



Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden
korkeakoulu

Building 2030: Digitaalisesti tuettu tahtituotanto Loppuraportti

Kirjoittajat:

Aalto-yliopiston tutkijat: Olli Seppänen, Antti Peltokorpi, Jaakko Riekk

Aalto-yliopiston opiskelijat: Leeni Nieminen, Severi Särkilähti, Otto Vihavainen,
Teemu Alaluusua, Tapio Pulkkinen



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

17.1.2024

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
1.1	Tutkimuksen tausta	3
1.2	Tutkimuksen tavoite	3
1.3	Tutkimusmenetelmät	3
2	Tahtihankkeen digitaalinen jalanjälki	4
2.1	Case-hankkeiden ja aineiston kuvaus	4
2.2	Digitaalinen tuki tahdin ohjaukseen	4
3	Digitaalisesti tuettu tahtituotanto – vaatimukset ohjelmistokehittäjille	15
3.1	Havaintoja nykytilasta	15
3.2	Digitaalisesti tuettu tahtituotanto tulevaisuudessa	16
4	Toimitusketjujen digitaalinen hallinta tahtituotannossa	18
4.1	Tutkimuksen tausta, tavoite ja menetelmät	18
4.2	Digitaalisesti hallittujen toimitusketjujen tavoiteprosessit	19
4.3	Maturiteettimalli kohti digitaalista toimitusketjujen hallintaa	22
5	Yhteenveto ja johtopäätökset	28
	Lähdeluettelo	30

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Aiempina vuosina Building 2030 –konsortio on rahoittanut tutkimusta sekä tahtituotantoon että uusiin, digitaalisiin työkaluihin liittyen. Konsortion tuella Suomea pidetään tahtituotannon edelläkävijämaana ja esimerkiksi Power ym. (2023) katsauksen mukaan Suomesta on tullut eniten tieteellisiä artikkeleita tahtituotantoon liittyen. Digitaalisia työkaluja on käytetty konsortion hankkeissa jo pitkään mutta uudet, tekoälyyn ja digitaaliseen tilannekuvaan liittyvät järjestelmät ovat vasta pilotointivaiheessa. Luonteva jatkohanke tahtituotantoon liittyen olikin selvittää, miten digitaalisuus näkyy tahtituotannossa, ja miten tietoa pitäisi tahtituotantoympäristössä hallita?

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää uusien digitaalisten sovellusten nykytilaa tahtituotannossa ja pohtia vaatimuksia digitaalisille järjestelmille. Tämä tehtiin tutustumalla case-hankkeisiin, joissa käytettiin tahtituotantoa ja joissa oli jo käytössä tai oltiin ottamassa käyttöön digitaalisia työkaluja. Erityisen kiinnostuksen kohteena oli digitaalisen tilannekuvan yhdistäminen tahtituotantoon ja toimitusketjujen hallinta tahtihankkeessa.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Hankkeessa tehtiin useita osatutkimuksia, joissa kaikissa hyödynnettiin case-kohteita. Yhtenä näkökulmana oli onnistuneisiin case-kohteisiin tutustuminen. Näistä caseista selvitettiin digitaalisten järjestelmien roolia. Lähtöoletuksena oli, että onnistuneimmat case-hankkeet hyödyntävät myös edistynyttä teknologiaa. Toisessa osatutkimuksessa selvitettiin, miten digitaalisesta tahtihankkeesta saatavia tietovirtoja voidaan hyödyntää häiriöiden tunnistamiseen ja ohjauskeinojen valintaan. Kolmas näkökulma oli aloitusedellytysten hallinta tahtihankkeessa. Lisäksi perehdyttiin päivittäisjohtamisen digitaalisiin työkaluihin ja toimitusketjujen digitaaliseen hallintaan. Vaikka osatutkimuksissa olikin omat tapansa käsitellä caseista kerättyä aineistoa, tässä raportissa pyritään pohtimaan laajemmalti digitaalisen tahtituotannon nykytilaa ja vaatimuksia tulevaisuuden järjestelmille.

