutta saataisiin lisättyä, voitaisiin ongelmiin reagoida ja tuotantoa jatkuvasti kehittää huomattavasti tehokkaammin. Tämän mahdollistaisi tehokas visuaalisten työkalujen hyödyntäminen, joka ulottuu työntekijätasolle asti (esim. Reinbold ym. 2020). Tämä muutos vaatii pitkäjänteistä työtä, mutta on usein nähty esimerkiksi tehdasympäristössä keskeiseksi tekijäksi tuottavuuden pitkän aikavälin parantamisen kannalta.

2.2.5 Johtopäätökset

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että tahtituotanto hyötyy visuaalisen johtamisen työkaluista. Vaikka tahtituotanto ja visuaalinen johtaminen selvästi tukevat toisiaan, vaatii näiden toimiva yhteispeli kuitenkin pitkäjänteistä työtä. Erityistä huomiota onkin kiinnitettävä työkalujen helppoon havaittavuuteen sekä niiden esittämän tiedon ajantasaisuuteen ja sopivaan yksinkertaisuuteen. Työkalujen käyttöönotto jo hankkeen alkuvaiheessa, yhteistoiminnallinen kehitys, jatkuva koulutus sekä pitkäjänteinen kulttuurin muutos mahdollistavat visuaalisen johtamisen työkalujen täyden potentiaalin saavuttamisen pitkällä aikavälillä.

3 Tilannekuva suunnittelussa

3.1 Taustaa

Tilannekuvaan liittyvää teknologiaa on jo pilotoitu rakennusvaiheessa (mm. sisäpaikannus, 360-kamerat, JIRA) ja tästä syntyi tarve tutkia sitä, miten suunnittelun digitaalinen tilannekuva voisi parantaa suunnittelun johtamista rakennushankkeissa. Tarkoituksena oli lisätä ymmärrystä siitä, miten digitaalinen tilannekuva vaikuttaa suunnittelun johtamiseen rakennusprojekteissa. Suunnittelun digitaalinen tilannekuva määriteltiin tutkimuksen aluksi integroiduksi tietämykseksi suunnitteluprosessista, joka perustuu toistuvaan havainnointiin ja johdonmukaisen kuvan luomiseen näistä havainnoista, ottaen huomioon yksilön rajallinen tietojenkäsittelykapasiteetti (Sarter ja Woods, 1991; Endsley, 1995). Koska tilannekuvamallit toimivat useimmiten päätöksenteon tukena, lähdettiin etsimään vastauksia seuraaviin suunnittelun johtamiseen rajattuihin tutkimuskysymyksiin: 1) Mitkä ovat tärkeimmät suunnittelujohtajan rooliin liittyvät päätökset, 2) mihin tietoon suunnittelujohtajan päätökset perinteisesti pohjautuvat, 3) mitä tilannetietoa voidaan tuottaa digitaalisesti suunnittelujohtajan päätöksiin liittyen ja 4) mitä vaikutuksia digitaalisella tilannetiedolla olisi suunnittelujohtajan päätöksentekoon? Suunnittelujohtajan rooli määriteltiin tutkimuksen alussa siten, että suunnittelujohtaja voi olla suunnittelutyötä johtava pääsuunnittelija, suunnittelunohjaaja, suunnittelutoimiston osastopäällikkö tai suunnittelun projektipäällikkö. Suunnittelujohtaja voi tämän tutkimuksen rajauksessa toimia roolissaan rakennusliikkeen, tilaajan tai suunnittelutoimiston palveluksessa.

Tutkimuskysymyksiin lähdettiin vastaamaan kirjallisuuskatsauksen jälkeen keräämällä tietoa Building 2030-konsortion asiantuntijatyöpajasta sekä suunnittelujohtajien teemahaastattelusta. Asiantuntijatyöpajaan osallistui 27 henkilöä eri yrityksistä ja 9 suunnittelujohtajaa haastateltiin videopuheluilla. Haastatteluhetkellä suunnittelujohtajista neljä toimi suunnittelutoimistojen palveluksessa, kolme rakennuttajakonsulttitoimistojen palveluksessa ja kaksi rakennusliikkeen palveluksessa. Lisäksi perehdyttiin kahden case-hankkeen suunnitteluprosessiin ja arvioitiin niissä aikaan saatua tilannekuvaa tekemällä yksityiskohtaisia juurisyyanalyyssejä liittyen suunnitteluprosessissa havaittuihin ongelmiin.

3.2 Suunnittelun johtamisessa tehtävät päätökset

Asiantuntijatyöpajan ja haastattelujen avulla saatiin selville, että suunnittelun johtamisessa keskeisimmät päätökset liittyvät suunnitteluehdotusten arviointiin ja hyväksyntään, suunnitteluryhmän johtamiseen, suunnittelun tavoitteiden asettamiseen, suunnitteluajakataulujen hyväksyntään ja erilaisten menettelytapojen valintaan. Taulukossa 1 on koottu yhteen työpajan ja haastattelujen kautta kootut suunnittelujohtajan avainpäätökset ja niiden perusteet.

Taulukko 1. Suunnittelujohtajan tärkeimmät päätökset ja päätöksenteon perusteet.

Suunnittelujohtajan tärkeimmät päätökset	Lähde: TP = Asiantuntijatyöpaja SJ1..9 = Suunnittelujohtaja 1...9
Suunnittelu ehdotusten arviointi ja hyväksyntä	TP, SJ2, SJ3, SJ4, SJ6, SJ8, SJ9
Suunnittelutiimin valinta, organisointi ja johtaminen	TP SJ2, SJ3, SJ5, SJ7, SJ9
Suunnittelun tavoitteiden ja odotusten asettaminen	TP, SJ1, SJ6, SJ7
Suunnittelu aikataulujen hyväksyminen	SJ2, SJ5, SJ8
Päätökset suunnittelun laadunhallinnan toiminnoista	TP, SJ5, SJ9
Viestintätavoista päättäminen	TP, SJ9
Suunnitteluprosessin metodit ja työkalut	TP
Päätökset siitä, mitä olemassa olevaa tietoa projektissa käytetään	TP
Suunnittelujohtajan päätöksenteon perusteet	
Suunnittelutiimin ehdotukset	TP, SJ1, SJ2, SJ5, SJ6, SJ8
Kokemus ja koulutus	TP, SJ3, SJ4, SJ5, SJ7, SJ9
Kustannusarvio ja -laskelmat	SJ1, SJ4, SJ5, SJ6, SJ7
Aikataulu	TP, SJ1, SJ5, SJ4, SJ7
Sopimus (tehtävälistat, laajuuden kuvaus, suunnittelun tavoitteet)	TP, SJ4, SJ9
Lähtötiedot	TP, SJ3
Tieto hankkeen aiemmista vaiheista	SJ5, SJ9
Asiakkaan ja sidosryhmien odotukset	TP, SJ5
Hankinta	DM1
Erikoisasiantuntija	DM4
Työmaaorganisaation tiedot työmaalta	DM6
Resurssisuunnitelma	DM7

3.3 Nykyhetken tilannekuva

Päätökset perustuivat haastateltujen mukaan pääosin kokouksissa käsiteltyihin asioihin ja kokouksissa tehtyihin pöytäkirjoihin. Osa haastateltavista piti kokousten avulla kerättyä suunnittelun tilannekuvaa työläänä ja tilannekuvan kerääminen vei paljon aikaa. Päätöksenteon digitalisointi nousi myös esille haastatteluissa, koska päätökset jäivät usein kokousmuistioihin, joista niiden etsiminen pitkän ajan kuluttua on haastavaa.

Digitaalisessa muodossa olivat lähinnä suunnittelu aikataulu ja erilaiset Last Planneriin pohjautuvat sovellukset. Niistä puuttui pääosin automatiikka eli ne perustuivat yleisten järjestelmien päälle. Esimerkiksi suunnittelu aikataulut olivat usein Excelissä ja Last Planner-menetel-

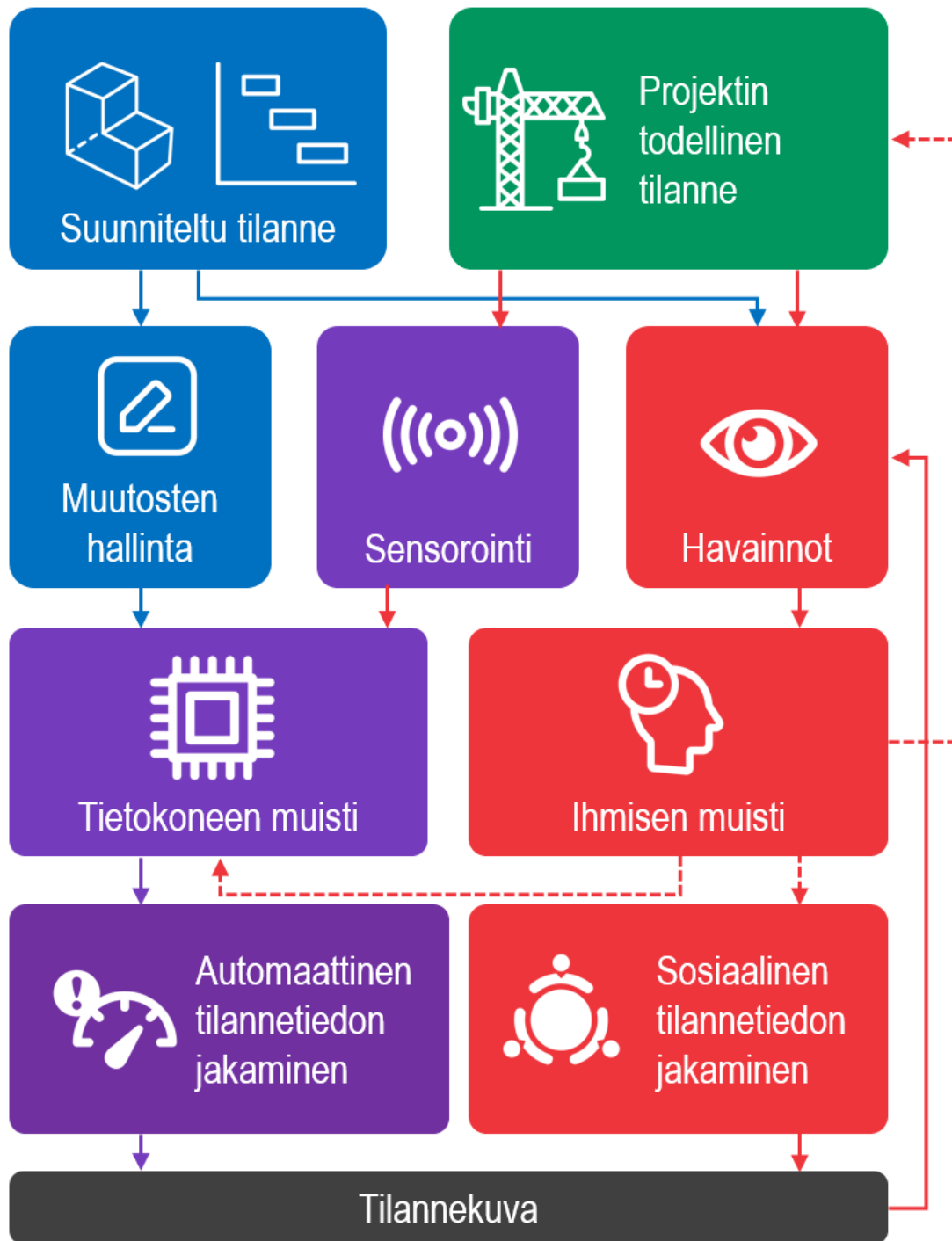
mään ei käytetty tarkoitusta varten kehitettyjä ohjelmistoja, vaan yleisiä ohjelmistoja kuten Mi-roa, Teamsiä tai Smartsheetiä. Järjestelmien päivittäminen oli yksittäisten henkilöiden aktiivi-suuden varassa ja päätöksentekoa varten hyödyllistä tietoa oli työlästä kaivaa datasta.

Suunnitteluongelmien juurisyysanalyysistä kävivät myös ilmi tilannekuvan muodostamisen haasteet. Hankkeen aikana tehtiin neljä juurisyysanalyysiä erilaisiin työmaalla tai hankinnassa havaittuihin ongelmiin liittyen. Ongelmien juurisyys olivat monisyisiä ja muodostivat pitkiä ketjuja (kuva 3). Tilannekuvan kannalta olennainen piirre oli kuitenkin se, että useimmiten on-gelma oli jollakin suunnitteluprosessin osallistujalla tiedossa mutta se pysyi pinnan alla ja vasta jälkikäteen analysoituna huomattiin, että ongelman olisi voinut ehkäistä, jos tieto olisi kulkenut riittävän hyvin (Hänninen 2022). Tyypillisesti erilaisten haasteiden kokonaisvaikutukset eivät ole tekijöiden tiedossa, jolloin yksittäisen suunnittelijan mielestä ”pikkujuttu” voi johtaa mer-kittävään ongelmaan työmaalla.



Kuva 3. Tyypillinen juurisyysanalyysiketju, Hänninen (2022).