2 Tahtihankkeen digitaalinen jalanjälki

2.1 Case-hankkeiden ja aineiston kuvaus

Yhteensä eri osatutkimuksissa perehdyttiin kahdeksaan rakennushankkeeseen. Asuntokohteita oli kaksi ja hotellikohteita kolme, joista yksi hotellisaneeraus. Lisäksi mukana oli yksi toimitilahanke, linjasaneeraushanke ja sairaalan peruskorjaushanke. Hankkeiden pää toteuttajat olivat konsortion jäseniä. Tutkittavia hankkeita saatiin neljältä yritykseltä.

Case-hankkeita tutkittiin erillisissä osatutkimuksissa. Hankkeen yhteydessä tehtiin kolme diplomityötä. Leeni Nieminen (2023) tutki datavirtojen käyttöä häiriöiden analyysiin. Severi Särkilähti (2023) selvitti aloitusedellytysten hallinnan parhaita käytäntöjä. Otto Vihavainen (2023) tutki päivittäisjohtamista tahtituotannossa. Eri hankkeista saatiin siis tuloksia varsin erilaisista näkökulmista. Digitaalisen tahtituotannon osalta tulokset perustuvat diplomitoihin ja kuukausittaisiin tutkijakokouksiin, joissa käsiteltiin caseja digitaalisesti tuetun tahtituotannon näkökulmasta. Diplomitoiden lisäksi tohtorikoulutettava Jaakko Rieki perehtyi syvällisesti yhteen case-hankkeeseen, jossa sovellettiin onnistuneesti 4 h tahtia (Rieki ym. 2023). Kansainväliseksi verrokiksi otettiin saksalainen Weisenburger, jonka toimintaan tutustuttiin toimitusjohtajaryhmän matkalla keväällä 2023.

2.2 Digitaalinen tuki tahdin ohjaukseen

2.2.1 Case Annankadun hotelli

Jaakko Rieki tutki onnistuneeksi koettua tahtituotannolla toteutettua hanketta (Rieki ym. 2023). Case-hanke oli hotellisaneerauskohde, jossa käytettiin rakentamisessa poikkeuksellisen lyhyttä neljän tunnin tahtiaikaa. Kohteen tahtiaikataulu tehtiin taulukkolaskentaohjelmalla, jota käytettiin myös aikataulun seurannan ja ohjauksen työkaluna. Materiaalivirtojen hallintaan käytettiin digitaalista logistiikkaohjelmistoa, johon tahtiaikataulu vietiin. Logistiikkaohjelmistossa tehtiin vaunukohtainen materiaalisuunnittelu ja sitä käytettiin toimitusten kotiinkutsupyynnöihin.

Tutkimuksen tavoite oli laajempi kuin digitaalisesti tuettu tahtituotanto. Tavoitteena oli selvittää, voiko tahtituotannon avulla tehdä laajempaa muutosta eri lean-rakentamisen menetelmien yhdistämiseksi. Aineistona käytettiin työmaakäyntejä ja havainnointia, haastatteluja, tuotannon suunnittelun ja ohjauksen aikana kertynyttä dokumentaatiota, digitaalisen logistiikka- ja laadunhallintaohjelmistojen tietosisältöjä sekä muita yleisiä hankkeen tietoja. Kuvassa 1 on esitetty lean-rakentamisen käytännöt, joihin hankkeessa perehdyttiin.

Mahdollistavat vaatimukset	Tukevat olosuhteet	Tahtituotanto	Työkalut
Johdon tuki	Yhteistyö	Pieni erä koko (tahtiaika 4 tuntia)	Visuaalinen johtaminen
Suunnitteluun panostaminen	Jatkuva parantaminen	Päivittäisjohtaminen	Koerakentaminen
	Suunnittelun kytkentä	Tahdin ohjauskeinot	Digitalisaatio
	Logistiikan kytkentä		

Kuva 1: Case-hankkeessa esiintyneet lean-rakentamisen käsitteet ryhmiteltynä. Kuva Riekkimä (2023), käännetty suomeksi.