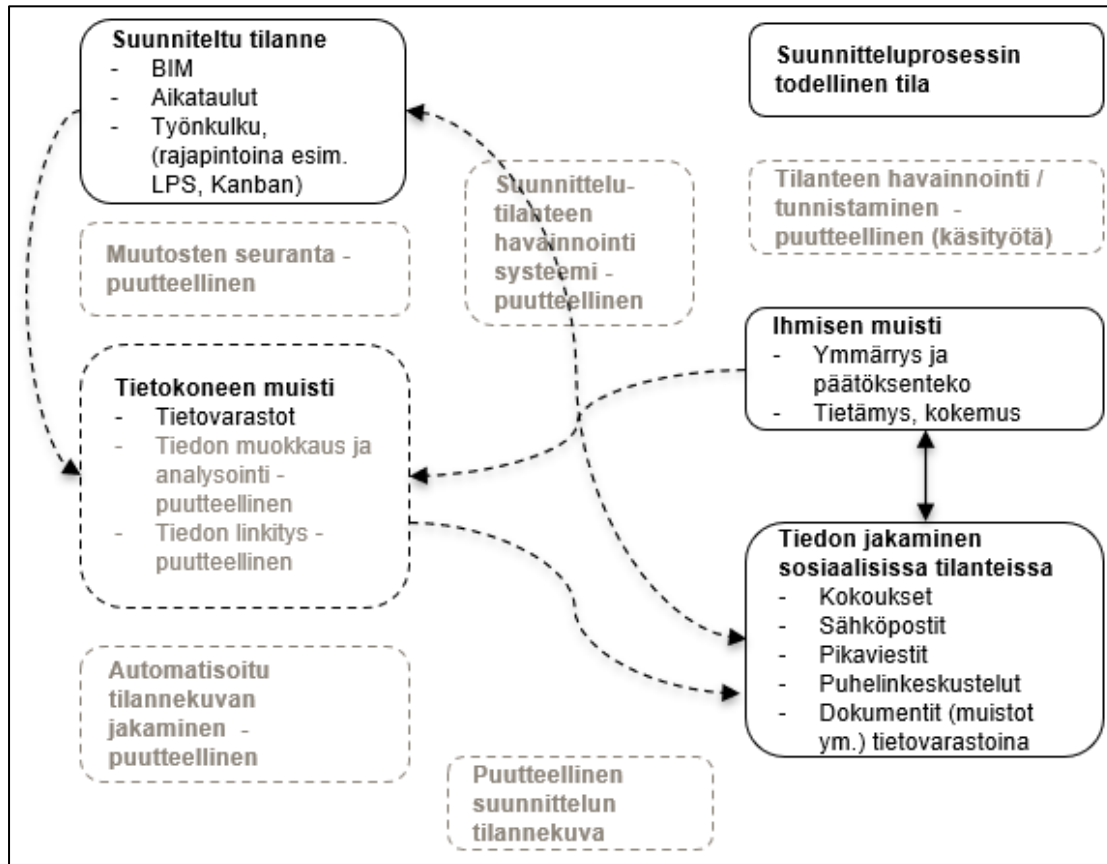
Tuotannon digitaalista tilannekuvaa on Building 2030 -tutkimuksessa aiemmin hahmotettu kuvan 4 mukaisesti. Tilannekuva muodostuu suunnitelmaa ja todellista tilannetta yhdistele-mällä. Perinteisesti todellisesta tilanteesta on tehty havaintoja, joita on sitten tallennettu erilai-siin järjestelmiin tai jaettu kokouksissa. Tuotannossa erilaiset sensorit ja konenäkö ovat mah-dollistamassa automaattisen todellisen tilanteen viennin digitaaliseen muotoon, jolloin tilan-netietoa voidaan jakaa automaattisesti.



Kuva 4. Tuotannon tilannekuva. Mukailtu (Kärkkäinen ym. 2019).

Tutkimuksemme mukaan suunnittelussa ei kuitenkaan vielä olla näin pitkällä. Kuten tuotannossa, alun perin suunniteltu prosessi on yleensä tallennettuna digitaaliseen muotoon. Muutosten seuranta on puutteellista. Samoin toteutumapuolella puuttuu järjestelmä, joka tekisi automaattisesti havaintoja suunnittelun tilasta. Tilanteen havainnointi ja tunnistaminen onkin käsityötä. Koska toteutunutta tilannetta ei ole digitaalisessa muodossa, automatisoituun tilan-

nekuvan jakamiseen ei ole nykytilanteessa edellytyksiä. Tiedon virtaus on erilaisten kokouksien, sähköpostien, pikaviestien ja dokumenttien varassa. Ihmisten tietämys ja kokemus korostuu mutta kuten case-hankkeissa todettiin, normaalissa suunnitteluprosessissa ilmenee paljon ongelmia, joita tilannekuva ei paljasta ennen kuin on liian myöhäistä. Tutkimuksessa hahmotunut luonnos tämänhetkisestä tilannekuvasta suunnittelussa on kuvassa 5.



Kuva 5. Suunnittelun tilannekuva – arvio nykytilasta.

3.4 Suunnittelun tilannekuvan vaatimukset jatkossa

Suunnittelujohtajien haastatteluista tunnistettiin digitaalisen tilannekuvan tarpeet, jotka on esitetty taulukossa 2. Monet tarpeista liittyvät projektinhallinnan perusasioihin: aikatauluun, laatuun ja kustannuksiin. Suunnittelujohtajat haluaisivat olla paremmin perillä työvaiheiden tilanteesta ja nähdä yksityiskohtaisia jaettuja tehtävälistoja, joiden avulla voi paremmin ennakoida ongelmia. Olennaista on visuaalisuus lähtötietojen ja myös suunnitteluajataulun osalta.

Taulukko 2. Digitaalisen tilannekuvan tarpeet – suunnittelujohtajien näkökulma.

Tarve	Lainaus haastattelusta
Yhteisen näkemyksen varmistaminen	”Varmuus yhteisestä näkemyksestä. Nykytilanne vaatii paljon kokouksissa läsnäoloa, että saa tilanteen.” -SJ1
Suunnittelutyön edistymätieto	”Missä suunnittelu on? Mitä siitä on tehty? Esteet suunnittelun etenemiselle? Eteneminen suhteessa tavoitteeseen?” -SJ2
Suunnittelutyön esteet	”Kyllä se suurin este varmasti on siinä, että päätöksenteon perusteet ei ole selvillä. -- yleensä ne ei ole mitään semmoisia yksiselitteisiä asioita, kyllä tai ei, peukku ylös, peukku alas.” -SJ8
Suunnittelutyön kustannukset	”Meillä hankkeessa ei ehkä ole käyttäjiä ja toisaalta siinäkin se tilannekuva olisi kyllä positiivinen, että sitten tiedetään, et nämä asiat on jo lukittu tai jos ne suunnitellaan uudelleen ja avataan uudelleen, niin siitä aiheutuu lisäkustannuksia.” -SJ4
Suunnittelutyön laatu	”Et sinne sitten ne pääteesit lyödään, että mitä suunnitellaan ja tietysti sitten yleiset ohjeet ja laatuvaatimukset, niin nehan on aina olemassa. Mutta kyllä myös semmoinen kohdekohtainen suunnitteluohje tai projektisuunnitelma sitä kautta sitä laatua tai se laatu- tai suunnittelutavoitteet asetetaan.” -SJ5
Lähtötietotilanne visuaalisesti esitettynä	” -- että mitä tilannetietoa voidaan tuottaa digitaalisesti suunnittelujohtajan päätöksen tekoon liittyen, niin jos hienosti menisi -- haluaisin, että lähtötietotilanne esitettäisiin graafisesti mallissa. Josta se olisi luettavissa ja poimittavissa, kerta aina se vanha juttu,

	että yksi kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa. Niin tässäkin, että toi visuaalinen juttu olisi se, mitä kannattaisi kyllä kehittää. Ja onhan sitä vähän kehitettykin, mutta ei se vielä ole ihan maalissa.” SJ3
Työmaan tilanne (suunnittelutiimille, esim. video/kuvat/360)	”-- niin jotenkin toivoisi, että sieltä siirtyisi sitä tietoa myöskin takaisinpäin paremmin esimerkiksi työmaan tilanteesta tai konepajojen valmistustilanteesta. Että se olisi semmoista, että jos täytyy esimerkiksi tehdä jotain muutoksia tai revisioita, ja tietäisi, että missä vaiheessa se työ menee, että miten sitä kannattaa lähteä muuttamaan. Että kyllähän sen tiedon sitten saa soittamalla tai sähköpostilla, jos jonkun saa kiinni. Mutta siinä olisi ehkä semmoinen, että nuo tietomallit toimii aika lailla yksisuuntaisesti.” -SJ7
Tietomallin törmäystarkastelun tilanne	”-- ja jos ajattelee suunnitteluajana, että mitä digitaalista tietoa voidaan tuottaa, niin tietysti sehän on ihan avainasemassa se digitaalinen tieto, koska suunnitelmat laaditaan digitaalisesti tänä päivänä ei nyt ihan täysin mutta lähes. Ja se tietomalli on tietysti siinä keskiössä. Että suunnittelun yhteensovitus ja sitten sen yhteensovituksen seuranta, et miten sitten todetut konfliktit siellä sitten korjataan siellä suunnittelupöydillä, niin se tapahtuu tietomallin avulla. Ja se on ihan elintärkeää.” -SJ9
Yhteiset tehtävälistat	”Ja sitten heti tullaan tähän muistioiden ongelmiin ja kuka niitä lukea ja minkä tasoisia ne on. Tietääkö kaikki päätöksistä, mitä on tehty. Suurissa hankkeissa erityisesti tämä on aivan keskeistä. Että tietynlaiset digitaaliset alustat, jossa voi olla yhteiset tehtävälistat tai digitaaliset alustat, jossa voi olla kootusti kokouksissa tehdyt päätökset, jossa

	ne on koko aika kaikkien nähtävillä ja seurattavissa.” -SJ9
Sähköinen alusta päätöksenteolle	”Viestintää ei pidä unohtaa: ongelmat syntyvät puutteellisesta viestinnästä. Tullaan heti muistioiden ongelmiin, kuka lukee, tietääkö kaikki päätökset, joita on tehty. Digitaaliset alustat, joissa yhteiset tehtävälistat tai kokouksissa tehdyt päätökset, joka koko ajan seurattavissa. Tällöisiä on olemassa, Teams, Smartsheet. Vaatii sen hallintaa aika paljon. Nykyisin kirjoitetaan hirveästi muistioita.” -SJ9
Suunnitteluajataulu tietomallissa	” Työmaa-aikana tämä on kasvamassa ja tämä on tosi hieno juttu, -- digitaalisen tiedon käyttö, että työmaan aikana aikataulu, kun se saadaan myös sinne malliin, nähdään ihan siinä mallissa rakennusosittain, että miten se sinne rakentuu, jopa ehkä sitä, että se, milloin se on siellä elementtitehtaalla ihan suunnitelmatasolla, et milloin suunnitelmat lähtee elementtitehtaalle ja milloin elementit sieltä valmistetaan, milloin ne tulee työmaalle ja milloin ne asennetaan. Kun tämä kaikki on mallissa, niin se helpottaa -- .” -SJ9

Suunnittelun tilannekuvan tulee pystyä esittämään suunnitteluprosessin tilan lisäksi myös suunnittelun ydintehtävää kuvaavia ratkaistavaksi tulevia, ratkaistavana olevia ja ratkaistuja suunnitteluongelmia. Koska suunnittelu on ongelmien ratkaisua ja ratkaisun optimointia, suunnittelun tilannekuvan tulee mahdollisuuksien mukaan paljastaa prosessissa pinnan alla piilottelevia ongelmia. Haastattelujen perusteella voidaan todeta myös, että tuotannon tilannekuva ja suunnittelun tilannekuva tulee kerätä eri lähteistä, koska päätökset, joita varten tilannekuvaa kerätään, poikkeavat olennaisesti toisistaan.

Suunnittelun tilannekuvan automatisointi ei liene mahdollista yhtä pitkälle kuin tuotannon osalta. Suunnittelutilannetta voidaan havainnoida ja analysoida tehtävälistojen ja niiden etenemisen kautta. Toisaalta tietomalleja voidaan analysoida numeerisesti ja kehittää analyysiominaisuuksia, joilla nähdään, missä vaiheessa suunnittelu on. Alkuvaiheen suunnittelussa, jossa mallinnusta ei vielä tehdä, voidaan parhaiten hallita tehtävälistoilla ja seuraamalla alku-

vaiheen päätösten edistymistä. Kun mallinnus alkaa, alkuvaiheessa elementtien määrä voi kuvata hyvin mallinnuksen etenemistä. Yhteensovitusvaiheessa etenemistä voi arvioida elementtien sijaintien muutoksen ja törmäystarkasteluissa löydettyjen törmäysten lukumäärällä. Detaljointivaiheessa oikeassa paikassa olevat elementit korvataan tarkemmilla elementeillä tai niihin lisätään tietoja, joten tietosisällön rikastuminen ja elementtien korvaaminen voisi olla hyvä mittari detaljoinnin osalta. Automaattisia järjestelmiä ei vielä juurikaan ole lukuun ottamatta Last Planner -järjestelmään perustuvia ohjelmistoja. Niitä ei toistaiseksi ole vielä linkitetty BIM-malleihin. Teknisiä mahdollisuuksia paremman digitaalisen tilannekuvan tuottamiseen kuitenkin siis on, mutta ne ovat toistaiseksi vielä pääosin hyödyntämättä.

4 Tuotannon tilannekuva

4.1 Taustaa

Erilaisia digitaalisia järjestelmiä reaaliaikaisen tiedon keräämiseen on alettu ottaa aktiivisesti käyttöön Suomessa. Pääosa järjestelmistä perustuu edelleen käyttäjän syöttämään tietoon. Hyvä esimerkki on laadunhallintajärjestelmä Congrid, johon voi syöttää helposti tietoa laatu-poikkeamista ja turvallisuushavainnoista. Toinen yleistynyt sovellustyyppi ovat aikatauluohjelmistot, joihin voi mobiilisti syöttää tietoa työvaiheen tilanteesta tai sen esteistä. Kotimaisia esimerkkejä ovat Firan Sitedrive tai Fluent Progress. Tämän tyyppiset järjestelmät ovat jo varsin yleisesti käytössä ja niistä kertyy myös kuvatietoa, yleensä käyttäjän mobiililaitteen kameralla otettuja.

Testausvaiheessa tai käyttöönoton alkuvaiheessa ovat erilaiset sensorointiin tai kuvatiedon tai pistepilvien keräämiseen liittyvät automaattisemmat järjestelmät. Yleisimmin käyttöön ovat tulleet olosuhdesensoroinnit ja 360-videoiden ottamiseen ja tallentamiseen perustuvat järjestelmät sekä erilaiset kiinteät kamerajärjestelmät. Erityisesti COVID-19 pandemia on kiihdyttänyt kuvatiedon systemaattista keräämistä, jotta työmaan tilanne voidaan todeta etänä ilman riskiä altistumisesta. Toteutuneiden asennusten mittaus laserkeilaamalla on myös käytössä useissa kohteissa. Uutena teknologiana erityisesti korkean rakentamisen kohteissa on alettu ottaa käyttöön resurssien paikannusjärjestelmiä.

Yksittäinen järjestelmä ei tuota vielä tilannekuvaa. Kaikista edellä mainituista järjestelmistä saa tilannekuvan kannalta merkittävää tietoa irti mutta sitä pitää yhdistellä muissa järjestelmissä oleviin tietoihin, jotta sillä on käyttäjän kannalta merkitystä. Tässä teknologia on vielä aika kehittymätöntä. Yritykset ovat kehittäneet omia näkymiään esimerkiksi Power BI:tä hyödyntäen mutta monesti tietojen yhdistely on yksittäisen päätöksentekijän omasta kiinnostuksesta kiinni. Teknologiatoimittajat eivät ole vielä ottaneet riittävästi loppukäyttäjän päätöksentekoa huomioon. Jotta teknologialla olisi vaikuttavuutta, sen täytyy tarjoilla oikeat tiedot päätöksentekoa varten tai automatisoida työläitä prosesseja.

Tässä hankkeessa lähestyimmekin tuotannon tilannekuvaa nimenomaan päätöksenteon näkökulmasta. Pyrimme kartoittamaan tuotannossa tehdyt päätökset ja mihin päätöksiin on jo helposti saatavissa digitaalista tukea. Erityisen mielenkiinnon kohteena oli tahtituotanto, jonka käyttö on konsortion yrityksissä lisääntynyt. Tähän asti tahtituotanto on perustunut pitkälti työmaan parhaisiin käytäntöihin ja tilannekuvan hyödyntämistä tahtituotannon tukena on eri työmailla kyllä testattu mutta ei juurikaan systemaattisesti tutkittu. Datan analyysi automaattisesti ja oikean tiedon tarjoilu päätöksentekijöille vaatii paljon jatkokehitystä, johon toivomme mm. tämän raportin tarjoavan hyvät lähtökohdat.

4.2 Tuotannossa tehtävät päätökset

Tuotannossa tehtäviä päätöksiä selvitettiin haastattelututkimuksella (16 haastattelua) ja niitä käytiin läpi hankkeen työpajoissa. Emma Maliniemen (2022) diplomityössä on esitetty rakennusprojektin aikana tehtäviä päätöksiä ja tehtäviä, jotka on jaettu suunnitteluun, hankintaan, aikataulujohtamiseen, olosuhteiden hallintaan, logistiikkaan, laadunhallintaan, työturvallisuuteen, henkilöresurssien hallintaan ja muihin päätöksiin. Taulukossa 3 on esitetty tutkimuksessa esille nousseet päätökset lyhennettynä alkuperäisestä lähteestä siten, että suunnitteluvaiheen ja lähellä toisiaan olevat päätökset on poistettu. Haastateltujen mielestä tärkeimmät päätökset ja tehtävät on lihavoitu taulukossa.

Taulukko 3: Rakennusprojektissa tehtävät päätökset ja toimenpiteet (lyhennettynä diplomityöstä Maliniemi 2022)

Osa-alue	Päätökset ja toimenpiteet
Hankinta	Aliurakoitsijan valinta
	Aliurakoitsijavalinnan kriteerien määrittely ja arviointi
	Aliurakkasopimuksen sisällön määrittäminen
	Mahdollisiin sopimuspoikkeamiin reagoiminen
	Hankinta-aikataulun laatiminen
	Hankintavastuiden määrittely
	Aliurakoiden ohjaus aikataulujen ja palavereiden kautta
	Lisätarjouksien pyytäminen
Aikataulujohtaminen	Työvaiheen aloitusedellytysten varmistaminen ja työn aloittamispäätös
	Työalueen koon suunnittelu
	Aliurakoiden edistymisen ja aikataulun valvonta
	Aikataulun muuttaminen esimerkiksi pidentämisen, nopeuttamisen tai puskureiden avulla
	Aikatauluennusteiden tekeminen
	Yleisaikataulun laatiminen

	Viikkoaikataulun laatiminen
	Rakentamisjärjestyksen valinta
	Aikataulun yhteensovittaminen ja yhteensovittamiseen liittyvien ongelmien ratkaiseminen
	Kriittisten aikataulutehtävien määrittely
	Töiden keskeyttäminen
Olosuhteiden hallinta	Oikeiden olosuhteiden ja rakenteiden kuivumisen varmistaminen ennen työvaiheen alkua
	Olosuhteiden seuranta
	Olosuhdeseurannan laajuuden valinta
	Kuivatuskaluston valinta
	Kuivatuskaluston lisääminen tarvittaessa ja muiden kuivumiseen liittyvien lisätoimenpiteiden määrittely
	Lattioiden pinnoituspäätös
	Kosteusmittaussuunnitelman tekeminen
	Sääsuojien rakentamispäätös
Logistiikka	Tavarantoimitusten ajankohdan valinta
	Toimitussisällön määrittely
	Toimitustavan valinta
	Urakkarajojen määrittely materiaalitoimitusten osalta
	Tavarantoimittajan valinta
	Tavarantoimitusten siirtäminen
	Tavaran tilaaminen
	Betonin tilaaminen/ betonilaadun valinta

	Laitehankintojen tekeminen
Laadunhallinta	Laatutarkastusten suorittaminen ja niistä määrättävät jatkotoimenpiteet
	Aliurakoitsijan työsuorituksen hyväksyminen laadun osalta
	Laatukriteerien määrittely sekä työn että materiaalien osalta
	Laadunvalvonnan laajuuden määrittely
	Aikataulun muuttumiseen liittyvien laatuvaikutusten huomioiminen
	Työtapojen- ja menetelmien valinta
Talous	Aliurakan suorittamisen sopimuksenmukaisuuden seuranta (mm. laskujen hyväksyminen)
	Kustannusvalvonta
	Lisätöiden hyväksyminen tai hylkääminen
	Työmaan tavoitekatteen määrittely
	Projektin kustannusraportointi ja mahdollisten toimenpiteiden määrittely
	Tuntityöntekijöille maksettavien kustannusten määrittely, esim. odotusajoista maksaminen tai bonukset
Työturvallisuus	Työmaan turvallisuuden valvominen (yleisesti)
	Siisteyden varmistaminen
	Riittävien turvallisuusedellytysten varmistaminen työvaiheen aloittamiseksi, aloittamispäätös
	Turvallisuusedellytysten määrittely
	Turvallisuuspoikkeamiin reagointi
	Työturvallisuuspoikkeamien korjaaminen
	Turvallisuuteen liittyvien lukujen raportointi
	Uusien työturvallisuusratkaisujen kehitys

	Turvallisuussuunnitelmien laatiminen
	Riskien läpikäyminen yhdessä työryhmän kanssa
	Töiden keskeyttäminen tarvittaessa
Henkilöresurssien hallinta	Aliurakoitsijan riittävien henkilöresurssien varmistaminen, muutosten tekeminen tarvittaessa
	Tuntityöntekijöiden tarpeen määrittely ja tilaaminen
	Työmaan toimihenkilöiden määrän ja kokemuksen varmistaminen
Muut	Liiketoimintatason tavoitteiden varmistamisen vaatimat päätökset
	Pääurakkasopimuksen mukaisen toiminnan varmistaminen
	Pääurakkasopimuksen kommentointi ja työmaalle epäedullisten asioiden poistaminen sopimuksesta

Työmaalla tehdään siis valtava määrä erilaisia päätöksiä tai tietoja edellyttäviä toimenpiteitä. Nykyisissä tilannekuvajärjestelmissä on olemassa näkymiä, joilla saa tukea tiettyihin päätöksiin mutta pääosin päätökset tehdään edelleen keskustelujen, palaverien, sähköpostien sekä henkilökohtaisten havaintojen pohjalla. Erityisesti tilannekuvanäkymistä puuttuu aloitusedeltytyksiin liittyviä tietoja, logistiikkaan liittyviä tietoja sekä lisä- ja muutostöihin liittyviä tietoja. Eri lähteistä saatuja tietoja ei vielä juurikaan yhdistellä automaattisesti, vaan yhdistäminen jää yksittäisen käyttäjän vastuulle käsityönä tehtäväksi. Tilannekuvan pitäisi tiedon näyttämisen lisäksi olla proaktiivisempaa ja antaa hälytyksiä, kun työmaan pitäisi puuttua johonkin.

4.3 Tilannetiedon keruutavat

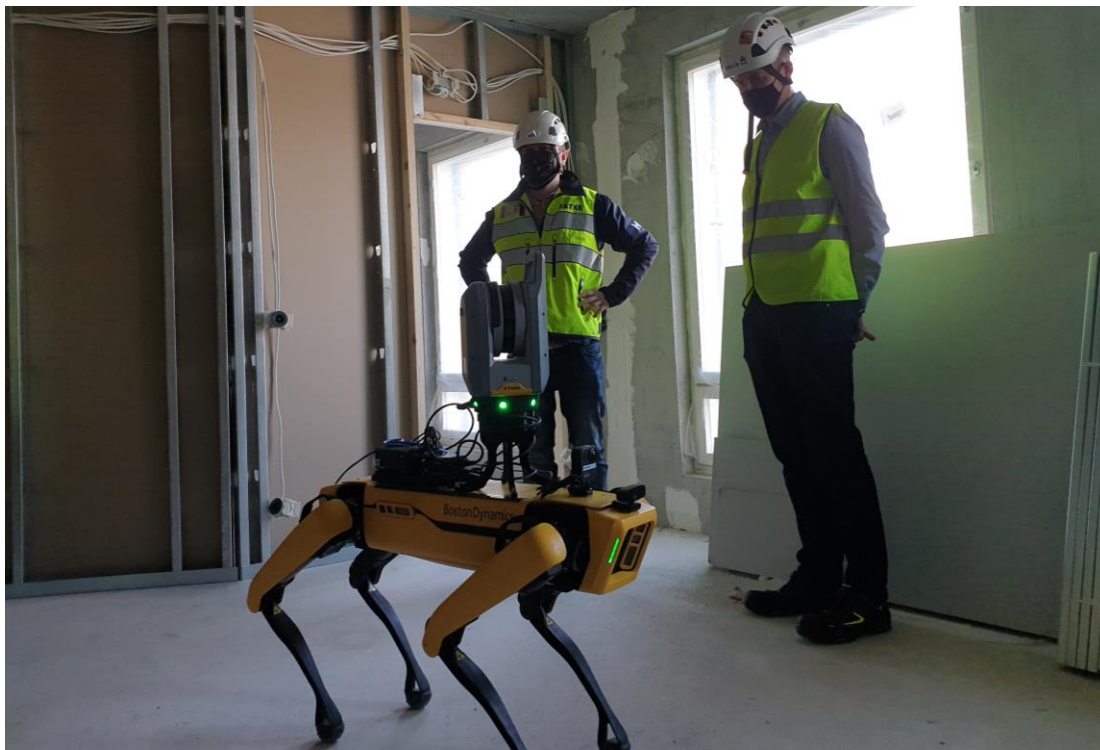
Nykyisellään digitaalista tilannekuvatietoa kerätään automaattisesti muun muassa kiinteästi asennettujen kameroiden kuvavirtana, sensoritietona ja läsnäolotietoina, esimerkiksi kulunvalvontajärjestelmän datana tai joissain tapauksessa paikannusdatana. Lisäksi julkiset sääennusteet ovat merkittäviä tilannekuvaa tarjoava tietolähde. Manuaalisesti digitaalista tilannekuvatietoa saadaan mittauksista, kuvauskiirroksista, laatutarkistuksista, töiden aloituksen ja lopetusten kuitaamisesta, esteiden ilmoittamisesta ja käsin tehtävistä aikataulujen päivityksistä palaverien ja havaintojen perusteella.

Tutkimme hankkeessa mahdollisuutta lisätä digitaalisen tilannekuvan muodostuksen automatisaatioastetta robottien ja ohjelmistojen avulla. Käytössä on jo järjestelmiä, jotka yhdistävät erilaisia digitaalisia tilannekuvatietoja yhden näkymän alle. Järjestelmät eivät vielä yhdistä eri

osajärjestelmistä saatuja tietoja selkeiksi johtopäätöksiksi, vaan tietojen tulkinta tapahtuu pääosin työmaahenkilöstön oman päättelyn kautta. Lisäksi tietojen keräys tuottaa usein merkittäviä työ kustannuksia erityisesti jos keräysväli halutaan sopeuttaa viikkoa lyhyempään tahtiin. Tietojen keräyksen automatisointia tutkittiin robottivierailuilla rakennustyömailla. Lisäksi selvitettiin haastattelemalla rakennustyömaiden ja tietoja palveluna tuottavien yritysten näkemyksiä skannereista, kamerakuvauksista ja robottien käytöstä.

4.3.1 Spot-robottivierailut työmailla

Erityisesti sisätiloista on hankalaa kerätä visuaalista tilannekuvadataa korkealla mittaustaaajuudella. Tämän vuoksi käytäntönä on, että laser-skannauksia tehdään vain tarpeen mukaan ja mahdolliset 360° -videoinnit tehdään yleensä viikoittain, joten tieto ei ole reaaliaikaista. Jotta kuva-aineiston keräys saataisiin vastaamaan esimerkiksi päivän tahtiajan tarvetta, tulisi keräys automatisoida. Tähän liittyen tehtiin yhteistyötä Aalto-yliopiston Sähkötekniikan ja automaatiolaitoksen Robot Learning -tutkimusryhmän (prof. Joni Pajarisen tutkimusryhmä) ja Trimblen kanssa ja vietiin kaupallinen Spot-robotti työmaatesteihin. Tavoitteena oli selvittää, miten robottia voisi hyödyntää rakennustyömaalla datankeräystehtävissä.