Johdon tuki näkyi työmaalla etenkin tahtiaikataulun sekä materiaalivirtojen ennakkosuunnittelun tavanomaista suurempina panostuksina. Myös toteutuksen aikana johto säilyi tinkimättömänä tahtituotannon soveltamisen suhteen ja sparrasi hankkeeseen osallistunutta henkilöstöä sen toimeenpanemiseksi. Tahti tarjosi johdolle selkeän ja tehokkaan välineen luoda painetta kaikille osapuolille toteuttaa hanke suunnitelman mukaisesti.

Tuotannon suunnitteluun panostettiin tavanomaista enemmän. Lyhyt tahtiaika ja sen myötä pieni erä koko edellytti työvaiheiden yksityiskohtaisen suunnittelun. Myös materiaalitoimitusten sisältö ja toimitusaikataulu suunniteltiin neljän tunnin tahtia vastaavassa eräkoossa.

Yhteistyön merkitystä korostettiin sekä toteutuksen suunnittelussa että ongelmien ratkaisemisessa toteutuksen aikana. Hankkeessa muodostui yhteistoiminnallisuuden malli, jonka tarkoituksena oli saattaa osapuolet yhteen suunnittelemaan ennalta ja ratkomaan ongelmia. Tahti oli yhteistyössä keskiössä, koska se tarjosi suunnan ja raamit hankkeen tavoitteiden toteuttamiseksi.

Jatkuvaan parantamiseen pyrkiminen tunnistettiin tärkeäksi osaksi jokapäiväistä toimintaa, ja tarkasti suunniteltua tahtiaikataulua kyettiin käyttämään tehokkaasti poikkeamien havaitsemiseksi suhteessa tavoitetilään. Haastatteluiden perusteella useita hukan lähteitä kyettiin poistamaan töiden edetessä. Päivittäisjohtamisen yhteydessä kerättyjä poikkeamalistoja ei kuitenkaan onnistuttu käyttämään jatkuvaan parantamiseen niin tehokkaasti kuin olisi toivottu.

Suunnittelun kytkentään tahtituotantoon panostettiin tutustuttamalla suunnitteluryhmää tahtituotannon periaatteisiin sekä kutsumalla heitä vierailemaan työmaalla. Suunnittelijoita pyrittiin sitouttamaan lyhyeen vasteaikaan, jotta ongelmia kyettäisiin ratkaisemaan lyhyen tahtiajan tarpeiden mukaisesti. Haastatteluiden perusteella yhteistyö suunnittelijoiden ja työmaan välillä oli toimivaa.

Logistiikan kytkentä tahtiaikatauluun ymmärrettiin onnistumisen edellytykseksi ja sekä materiaalivirtojen suunnitteluun että toimitusten toimeenpanoon panostettiin. Asennustyö ja logistiikkatyö eriytettiin toisistaan käyttämällä erillistä logistiikkaoperaattoria, joka hallinnoi materiaalivirtoja digitaalisen logistiikkajärjestelmän avulla. Suuret materiaalit toimitettiin välivaraston kautta tahtiaikatauluun kytkettyinä juuri oikeaan aikaan -toimituksina.

Tahtiaikataulun pieni neljän tunnin tahtiaikaa vastaava eräköko koettiin erittäin onnistuneeksi ratkaisuksi, vaikka se alussa herättikin epäilyksiä. Pieni eräköko ohjasi tarkkaan töiden ennakosuunnitteluun ja teki puskurit tavanomaista näkyvämmiksi. Pieni eräköko mahdollisti myös tarkan valvonnan ja siten hyvän tilannekuvan töiden etenemisestä ja ongelmista. Pieneen eräkökoon suunniteltu tahtiaikataulu koettiin myös joustavaksi muokata ja ohjata. Haastatteluiden perusteella suurentunut seurantakirjausten määrä koettiin tavanomaista kuormittavampaa tuotannonohjauksen näkökulmasta, mutta hallinnan tarkkuudesta saatu hyöty ylitti haitat.