Kuva 6, Boston Dynamicsin valmistama Spot-robotti varustettuna laser-skannerilla ja kevyellä 360° videokameralla

Robottivierailuita tehtiin useammalle työmaalle. Vierailut ja niissä tehdyt testit on listattu taulukkoon 4. Vierailujen pääasiallinen anti oli käytännössä todentaa, miten robotin markkinointimateriaalissa annetut lupaukset toteutuvat uusissa ympäristöissä robotin käyttöön jo perehtyneen operaattorin ohjastamana.

Taulukko 4. Spot-robottivierailut eri rakennustyömailla ja kuvaukset tehdyistä testeistä

Työmaa	PVM	Testejä
Lippulaiva (Skanska)	9.3.2021 ja 16.3.2021	Ohjaus, maassa olevien esteiden (kaapeli-hyllyt) ylikävely, etäohjaus, reitin opetus ja laserkeilaus, esteväistöt
Trimblen pääkonttori	22.4.2021	Ohjaus, suorien rappusten kävely, reitin opetus ja laserkeilaus, ulkokävely
Niittykummun Graniitti (Jatke)	11.5.2021	Ohjaus, viimeistelemättömien rappusten kävely, reitin opetus ja laserkeilaus
Helsinki Airport (SRV)	26.5.2021	Kulku BigRoomista työkohteeseen, toisen takajalan vika esti varsinaiset testit.
Lippulaiva	16.12.2021	Tartuntakäden käyttö kulun helpottamiseksi ja erilaisten tehtävien suorittamiseen

Työmaakäyntien tulosten perusteella robotti pystyy kulkemaan niin ulkotiloissa kuin sotkuisissakin työmaaympäristöissä. Kuitenkin latioilla säilytettävistä irtonaisista materiaaleista voi aiheutua riski robotin kaatumiselle ja robotin tai siihen esimerkiksi asennetun kameralaitteiston rikkoutumiselle. Robotin reitin opetus toimi testeissä hyvin ja robotti pystyi siihen kiinnitetyn keilaimen avulla tekemään itsenäisesti skannauskierroksen. Myös yllättävien esteiden väistö toimi. Yhdessä tapauksessa robotti ei huomionnut skannerin vaatimaa tilaa pystysuunnassa, mutta tähän on käsittääksemme tehty jo korvaava päivitys. Etäajo toimi myös, mutta tällöin ongelmia voi syntyä verkon viiveistä ja katveista. Etäajo soveltuu ehkä parhaiten poikkeuksellisiin tilanteisiin varsinaisen työajan ulkopuolella, esimerkiksi yllättäen tarpeelliseksi tulevaan yölliseen tarkastukseen, kunhan verkkoyhteys on riittävän hyvä.

Turvallisuustoimintojen takia robotti ei pystynyt kulkemaan kapeista aukoista tai roikkuvien johtojen läpi, koska sillä ei ollut ihmisen kaltaista käsitystä, millainen este on vaaraton ja mil-laista tulee väistää. Ovia robotti pystyy periaatteessa avaamaan erillisen robottikäden avulla, mutta käytännön testit työmaalla osoittivat, että tässä on vielä selkeää kehitystarvetta niin robotin ohjelmoinnissa kuin myös robottikäden muokkaamisessa vastaamaan työmaalla nykyisin käytössä olevia ovia tai vaikka roskasäiliöiden kansia.

Robotti toimi melko luotettavasti ensimmäiset kolme testiä, mutta lentokenttätyömaalla toiminta estyi yhden jalan moottorivian takia. Korjaus osoittautui USA-rahdin vuoksi hyvin hitaaksi, minkä vuoksi testi käden kanssa lykkääntyi kuukausilla. Päivittäiseen valvontaan pitäisikin varata vararobotteja, erityisesti ellei huolto järjesty lähempää.

Robotin käyttö on siis mahdollista rutiininomaisessa datankeräyksessä, mutta käyttökohteet tulee miettiä robotin rajoitteet huomioiden. Etuna on, että robotin voi tehdä tarvittaessa myös

esimerkiksi yksinkertaisia siivous- ja kuljetustöitä. Toinen merkittävä etu on, että robotti soveltuu hyvin toistuvien pitkäkestoisten skannauksien tekoon, joiden teettäminen ei olisi taloudellisesti mielekäästä eikä motivoivaa skannauksen tekijälle. Säännöllisessä käytössä telakointiasema ja saatavilla olevat varalaitteistot ovat käytännössä välttämättömät. Robotin käyttöönotto vaatii erikoisosaamista sen verran, että järkevintä on edetä asiassa paikallisen palveluntarjoajan kanssa. Robotti vaatii vielä jatkokehitystä voidakseen toimia täysin autonomisesti ilman ihmisohjausta. Jatkossa on selvää, että robottien hinnat laskevat ja robottien autonomia lisääntyy.

4.3.4 Pistepilvien hyödyntäminen rakennusallalla

Henri Myllerin erikoistyössä haastateltiin yhdeksää pistepilvien käytöstä ja kehittämisestä kiinnostunutta rakennusalan toimijaa. Haastattelu keskittyi pistepilviä tuottavien työkalujen ja ohjelmistojen käyttöön. Näitä työkaluja olivat mm. laser-keilaimet ja 360° kamerat. Tilannekuva-tiedon tuottajia ja käyttäjiä haastateltiin yleisesti siitä, mitä pistepilvien käyttökohteita nähdään oleellisiksi, ja mitä palveluita on tarjolla tai aiotaan lähitulevaisuudessa tarjota. Lisäksi käsiteltiin robottien käyttöä ja kokemuksia suoritetuista Spot-robottivierailuista.

Urakoitsijoiden näkökulma

Yleisimmin käytettiin 360° kuvausta, drone-kuvausta ja laser-keilausta. Työkaluja hyödynnettiin osana laadunvarmistusta ja dokumentointia esimerkiksi piiloon jäävien rakenteiden osalta. Työkaluilla otettiin tarkkoja mittoja (laserkeilaus) sekä suoritettiin esimerkiksi massoittelun vaatimaa määrälaskentaa (drone-kuvaus). Työkalut ovat helpottaneet työturvallisuuden seurantaa. Ohjelmistoilla ja kuvantamistyökaluilla voidaan myös muodostaa inventointimallit, tehdä virtuaalista testaamista (esim. törmäyskokeet) ja 3D-aluesuunnittelua.

Työkalut on yleisesti havaittu hyödyllisiksi kaikilla osa-alueilla, joilla niitä on hyödynnetty ja niiden koetaan helpottavan työmaan toimihenkilöiden arkea. Työkalut eivät kuitenkaan korvanneet kokonaan mitään vakiintunutta toimintatapaa. Etäseurannasta huolimatta työnjohdon on edelleen käytävä työmaalla seuraamassa tilannetta myös paikan päällä. Työkalujen kustannuksia arvioitiin kriittisesti. Vaikka hyötyjä olikin saatu, oli epäselvää, kattavatko hyödyt työkaluista tai järjestelmistä koituvia kustannuksia.

Palveluntuottajien näkökulma

Tulosten perusteella työkalujen keräämää dataa hyödyntävät ohjelmistot voitiin jakaa kahteen kategoriaan: tietomallinnusohjelmistot sekä palveluntarjoajien kehittälemät ohjelmistot tilannekuvan parantamiseen. Palveluntarjoajien omilla ohjelmistoilla voi aineistosta ottaa mittoja (etäisyys, pinta-ala, tilavuus) sekä korkopisteitä. Lisäksi BIM-mallin sovitusta pistepilvi/fotogrammetriseen aineistoon onnistuu. Palveluntarjoajien ohjelmistoissa on myös mahdollista

merkitä aineistoon toimenpiteitä vaativat kohdat. Tietomallinnusohjelmissa voi yleensä hyödyntää pistepilvidataa pohjana mallinnukselle. Yleisimmät tietomallinnusohjelmat tukevat esimerkiksi inventointimallinnusta pistepilviaineiston pohjalta.

Ohjelmistojen tarkkuus datankäsittelyssä riippuu kuvauskalustosta. Haastatteluissa mainittiin esimerkkeinä seuraavia tarkkuuksia: Drone 3OMP, jonka kuvatarkkuus on vakiolentokorkeudella (45m) 1px/1cm ja mittatarkkuus +- 2cm RTK:n paikannusjärjestelmällä. Laserkeilaimella tarkkuus todelliseen riippuu mittausetäisyydestä, pisteiden lukumäärästä ja olosuhteista (lumi, tms.), lähietäisyydeltä tarkkuus on +-2 mm ja suuressa hallissa 7 - 15 mm.

Suurimmaksi haasteeksi niin työkalujen käytössä kuin ohjelmistoissa mainittiin automatisaation puute. Datan tuonti laitteistosta ohjelmistoihin toimi yleisesti niin, että data tuodaan manuaalisesti pilveen, jossa se prosessoituu automaattisesti käyttäjän käytettäväksi. Yleensä kuitenkin georeferointi (aineiston rekisteröinti työmaan koordinaatistoon) tehdään manuaalisesti. Koko ketju skannauksesta/kuvantamisesta valmiiseen aineistoon pitäisi olla automatisoitu ja uusien kuvattu aineisto pitäisi olla aina valmiina käytössä. Tilaajalla on usein tiukka aikataulu, joten muutama päivä sitten kuvattu aineisto ei paranna tilannekuvaa, koska työmaa on edennyt. Toiseksi ongelmaksi mainittiin, etteivät hankkeen osapuolet halua aina jakaa dataa kaikille. Lisäksi 360° kuvat ilman pistepilviä ovat liian epätarkkoja esimerkiksi mittojen ottamiseen. Puutteellinen automatisointi kuvantamisessa vie aikaa, kun kohteet joudutaan aina käymään manuaalisesti kuvaamassa ennen töitä, ja tiedonkulun puutteiden takia samat kohteet kuvataan usein useampaankin kertaan, kun useammat työryhmät tarvitsevat tietoja tai kerätyt kuvat eivät ole tarpeeksi laadukkaita.

4.4 Tilannekuvatiedon mahdollisuudet työvaiheiden analyysissä

Mahdollisuutta automaatioasteen nostoon tilannetiedon tulkinnessa tutkittiin opiskelijoiden tekemillä erikoistöillä, missä opiskelijat tutkivat työvaiheiden etenemisestä pelkän tilannekuvadatan avulla. Lisäksi pohdittiin miten datankeräystä tulisi kehittää, jotta se palvelisi parhaiten tilannekuvan muodostamista ko. työvaiheessa. Saadusta aineistosta pyrittiin myös keräämään näytteitä tekoälyn myöhempää opettamista varten. Tehdyt erikoistyöt koskivat elementtiasennuksia (Arttu Hirvonen), pintabetonilattioiden tekoa (Ioanna Orfanoudaki) sekä sisäseinätöitä (Numan Akbar).

Kaikki työt tehtiin samalla asuinrakennustyömaalla, Espoon Niittykallion Graniitissa, jonka pääurakoitsijana toimi Jatke Oy. Työmaalla oli käytössään Aiforsiten palvelu, joka toimi pääasiallisena rajapintana tehdyille datan tarkasteluille.

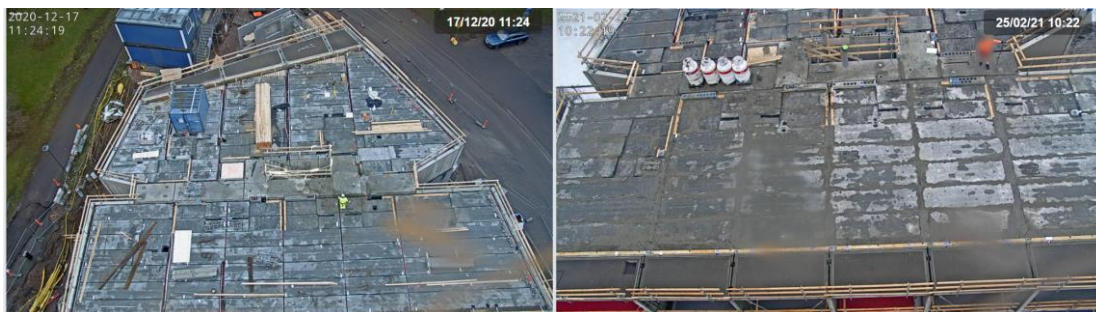
4.4.1 Elementtiasennusten seuraaminen tilannekuvajärjestelmällä

Elementtiasennusta tutkittiin hyödyntämällä lähinnä työmaalle asennettua nosturikameraa. Elementtiasennukseen liittyviä asioita selvitettiin analysoimalla nosturikameran tuottamia kuvia sekä viikoittaisten drone-lentojen kuvia ja pistepilviä. Lisäksi käytössä oli aikataulu ja elementtiasennussuunnitelma. Tavoitteena oli arvioida, mitä työn etenemiseen liittyviä asioita datasta voidaan havaita ja mitkä näistä olisi mahdollista analysoida jatkossa automaattisesti kokenäön avulla.

Elementtiasennuksista tarkkailtiin erityisesti nostojen ja asennusten kestoja. Valokuvien lisäksi nostoja olisi ollut mahdollista seurata reaaliaikaisenakin, mutta manuaalisena tarkkailuna tämä olisi vaatinut aivan liian suuren työajan. Lisäksi järjestelmä voidaan erikseen asettamalla saada tallentamaan nostot myös 1 minuutin videoleikkeinä, mutta näidenkin käyttö olisi hidastanut nostoaikojen selvittämistä niin paljon, että päädyttiin mittaamaan nosto- ja asennusajat pelkkien valokuvien avulla minuutin tarkkuudella.

Tuloksena elementtiasennuksen osalta oli, että nosturikamerakuvan avulla voidaan selvittää runkotyön eteneminen, työturvallisuuseikkoja sekä nostoihin ja asennuksiin kuluneet elementtikohtaiset asennusajat. Nosto- ja asennusaikoja voidaan verrata normaaleihin vastaavilla elementeillä kuluneisiin aikoihin, mikä mahdollistaa poikkeavien nostojen havainnoin ja näin edesauttaa lean-toimintatavan mukaista jatkuvaa parantamista.

Työssä havaittiin kamerasijoittelun merkitys elementtiasennusten tunnistamiseen. Jotta päästään luotettavaan automaattiseen elementtiasennuksen analyysiin, kamera pitää asentaa siten, että sillä on näkymä koko nosturin nostoalueeseen. Analysoidussa työmaassa kamera oli asennettu kiinteästi ohjaamon alapuolelle nosturin runkoon, jolloin kamerasilmäalaajuus pieneni kerros kerrokselta etäisyyden lyhetessä kameraan. Näin kaikkia ylimpien kerrosten asennuksia ei näkynyt talletetuista kuvista (Kuva 7). Kamera voisi olla asennettuna esimerkiksi torninosturin puomiin, jolloin näkyvyys olisi parempi. Myös kameroiden suojaukseen saateilta ja likaantumiselta tulee kiinnittää huomiota, osa nostokuvista oli mennyt pilalle sateen vuoksi.



Kuva 7. Kerroskorkeuden vaikutus kamerasijoittelulla näkyvään kuva-alaan. Kuva-ala ei kattanut koko kerroksen alaa ylimmissä kerroksissa. Kuvauspäivät 17.12.2020 (vasen kuva) ja 25.2.2021 (oikea kuva).

Drone-kuvia ja näistä muodostettuja 3D-pistepilvimalleja voidaan myös käyttää elementtityön etenemisen tarkkailuun. Näissä ongelmana on datankeräyksen aikaväli, mikä on yleensä viikko. Elementtiasennuksen analysointiin tarvitaan ajantasaisempaa tietoa eikä nostokohtaista ajan kulumista tai yksittäisen asennuksen etenemistä voida seurata drone-kuvista, koska droneilla kuvaus tehdään turvallisuussyistä silloin, kun elementtiasennuksia ei ole käynnissä. Yksi ratkaisu ajantasaisten 3D-mallien luomiseksi voisi olla torninosturin puomiin ja/tai ympäröiviin rakennuksiin kiinteästi asennetut kamerat, jotka mahdollistaisivat päivittäisten pistepilvien muodostamisen sääolosuhteista riippumatta. Näissäkin kamera-asennuksissa tulee kiinnittää erityistä huomiota koko työmaan kattavuuteen erityisesti laajemmilla työmailla.

Asennusaika per elementti oli helposti nähtävissä laskemalla aika kiinnityksestä ketjujen irrotukseen. Nostojen väli oli havaittavissa irrotushetkestä seuraavan noston alkuun. Kuvat analysoitiin minuuttitasolla kerättyjen valokuvien perusteella, mutta automaattinen analyysi voisi tapahtua jatkuvan videon pohjalta, jolloin asennusajat voisi laskea sekunnin tarkkuudella. Hankkeessa havaitut nostoajat ja tärkeimmät poikkeamat on listattu taulukossa 5.

Taulukko 5: Kohteessa analysoitujen elementtien asennusajat ja hukka

Elementtityyppi	Asennusaika (keskimäärin)	Tärkeimmät poikkeamat	Hukattu aika ongelmatilanteissa
Ontelolaatta	2-3 min	Koko, sijainti, nostolenkit	5-10 min
Ulkoseinä	10 min	Koko, lisätyöt	Max 35 min
Parvekepilari	10 min	Sijainti	10 min
Massiivilaatta	4-5 min	Asennusmenetelmä, koko	5 min
Hormielementit		Toleranssit	
Väliseinät	12 min	koko	
Parvekelaatta	8 min	Lisätyöt, nostolenkit	10 min

Poikkeavan pitkät nostojen välit johtuivat pystyyn varastoitujen elementtien kääntämisestä vaakasuuntaan ja ketjujen pituuden muuttamisesta. Vaihtelut asennusajoissa olivat pääosin pieniä mutta hukkaa oli havaittavissa useita kertoja. Esimerkiksi massiivilaattaelementti piti asentaa pystytuelle ja kesti aikaa saada apureita pitämään tukea paikallaan. Osalle elementeistä oli epäselvää, mikä oli oikea asennussuunta ja elementtiä käännettiin useita kertoja. Lisätöitä,

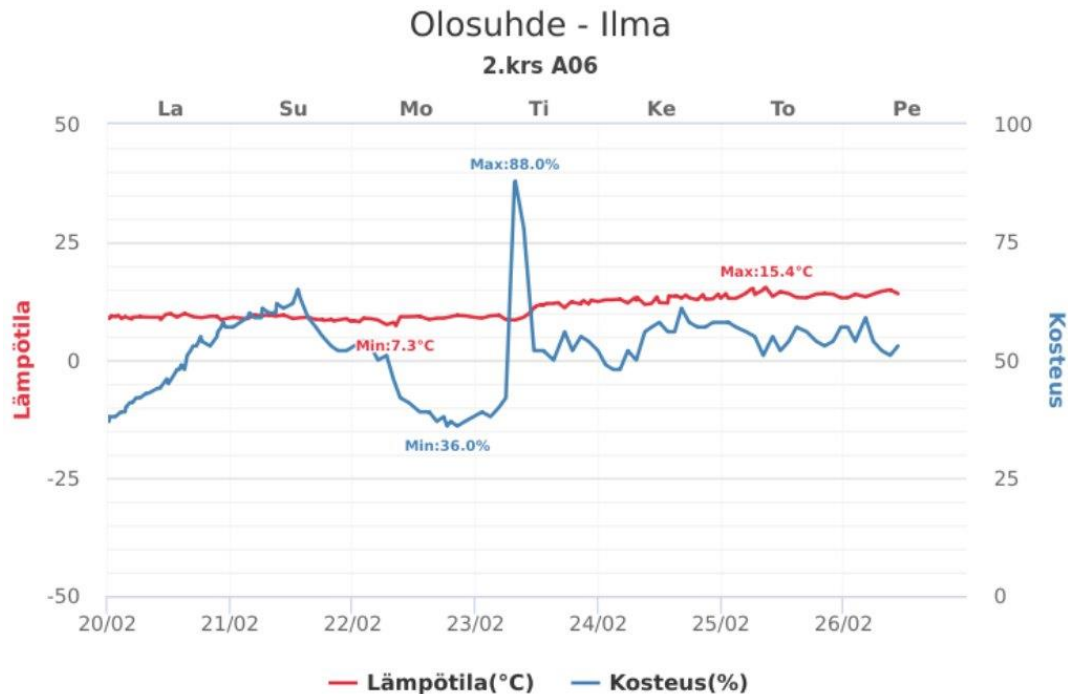
kuten piikkausta, tarvittiin myös usein. Hukan juurisyitä lienee vaikea arvioida konenäöllä mutta asennusajan vaihtelu suhteessa keskimääräisen saman tyyppisen elementin asennusaikaan kertoo, milloin aikaa hukataan. Tämän jälkeen hukkaa voitaisiin analysoida katsomalla ongelmallisiin nostoihin liittyviä kuvasarjoja tai videoita.

Tilastotieto ongelmallisten nostojen osuudesta ja kokonaisvaikutuksesta sekä ongelmallisten nostojen tarkempi analysointi olisi hyödyllistä elementtiasennuksen tehostamiseen. Lisäksi järjestelmä voisi antaa palautetta elementtien suunnitteluun, koska erityisesti elementtien geometria ja nostolenkkien sijoittelu vaikuttivat nostojen kestoon. Kuva-aineistosta voisi automaattisesti analysoida myös nosturin käyttöastetta. Edistymistiedon yhdistäminen aikataulutietoon mahdollistaisi myös automaattiset hälytykset viiveistä tai vääristä järjestyksistä.

Yhteenvedona voidaan sanoa, että kamerasijoittelu ja kuvaustiheys huomioiden elementtiasennuksista on mahdollista luoda automaattisesti toimiva järjestelmä, mikä rekisteröi valmisasteen sekä mittaa jokaisen eri elementin nosto- ja asennusajan. Tämä tukisi hyvin työmaan tilannekuvan muodostamista ja poikkeamahavaintoja analysoimalla voidaan parantaa elementtiasennusten tehokkuutta.

4.4.2 Pintabetonilattioiden valut

Pintabetonilattiavalujen tarkkailussa merkittävin datalähde oli viikoittain kuvatut 360° kypäräkameravideot. Tämän lisäksi katsottiin esimerkiksi olosuhdeantureiden dataa sekä nosturikamerakuvia tarkoituksena tutkia, voidaanko näiden jatkuvasti kerättävien datalähteiden perusteella ajoittaa suoritettavat valutyöt viikoittaisia videointeja tarkemmin. Nosturikamerakuvista ei voitu kyseisellä työmaalla päätellä valupäiviä, koska betoniauto jäi kokonaan rakennuksen katveeseen. Olosuhdeanturidatasta lattiatyöt näkyivät piikkeinä mittaustuloksissa (Kuva 8), mutta esimerkiksi kosteusmuutoksista ei voida yksikäsitteisesti päätellä muutoksen johtuvan nimenomaan valun suorittamisesta. Lisäksi osa olosuhdemittauksista ei näyttänyt todellista valukohdan olosuhdetta, koska mittareihin vaikutti tilan yläosaan puhallettu tuuletusilma.



Kuva 8. Suoritettujen betonivalutöiden (23.2.2021) näkyminen tilan kosteusmittauksessa

Kypäräkameravideoista voitiin nähdä helposti, mitkä tilat olivat valettu ja mitkä näyttivät valmiilta seuraaviin valuihin. Lisäksi videoista voitiin valujen jälkeen arvioida jo valetun betonilattian päällä olevia materiaaleja sen kuivuessa. Näin voitaisiin antaa hälytys, mikäli osa valetusta lattiasta ei pääsisi esteiden vuoksi kuivumaan kunnolla. Joissain tapauksissa kuvamateriaali oli riittävän laadukasta myös valutyön aloitusedellytysten arviointiin, mutta systemaattisessa tarkistamisessa olisi järkevämpää kuvata alueet esimerkiksi tikun päässä olevan ja alapäin suunnatun kameran avulla.

Haasteita kuvien tulkintaan tuli kypäräkameran ja valetun lattian välisistä näkymäesteistä, joita ovat itse kypärä sekä varastoidut materiaalit. Lisäksi kameran linssien pienehköstä valovoimasta johtuen kuva oli epätarkka, mikäli valettavan lattian alue oli hämärä. Näin esimerkiksi valutyön aloitusedellytyksiä arvioitaessa ei pelkkiä kypäräkamerakuvia tarkkailemalla päästä läheskään samaan luotettavuustasoon kuin tarkkailemalla lattioita lähietäisyydeltä. Joka tapauksessa ero valamattoman ja valetun lattian välillä on niin suuri (kuva 8), että valamisen tunnistamiseen pystyttäneen tehdä automatisoitava algoritmi nykyisen tasoisellakin kuvaaineistolla, kunhan tiedetään vain mistä kohtaa kuva on otettu.



Kuva 9. Valamaton ja valettu kylpyhuoneen lattia

4.4.3 Väliseinäasennus

Lattiavalujen tapaan myös väliseinätöiden eteneminen havaittiin yksinkertaisimmin viikottaisista kypäräkameravideoista. Videoiden lisäksi hyödynnettiin sisäpaikannusta ja olosuhdemittauksia töiden tarkemmaksi ajoittamiseksi. Olosuhdemittauksista esimerkiksi hiukkasmittaukset reagoivat hyvin väliseinätyön suoritukseen, mutta korkeaan hiukkaspitoisuuteen voi olla tietenkin muitakin selittäjiä kuin väliseinätyö, esimerkiksi lattian harjaus. Paikannusdata ei ollut kovin kattavaa, koska väliseinätyöntekijät ottivat paikantimia mukaansa vaihtelevasti.

Väliseinien valmiusastetta arvioitiin videoista manuaalisesti. Havaintoja tehtiin runsaasti, jotta saataisiin opetusaineistoa valmiusasteen tunnistavaa neuroverkkomallia varten. Aikaisempien kokemusten perusteella päädyttiin menetelmään, missä luokitteluvaiheessa ei otettu manuaalisesti kuvaruutukaappausta, vaan muistiin laitettiin valmiusasteen lisäksi kuvauspäivä, kerros ja ajanhetki, jolloin kyseinen seinäosa on näkyvissä kypäräkameravideossa. Tämä nopeutti luokittelutyötä merkittävästi. Manuaalisesti tehty valmiusasteen selvittäminen on mahdollista ratkaista konenäöllä ja hankkeessa kerätyllä opetusdatalla voi päästä jo toimivaan konenäköalgoritmiin.

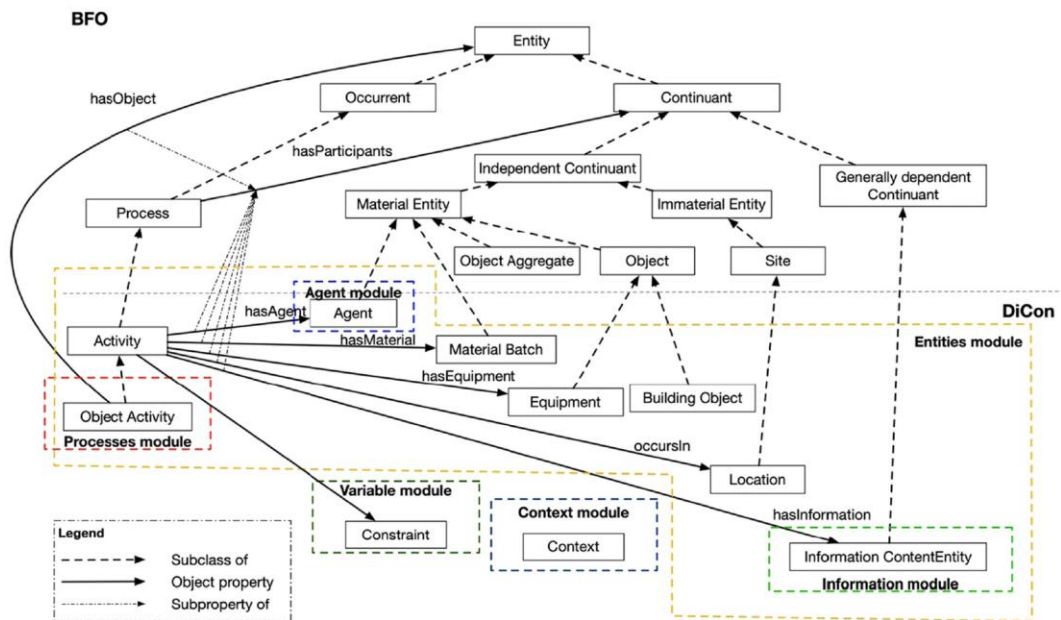
4.5 Tilannekuvan saavuttaminen tietoja yhdistelemällä – ontologioiden rooli

Hankkeessa jatkokehitettiin ja testattiin alunperin Business Finlandin rahoittamassa DiCtion -hankkeessa kehitettyä julkisesti saatavilla olevaa ontologiaa. Yhteistä kieltä eri järjestelmien välillä tarvitaan, koska aiempien käsin tehtyjen tutkimusten tiedot kerättiin erilaisista digitaalisista lähteistä. Erilaista dataa onkin eri muodoissa useissa rakentamisen sovelluksissa mutta mikään niistä ei sisällä kokonaisuutta. Jotta eri sovellukset ymmärtävät asiat samalla tavalla tarvitaan ontologioita.

Ontologiat kuvaavat tiedon tietyllä sovellusalueella ja määrittelevät muodollisesti eri käsitteet ja niiden väliset suhteet. Ontologioiden avulla voidaan paremmin linkittää tietoa mutta myös-

kin muuttaa tieto standardoituun rakenteeseen, jota voidaan hyödyntää mm. tekoälysovelluksissa. Ontologioita onkin kehitetty viime aikoina paljon eri alueilla, mm. osana Platform of Trustia ja osana lukuisia EU:n rahoittamia hankkeita.

Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin DiCon -ontologioita (Zheng, Törmä & Seppänen, 2021). DiCon mallintaa rakennusprosessissa tarvittavat käsitteet ja niiden suhteet sekä uusimpien digitaalisten tilannekuvateknologioiden tuottaman data. Esimerkiksi kuvassa 10 näkyy, miten tehtävä (activity) on prosessi, johon liittyy useita osapuolia. Lisäksi tehtävät tarvitsevat kohteen, materiaalit, kaluston, niihin voi liittyä erilaisia esteitä ja ne tapahtuvat jossain sijainnissa. Jos kaikki rakentamisen sovellukset olisivat käsitteiltään yhteensopivia, tietojen linkitys mahdollistuisi ja voitaisiin tehdä monipuolisia samaan asiaan liittyviä hakuja useiden sovellusten sisältämästä tiedosta.



Kuva 10. Yleinen ontologinen malli (Zheng ym. 2021)

Tässä hankkeessa pyrimme kuvaamaan kuvatiedon muodollisesti siten, että väliseinien tilanne voitaisiin päätellä kuvista. Linkittämällä tiedot paikannustietoon olisi mahdollista arvioida myös työmenekkiä. Kuvat tulkittiin sisällöltään perustuen DiCon -ontologiaan, jonka pohjalta kuvan sisältö luokiteltiin. Kuvassa 11 on esimerkki kuvan sisällön esittämisestä RDF-muodossa.


```

ex:image20210310_1 a dici:Image;
dici:isProducedAt "2021-03-10T14:30:00"^^xsd:DateTime;
dici:isCreatedBy ex:VideoPersonnel;
dici:hasWebAddress "https://aaltofi-my.sharepoint.com/:i:/g/personal/yuan_zheng_aalto_fi/EVqQ_jmtYphCjsP9TpmA8rMBEm-X97Ni60b1Ro3Q7wx5Ng?e=Abra2l"^^xsd:anyURI;
dici:hasCarrier ex:image20210310_1.png;
dici:contentRepresentedIn ex:imageScene20210301_1;
dice:isAbout ex:Wall1A03.

```

```

ex:imageScene20210310_1 a dicc:Context;
dicc:hasContent ex:graph20210301_1.

```

```

ex:Wall1A03 a bot:Element;
bot:hasSubElement ex:Wall1A03Stud;
bot:hasSubElement ex:Wall1A03Electricity;
bot:hasSubElement ex:Wall1A03Panel;

```

```

ex:A03 a dice:Location;
bot:hasElement ex:Wall1A03.

```

```

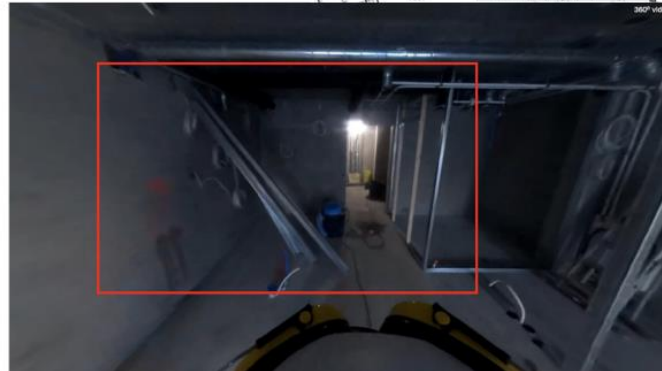
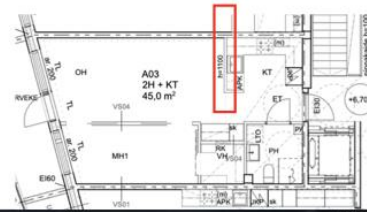
#NamedGraph of ImageScene20210301_1

```

```

ex:graph20210301_1 {ex:Wall1A03Stud diccii:hasVisuality "No".
ex:Wall1A03Electricity diccii:hasVisuality "No".
ex:Wall1A03Panel diccii:hasVisuality "No".
}

```



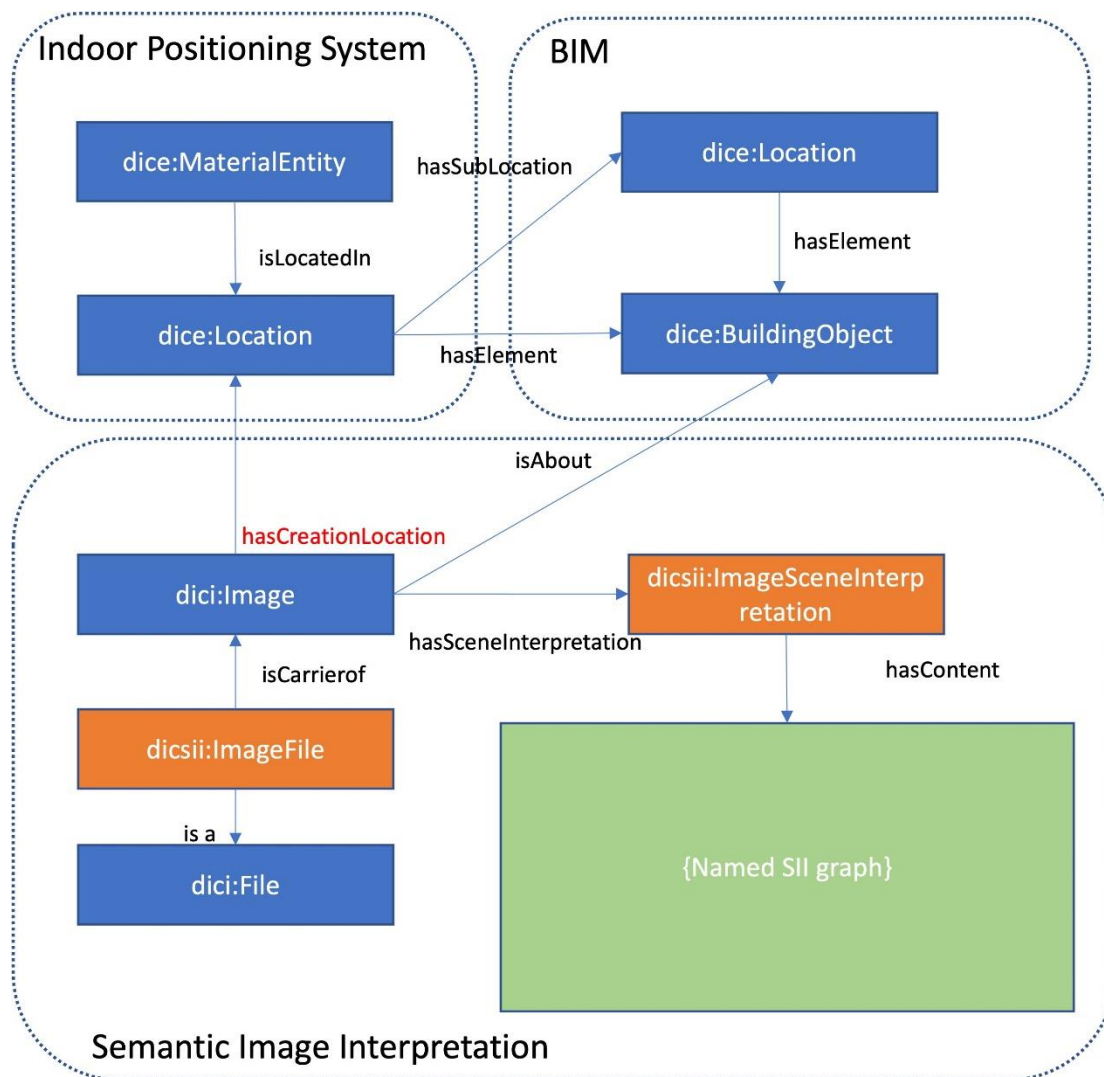
Kuva 11 – esimerkki kuvan tulkinnasta RDF-formaatissa

Tietojen yhdistelyä kuvatietoon testattiin kuvan 12 mukaisesti. Kaikki tieto sisäpaikannuksesta ja tietomallista muutettiin RDF-muotoon ja yhdistettiin yhtenäiseksi RDF-tietokannaksi. Tietomallista saatiin väliseinien suunniteltu sijainti ja sisäpaikannusjärjestelmästä väliseinäasentajien läsnäolo tietyllä aikavälillä. Tietojen yhdistely mahdollistaa useita kiinnostavia analyyssejä. Esimerkiksi voidaan kysyä aikaväliä kahden kuvan välillä, jolloin väliseinän tilanne muuttuu. Samalla aikavälillä voidaan hakea paikannusjärjestelmästä väliseinäasentajan läsnäolot ja tietomallista väliseinän määrätiedot. Menekki voidaan laskea jakamalla asentajien tunnit tietomallin mukaisella, kuvilla toteutuneeksi vahvistetulla määrätiedolla.

Lisää mahdollisuuksia avautuu, jos myös suunnitellut menekit, laskutukset ja aikatauluohjelman sisältämät tiedot linkitettäisiin samaan dataan. Ontologioiden kehitys on käynnissä mutta kaupalliset järjestelmät eivät ole vielä kuvatus esimerkin tavalla yhteentoimivia. Työmaan saama tilannekuva voisi merkittävästi parantua, jos ohjelmistotoimittajat hyödyntäisivät yhteisiä käsitteitä ja niiden suhteita.

4.6 Tilannekuvan mahdollisuudet prosessien analyysissä

Tahtituotanto on yleistynyt konsortion jäsenten keskuudessa. Tilannekuvaa analysoimalla voitaisiin kerätä tahtituotannon jatkuvaa kehittämistä edistävää tietoa. Toistaiseksi automaattisia sovelluksia datan analyysiin ei ole kehitetty, joten tilannekuvaa analysoitiin käsityönä Jami Kajanderin (2021) diplomityössä. Työssä kerättiin videokuvaa asuntokohteen kerroksesta ja työntekijöiden toiminnan pohjalta analysoitiin prosessien virtausta kohteessa.



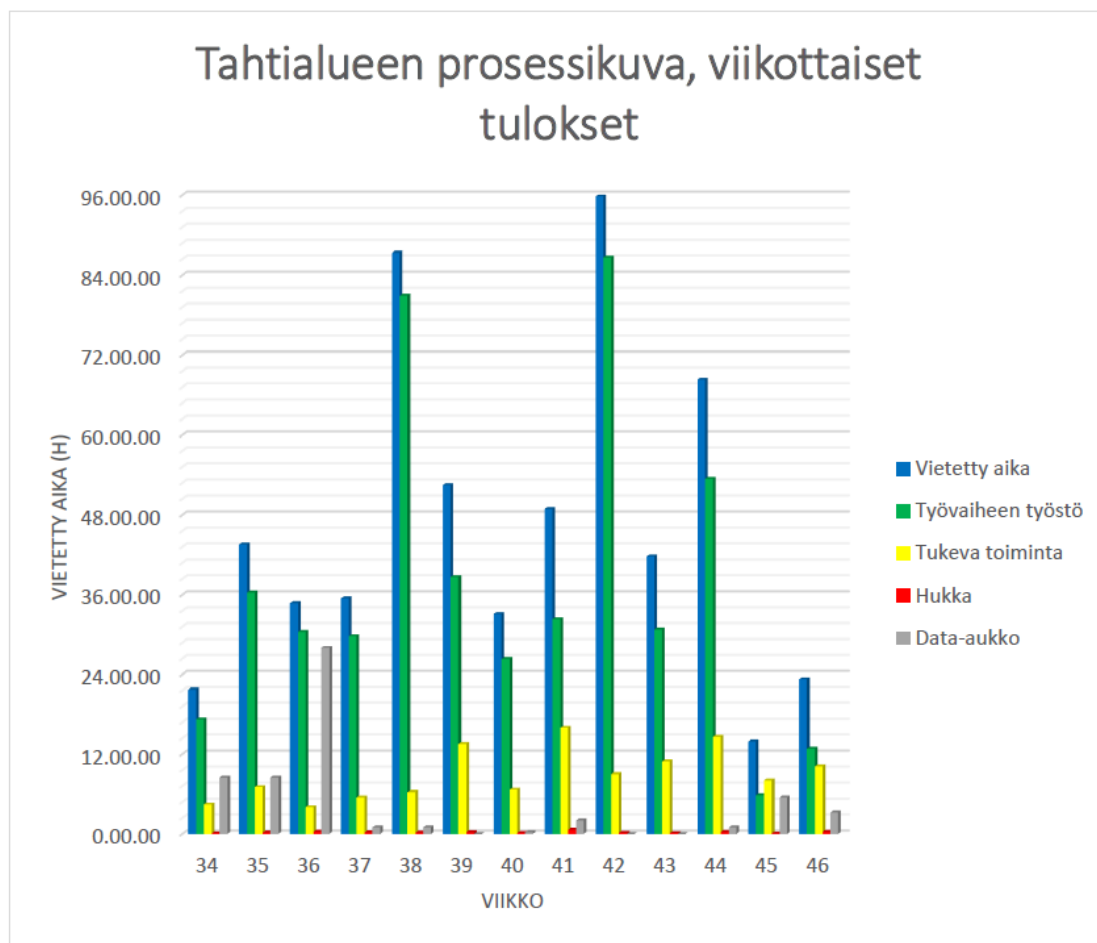
Kuva 12 – DiCon -ontologia käyttö kuvatiedon, tietomallin ja sisäpaikannuksen yhdistämiseen

Tutkimuskohteeksi valittiin 6-kerroksinen ja 2-rappuinen asuinrakennus, jossa oli eri kokoisia vuokra-asuntoja yksiöstä kolmioon. Kerrokset olivat lähes identtisiä. Kohteen tahtiaika oli viisi päivää ja tahtialueena koko asuin kerros, jossa oli 6 asuntoa ja porraskäytävä. Menetelmänä hyödynnettiin videokuvausta ja tavoitteena oli arvioida virtausta määrällisesti. Kuvaus toteutettiin yhdellä tahtialueella, siten että yksi kamera asennettiin porraskäytävään ja kolme kameraa tutkittaviin kahteen asuntoon. Porraskäytävän kameralla oli mahdollista seurata kaikkia liikkeitä kerroksissa ja asuntokameroilla voi arvioida, mitä tapahtui yksittäisessä asunnossa. Tutkimalla kahta asuntoa oli mahdollista arvioida vaihtelua asuntojen välillä.

Videoiden pohjalta kerättiin Excel-taulukkoon kunkin työntekijän saapuminen, poistuminen ja viettämä aika tahtialueella. Lisäksi kirjattiin työntekijän toiminta, jos se oli mahdollista havaita

videokuvasta. Viikkotasolla arvoitiin työntekijöittäin ensimmäinen ja viimeinen käynti työkohteessa, työntekijän viettämä aika työkohteessa sekä tapahtumien määrä tahtialueella. Tapahtumat jaettiin vielä lyhyisiin (alle 1 min), keskipitkiin (1-5 min) ja pitkiin (yli 5 min).

Työssä tehtiin lukuisia erilaisia analyysejä tilannekuvan pohjalta. Työvaiheiden tarkat aloitukset ja lopetukset oli havaittavissa videokuvasta, joten voitiin todeta, että pääosin tehtävät alkoivat ja loppuivat tahtiaikataulun mukaisesti ja poikkeamat olivat yksittäisiä päiviä. Näitä kiinnostavampaa tietoa on katsoa, miten paljon vaihtelua tahtialueen aktiivisuudessa on viikosta toiseen eli onko vaunujen tasapainotus onnistunut. Kuvassa 13 on esitetty viikkokohtaisesti tahtialueella vietetty aika kokonaisuutena, ja paljonko ajasta on varsinaisen työvaiheen tekemistä, tukevaa toimintaa ja hukkaa. Kuvasta voi havaita, että vaihtelevuus viikosta toiseen on suurta eli vaunut eivät ole tasapainossa. Isoimmat piikit viikoilla 38 ja 42 liittyivät maalaukseen, seinän laatoitukseen ja kalusteasennukseen. Silloinkaan kokonaisuutena tahtialueella ei tunnu olevan tungosta, koska kiireisimmillään viikoilla tahtialueella oli keskimäärin 2 henkilöä. Tiedoista voi arvioida, kuinka kireä aikataulu on ollut ja mitä vaunuja voidaan mahdollisesti jatkossa yhdistää. Kuvasta käy ilmi selkeästi myös se, että viikon tahdilla asuntokohteet ovat edelleen varsin tyhjiä ja kun vaihtelua saadaan vähennettyä, läpimenoaikoja voidaan olennaisesti lyhentää.



Kuva 13: Tahtialueella vietetty aika viikoittain (Kajander 2021, s. 39)

Keskeytymätöntä läsnäoloa on aiemmin käytetty hukan mittarina. Sitä on aiemmissa Building 2030 -tutkimuksissa analysoitu paikannuksen avulla mutta siihen pääsee yhtä hyvin käsiksi mestakameroilla. Kajanderin (2021) diplomityössä pitkien yli viiden minuutin käyntien osuus oli suurempi kuin aiemmin raportoiduissa sisäpaikannustutkimuksissa. Keskeytymätöntä läsnäoloa ei ole tutkittu paljon tahtikohteissa ja vaikuttaa siltä, että hukattua aikaa oli tässä kohteessa vähemmän kuin aiemmin raportoiduissa tutkimuksissa. Lisäksi päästiin kiinni alhaisempien prosenttien syihin. Alhaiset keskeytymättömän työn osuudet keskittyivät tehtäviin, joissa logistiikka oli järjestetty heikosti. Väliseinäasennuksilla oli muihin tehtäviin verrattuna alhainen taso (49-56%), mikä selittyi sillä, että kipsilevyt ja rangat oli varastoitu kahteen asuntoon, joista niitä noudettiin levy kerrallaan työn alla olevaan asuntoon. Diplomityön tulokset tukevat aiempia tuloksia siitä, että keskeytymätön läsnäolo on hyvä prosessin mittari.

Kuvista analysoitiin myös paluuvirtausta eli paljonko työntekijät palaavat tehtävänsä jälkeen tahtialueelle. Paluuvirtaus oli pääosin suunniteltua eli samalla työryhmällä oli useita tehtäviä alueella. Suunnittelematonta paluuvirtausta esiintyi myös erityisesti kalusteasentajien, listoitajien ja laminaattiasentajan osalta. Lähes kaikki työntekijät palasivat kuitenkin hakemaan materiaaleja tai välineitä työkohteesta. Paremmalla logistiikalla, työvaiheen valmiiksi tekemisellä ja kuivumisen varmistamisella voitaisiin vähentää tutkimuksen mukaan paluuvirtausta.

Johtopäätöksenä tutkimuksesta voidaan todeta, että kuvamateriaalista voidaan arvioida kolmea datatyyppiä, joita voidaan hyödyntää tahtituotannon kehittämisessä:

- **Toteutuneet aloitukset ja lopetukset tehtävittäin**
- **Toteutunut läsnäolo tahdin aikana, jaettuna lyhyisiin, keskipitkiin ja pitkiin käynteihin**
- **Paluuvirtauksen määrä**

Aloitukset ja lopetukset voidaan päätellä tahtiaikataulun ja läsnäolon perusteella esimerkiksi Zhao ym. (2021) esittelemällä menetelmällä, jossa arvioidaan resurssien läsnäoloa suunnitelun järjestyksen perusteella. Toteutunut läsnäolo mahdollistaa vaunujen paremman tasaamisen jatkossa ja mahdollistaa puuttuvien tehtävien havainnoimisen. Hukan määrää voi arvioida lyhyiden käyntien osuuden perusteella. Paluuvirtaukset johtavat aina sekavuuteen prosessissa, joten niitä pitäisi minimoida. Erityisesti suunnittelematomat paluuvirtaukset viittaavat hukkaan prosessissa.

Jatkossa analyysi olisi automatisoitavissa. Läsnäolon tunnistamiseen urakoitsijoittain on erilaisia teknologioita. Esimerkiksi käsin tapahtuvan videokuvan analyysin sijasta voitaisiin esimerkiksi etälukea työntekijän kypärässä olevia QR-koodeja. Toinen vaihtoehto on sisäpaikannus. Kuvauksen etu sisäpaikannukseen nähden on se, että kaikki toiminta rekisteröityy, kun taas paikannus riippuu asentajan mukana olevasta majakasta tai sovelluksesta. Toisaalta kuva-

aineistosta voi analysoida tarvittaessa tarkemmin juurisyitä poikkeamille. Paikannus on toisaalta toimintavarmempi eikä häiriinny esimerkiksi huonon näkyvyyden vuoksi. Molemmilla tavoilla kerätty tilannekuvatieto mahdollistaisi tahtituotannon reaaliaikaisen analyysin, jos data kerättäisiin ja tunnusluvut laskettaisiin reaaliajassa. Toimittajat ovat jo kehittäneet ratkaisut GDPR-yhteensopiviksi mutta toistaiseksi analytiikka puuttuu.

4.7 Työmaan päätöksentekoa tukevan tilannekuvan vaatimukset

Emma Maliniemi (2022) havaitsi diplomityössään, että nykyiset tilannekuvajärjestelmät eivät onnistu tukemaan useimpia työmaalla tehtäviä päätöksiä. Työssä analysoitiin Firan rakentamaa tilannekuvajärjestelmää ja kävi ilmi, että esimerkiksi tavarantoimitusten reaaliaikaisia ajoitustietoja ja toimitusten sisältöjen tietoja ei ollut digitaalisessa muodossa. Suunnitelmapäivityksistä tuli projektipankista tieto kerran päivässä, mutta sen pitäisi työmaan toiminnan kannalta olla reaaliaikaista. Reaaliaikaisuus toteutui lähinnä olosuhdeseurannan ja työmaan vahvuustietojen osalta. Diplomityön päätuloksena olikin määritellä, minkälainen digitaalinen tilannekuva pitäisi muodostaa, jotta työmaan tärkeimpiä päätöksiä voitaisiin tukea.

Erityisesti aloitusedellytysten varmistamiseen liittyvää tietoa pitäisi lisätä tilannekuvanäkymiin. Näitä ovat esimerkiksi laatuun, aikatauluun, logistiikkaan ja henkilöresursseihin liittyvät tiedot. Tilannekuvan pitäisi automattisesti hälyttää poikkeamista sen sijaan, että niiden seuraamiseen käytettäisiin paljon työmaan aikaa. Aikataulujohtamisen ja laadunhallinnan tietoja pitäisi nykyistä enemmän yhdistellä. Työvaiheiden valmius voidaan todeta laatutarkastusten perusteella ja toisaalta aikataulutehtävien etenemisen pitäisi ohjata laatutarkastusten tekemistä. Aikataulutilanteeseen pitäisi yhdistää käytettävissä olevat asentajat työlajeittain ja keskivahvuus työmaalla, jotta voidaan paremmin ennustaa tulevia häiriöitä. Työturvallisuuteen liittyvät läheltä piti -tilanteet ja tapaturmat sekä ympäristöhavainnot pitäisi myös lisätä.

Pidemmillä aikavälillä pitäisi kehittää ja raportoida lisää tunnuslukuja aikataulutilanteen raportointiin ja tuoda mukaan tietomalli tilanteen ja aloitusedellytysten visualisointiin. Esimerkiksi kosteusmittaustulokset pitäisi digitalisoida siten, että ne voi yhdistää olosuhdetietoihin. Kuivumisen kohteena olevan rakenteen tiedot pitäisi yhdistää kosteusmittauksiin ja olosuhdetietoihin.

Työssä esitetty ideaalinen tilannekuva jakautuu taulukossa 6 kuvattuihin osioihin. Oikean tietosisällön lisäksi tilannekuvan pitäisi olla reaaliaikainen siten, että suurin osa datasta keräytyy automaattisesti ja datan päivittyminen riippuu vain osittain ihmisten päivitysaktiivisuudesta. Näkymien pitäisi olla visuaalisia ja yhdellä silmäyksellä pitäisi nähdä avainasiat. Tilannekuvan pitäisi olla proaktiivinen ja hälyttää poikkeamista ja ohjata toimenpiteisiin. Koska tietoa on paljon, tilannekuvan pitäisi olla personoitu käyttäjän roolin mukaan.

Taulukko 6: Työmaata tukevan tilannekuvan sisältö (muokattuna pohjautuen Maliniemi 2022)

Osa-alue	Esitetyt tiedot	Tiedon lähde
Hälytykset	Hälytykset tilanteissa, joissa poiketaan normaaliarvoista (esim. lämpötila liian alhainen, toimitus myöhässä, suunnitelmamuutos, tapaturma, kustannusylitys)	Reaaliaikainen tietojen yhdistely, hälytysrajat eri osa-alueille
Aloitusedellytykset	Alkavat työvaiheet, materiaalitilanteen tilanne, olosuhteet, edellisen työvaiheen aikataulutilanne, henkilöresurssit (suunniteltu vs. todellinen), edellisen työvaiheen laatu	Tietojen yhdistely – aloitusedellytykset määritetään tehtävittäin ja raportoidaan niiden toteutumista viikon aikana alkaville työvaiheille
Aikataulu	Käynnissä olevat työvaiheet, työvaiheiden aikatauluennuste, tulevat työvaiheet, hankkeen aikatauluennuste, tavoiteltu ja ennustettu luovutuspäivämäärä, nykyisen aikataulun ero yleisaikatauluun, aikatauluhälytykset	Aikatauluohjelmien tuottamia tietoja, vaatii aikataulupäivitysten vertailuja
Tietomalli	Tilanteen visualisointi	Myöhässä, kesken, valmis, tuleva työvaihe. Mahdollisesti esittää myös työkohteet, joissa on aloitusedellytykset
Laatu	Tulevat laatutarkastukset, viimeisimmät laatutarkastukset (ja niiden tilanne), korjaamattomat laatu-poikkeamat, laatu-hälytykset	Laadunhallintajärjestelmä (esim. Congrid)

Työturvallisuus	TR-mittaukset, korjaamattomat ympäristöpoikkeamat, korjaamattomat turvallisuuspoikkeamat, turvallisuushälytykset, tapaturmatomat päivät	Työturvallisuusjärjestelmä (esim. Congrid)
Suunnittelu	Käynnissä olevat suunnittelutehtävät, viimeisimmät suunnitelmamuutokset, tulevat suunnittelutehtävät, suunnitteluun liittyvät hälytykset	Aikataulun ja suunnitteluai- kataulun yhdistäminen, projektipankin analyysi
Hankinta	Käynnissä olevat hankintatehtävät, viimeisimmät suunnitelmamuutokset, tulevat hankintatehtävät, hankintaan liittyvät hälytykset	Hankinta-aikataulun ja suunnitteluai- kataulun yhdistäminen, projektipankin analyysi, (hankintajärjestelmä)
Työmaan vahvuus	Urakoitsijoittain paikalla olevat työntekijät, paikalla viim. 3 vrk aikana, suunniteltu vahvuus, hälytykset	Porttijärjestelmä / resurssi- paikannus yhdistettynä aikatauluun
Kustannusvalvonta	Kustannusvalvontalitteroit- tain valmiusaste, tavoite, budjetti, ennuste, tavoitteen ja ennusteen ero	Valmiusaste aikatauluohjelmasta, muut tiedot kustannusvalvonnasta

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Hankkeessa tutkittiin visuaalisen johtamisen menetelmiä ja digitaalisen tilannekuvan käyttömahdollisuuksia. Teemat liittyivät hyvin toisiinsa, koska toimiva visuaalinen johtaminen edellyttää myös reaaliaikaista tilannekuvaa. Tilannekuvateknologia ei kuitenkaan vielä mahdollista visuaalista johtamista, joten tutkimus visuaaliseen johtamiseen liittyen tehtiin vain osin digitaalisesti tuettuna. Digitaalista tilannekuvaa lähestyttiin hankkeessa erityisesti päätöksenteon näkökulmasta. Tuloksena saatiin esimerkiksi eri tehtäviin liittyvät olennaisimmat päätökset ja todettiin, että suuri osa päätöksistä ei vielä saa tukea digitaalisista järjestelmistä. Potentiaalia päätöksenteon tukemiselle digitaalisesti kuitenkin on ja visuaalinen johtaminenkin on pohjimiltaan asentajatasolla tehtävien päätösten tukemista.

5.1 Miten visuaalinen tiedon jakaminen kaikille projektin työntekijöille vaikuttaa tuloksiin?

Tutkimuksen mukaan asentajat pääosin haluavat lisää tietoa tekemisensä tehostamiseksi ja mielellään osallistuvat visuaalisten työkalujen kehittämiseen ja käyttöönottoon. Alueilla, joilla visuaalinen ohjaus oli käytössä, työt etenivät nopeammin kuin vertailualueilla, jotka olivat muuten samanlaisia mutta visuaalista ohjausta ei ollut käytössä. Yhden hankkeen pohjalta ei voida kuitenkaan vetää yleisiä johtopäätöksiä mutta sekä tutkitun työmaan että osallistuneiden asentajien mielestä visuaalisen johtamisen työkalut tukevat tahtituotannon toteutusta. Hyötyä saatiin eniten silloin, kun tieto oli ajan tasalla. Kun aikataulussa oli viiveitä, eikä tieto päivittynyt visuaalisen ohjauksen työkaluihin riittävän reaaliajassa, visuaalinen ohjaus menetti merkityksensä ja hyötynsä.

5.2 Minkälaiset visuaalisen johtamisen työkalut mahdollistavat työntekijän tilannetietoisuuden hajautetussa tahtituotannossa?

Hankkeessa kokeiltiin useita erilaisia visuaalisen johtamisen työkaluja. Onnistunein oli tahti-aikataulun tuominen työmaalle ja urakoitsijakohtaisen kolmiviikkoisajakataulun näyttäminen samalla taululla. Tiedot päivitykseen sai aikatauluohjelmista mutta haasteena oli tietojen pitäminen ajan tasalla, jos tuotannossa oli viiveitä. Ajantasainen tieto paljastui ehdottomaksi edellytykseksi toimivalle visuaaliselle ohjaukselle. Jos tieto ei ole ajantasaista, luottamus siihen laskee nopeasti ja sen jälkeen työntekijät eivät enää hyödynnä visuaalisia apuvälineitä.

Tahtialueiden merkitseminen auttoi myös mutta erityisesti isojen alueiden, joita ei ollut rajattu väliseinillä, visualisointi oli haastavaa. Case-kohteessa kokeiltiin myös tilakohtaisia tahtikortteja, jossa näkyi tilassa tehtävät työt. Niiden päivitys käsityönä osoittautui kuitenkin liian työ-

lääksi, joten digitaalisia ratkaisuja tarvitaan jatkossa. Visuaalisen johtamisen määritelmän mukaan tiedon pitää olla nähtävissä yhdellä silmäyksellä, joten esimerkiksi sovellus, josta etsitään tietoa, ei kuitenkaan ole visuaalista johtamista.

5.3 Suunnittelujohtajan päätökset ja niihin liittyvä digitaalinen tilannekuva

Tutkimuksessa selvitettiin suunnittelujohtajan tärkeimmät päätökset. Keskeisimmät päätökset liittyvät suunnitteluehdotusten arviointiin ja hyväksyntään, suunnitteluryhmän johtamiseen, suunnittelun tavoitteiden asettamiseen, suunnitteluajakataulujen hyväksyntään ja erilaisten menettelytapojen valintaan. Päätökset perustuivat lähinnä kokouksiin ja kokousten pöytäkirjoihin. Tilannekuvan kerääminen pöytäkirjoista on työlästä ja aikaa vievää.

Digitaalisessa muodossa löytyi lähinnä suunnitteluajakataulu ja Last Planneriin pohjautuvat tehtävähallintasovellukset. Niistäkin puuttui automatiikka. Suunnitteluajakataulut olivat Excelissä ja Last Planneria tehtiin edelleen yleisillä ohjelmistoilla, vaikka tarkoitusta varten on kehitetty erillisratkaisuja. Päätöksentekoa varten hyödyllistä tietoa oli vaikea löytää datasta.

Johtopäätöksenä suunnittelun tilannekuva on vielä pitkälle digitalisoimatta. Digitaalisen ratkaisun pitäisi hallita systemaattisesti tehtävälistoja mahdollisesti standardoidulla sisällöllä ja seuraamalla päätösten edistymistä. Kun suunnittelussa mennään pidemmälle ja aletaan tuottaa esimerkiksi tietomallinnettua sisältöä, tilannekuvajärjestelmään pitäisi lisätä tietomallin analytiikkaa. Esimerkiksi mallinnuksen alkuvaiheessa malliin lisätään elementtejä. Yhteensovitusvaiheessa elementtien sijainnit muuttuvat ja törmäykset vähenevät. Detaljoinnissa elementtejä korvataan tarkemmilla. Jatkotutkimuksessa onkin selvitettävä, miten suunnittelun tilanteen voitaisiin automaattisesti arvioida BIM-malleissa tapahtuvista muutoksista. Lisäksi pitäisi selvittää, miten tehtävähallintajärjestelmät ja mallien tarkkuustasot pitäisi liittää automaattiseen analysointijärjestelmään. Jatkotutkimus aiheesta on käynnissä.

5.4 Työmaan päätökset ja niiden digitaalinen tuki

Vaikka lähtöoletus oli, että tilannekuvassa ollaan työmaan tuotannossa jo pitkällä, oli yllätys, että suurimpaan osaan työmaan tekemistä päätöksistä ei löytynyt tukea digitaalisista järjestelmistä, vaan edelleen oltiin pitkälti työmaakierrosten ja kokouksien varassa. Työryhmätyöskentelyssä pohdittiin, minkälainen tilannekuvajärjestelmä parhaiten palvelisi työmaan tarpeita. Nykyiset sovellukset eivät vielä kykene kattamaan tärkeimpiä työmaan päätöksiä, vaan tarvitaan lukuisia erillisiä sovelluksia ja iso osa asioista pyörii vielä Excelissä tai kokousten muihin välineisiin.

Tutkimuksessa tehtiin erilaisia testejä esimerkiksi työvaiheiden etenemisen digitaaliseen seurantaan liittyen. Tässä on runsaasti potentiaalia. Markkinoilla olevat tilannekuvasovellukset eivät kuitenkaan vielä tee automaattisesti analyysiä ja raakadatasta päätöksentekoa helpottavat

analyysit ovat hyvin työläitä tehdä. Hankkeessa tehtiin esimerkiksi pelkästään digitaaliseen aineistoon perustuva elementtiasennuksen hukan analysointi ja päästiin elementtityypeittäin kestojen hajontaan kiinni. Vastaavasti olisi mahdollista automaattisesti valvoa väliseinien etenemistä ja laskea tarkka työmenekki reaaliajassa. Tiedot olisivat hyödyllisiä, jos niistä saisi automaattisia hälytyksiä esimerkiksi normaalia pidemmistä nostoajoista, tietoja toistuvista ongelmista tai äkillisesti nousseesta työmenekistä. Tämä vaatii jatkossa automaattista tilannekuvan tehtäväkohtaista analyysiä, jonka pohjalta päätöksentekijät voivat toimia.

Kattava tilannekuva vaatii useiden eri sovellusten yhdistämistä. Tällä hetkellä haasteena on se, että mistään standardoiduista käsitteistöistä ei ole sovittu ohjelmistotoimittajien kesken, joten ohjelmistojen liittäminen toisiinsa on työlästä. Tarvitaan tilannekuvaan oma ”IFC”:tä vastaava standardi, joka ei kuitenkaan ole tiedostopohjainen. Aiemmassa tutkimuksessa on esitetty yhteisen ontologian käyttöönottoa ja julkaistu Dicon -ontologia tukemaan digitaalista rakentamista (Zheng ym. 2021). Dicon voisikin toimia pohjana jatkokehitykselle.

Lähdeluettelo

Endsley, M.R. (1995), "Toward a theory of situation awareness in dynamic systems", *Human Factors*, Vol. 37 No. 1, pp. 32-64.

Formoso, C.T., Santos, A.D and Powell, J. (2002), "An Exploratory Study on the Applicability of Process Transparency in Construction Sites", *Journal of Construction Research*, 3(1), pp. 35-54.

Frandsen, A., & Tommelein, I. D. (2014). "Development of a takt-time plan: A case study". In Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network, pp. 1646-1655.

Galsworth, G.D. (1997). "Visual Systems: Harnessing the Power of Visual Workplace", New York, USA, AMACOM.

Greif, M. (1991). "The Visual Factory: Building Participation through Shared Information", Productivity Press, Portland.

Grönvall, M., Ahoste, H., Lehtovaara, J., Reinbold, A., and Seppänen, O. (2021). "Improving Non-Repetitive Takt Production with Visual Management." 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Tommelein, I.D. and Daniel, E. (eds.), Lima, Peru, pp. 797–806.

Hänninen, A., (2022). "Suunnittelun tilannekuvan tapaustutkimus". Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Kajander, J. (2021). "Prosessien virtauksen mittaaminen tahtituotannossa". Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Koskela, L., Tezel, A., and Tzortzopoulos, P. (2018). "Why visual management?" In: Proc. 26th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction (IGLC), González, V.A. (ed.), Chennai, India, pp. 250–260. DOI: doi.org/10.24928/2018/0527.

Lehtovaara, J., Heinonen, A., Lavikka, R., Ronkainen, M., Kujansuu, P., Ruohomäki, A., Örmä, M., Seppänen, O., and Peltokorpi, A. (2020). "Takt Maturity Model: From Individual Successes Towards Systemic Change in Finland." 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Berkeley, California, USA, pp. 433–444.

Maliniemi, E. (2022). "Digitaalisen tilannekuvan hyödyntäminen rakennusprojektin päätöksenteossa ja johtamisessa". Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Reinbold, A., Seppänen, O., and Peltokorpi, A. (2020). "The Role of Digitalized Visual Management to Empower Self-Managed Crews in Construction Projects." 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Berkeley, California, USA, pp. 925–935.

Sarter, N.B. and Woods, D.D. (1991), "Situation awareness: a critical but ill-defined phenomenon", *International Journal of Aviation Psychology*, Vol. 1 No. 1, pp. 45-57.

Schöttle, A., and Nesensohn, C. (2019). "The Beauty of a Phase-overlapping Last Planner System with incorporated Takt." 27th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction (IGLC), Dublin, Ireland, pp. 441–450.

Väisänen, E. (2021). "Visuaalisten työkalujen implementointi tahtituotannossa". Erikoistyö, Aalto-yliopisto.

Zeisel J., (1981), "Inquiry by design: Tools for Environmental Behavior". Research, Brooks-Cole, Monterey, California, 1981, pp. 6-17.

Zhao, J., Pikas, E., Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2021). Using real-time indoor resource positioning to track the progress of tasks in construction sites. *Front. Built Environ*, 7, 661166.

Zheng, Y., Törmä, S., & Seppänen, O. (2021). A shared ontology suite for digital construction workflow. *Automation in Construction*, 132, 103930.