Päivittäisjohtaminen näkyi parhaiten päivittäisjohtamisen palaverien pitämisenä. Päivittäispalaverissa kirjattiin toteumat näkyvillä olleelle suurelle paperiselle tahtiaikataulutulosteelle. Samanaikaisesti toteumat kirjattiin digitaaliseen aikatauluun ja esiin tuodut ongelmat kirjattiin taulukkoon. Esiin tuotuja ongelmia lähdettiin yhteistyössä ratkomaan heti palaverin jälkeen. Päivittäispalaverit saattoivat ajoittain venyä noin 15 minuutin tavoitteesta noin 30–45 minuutin pituisiksi, mikä koettiin jossain määrin turhauttavaksi. Haastatteluiden perusteella päivittäisjohtamisen palaverit kuitenkin auttoivat tukemaan nopeaa ongelmanratkaisua ja yhteisen tilannekuvan jakamista.

Tahdin ohjauskeinoista radikaalein oli tuotantojunan pysäyttäminen kahdeksi viikoksi viivästyneen työvaiheen jälkeiseltä osalta. Pysäytyksen aikana tämä työvaihe saatiin kurottua kiinni, ja tuotantoa jatkettiin sen jälkeen muokatulla tahtiaikataululla. Muita ohjauskeinoja oli esimerkiksi yksittäisten poikkeavien ja ongelmaksi muodostuneiden hotellihuoneiden yli hyppääminen, vaunujen sisältöjen tarkentaminen ja puskureiden muokkaaminen.

Visuaalisen johtamisen välineinä oli suuret aikataulutulosteet, joita sijoitettiin päivittäispalaverialueen lisäksi kerrosten rappukäytäviin, ja lattioihin maalatut tahtiaikataulua vastaavat huonenumerot. Lisäksi päivittäispalaverialueella oli infonäytöt, joissa pyöritettiin kahta eri animatiota: yhdessä näytettiin 4D-aikataulun omaisesti yhden hotellihuoneparin kaikki vaunut, ja toisessa näytettiin kerrospohjakuvien päällä näkyvää tahtijunan etenemistä rakennuksen läpi.

Yhden hotellihuoneen koerakentaminen (*first-run study*) toteutettiin työmaan ulkopuolelle tavoitteena tunnistaa toteutuksessa ilmeneviä ongelmia. Haastatteluiden perusteella tämä koettiin kuitenkin hieman epäonnistuneeksi, koska siihen ei panostettu riittävästi, ja koehuone ei vastannut kaikilta osin todellista rakentamispaikkaa, eikä se siten kyennyt paljastamaan kaikkia ongelmia.

Digitalisaation osalta hanke oli enimmäkseen tavanomainen. Aikataulu tehtiin ja sitä seurattiin taulukkolaskentaohjelmalla aikatauluohjelmistojen sijaan. Laadunhallinnassa käytettiin digitaalista pilvisovellusta, mutta siitäkin puuttui tahtituotannon kannalta tarpeellisia ominaisuuksia. Tärkein digitaalinen ratkaisu työmaan onnistumisen kannalta oli logistiikkaurakoitsijan

käyttämä materiaalivirtojen hallintajärjestelmä. Tahtiaikataulu vietiin järjestelmään kokonaisuudessaan, ja jokaiselle vaunulle syötettiin sen tarvitsemat materiaalit. Järjestelmää käytettiin materiaalien keräilyyn välivarastolta ja toimituksiin juuri oikeaan aikaan -periaatteella työmaalle.

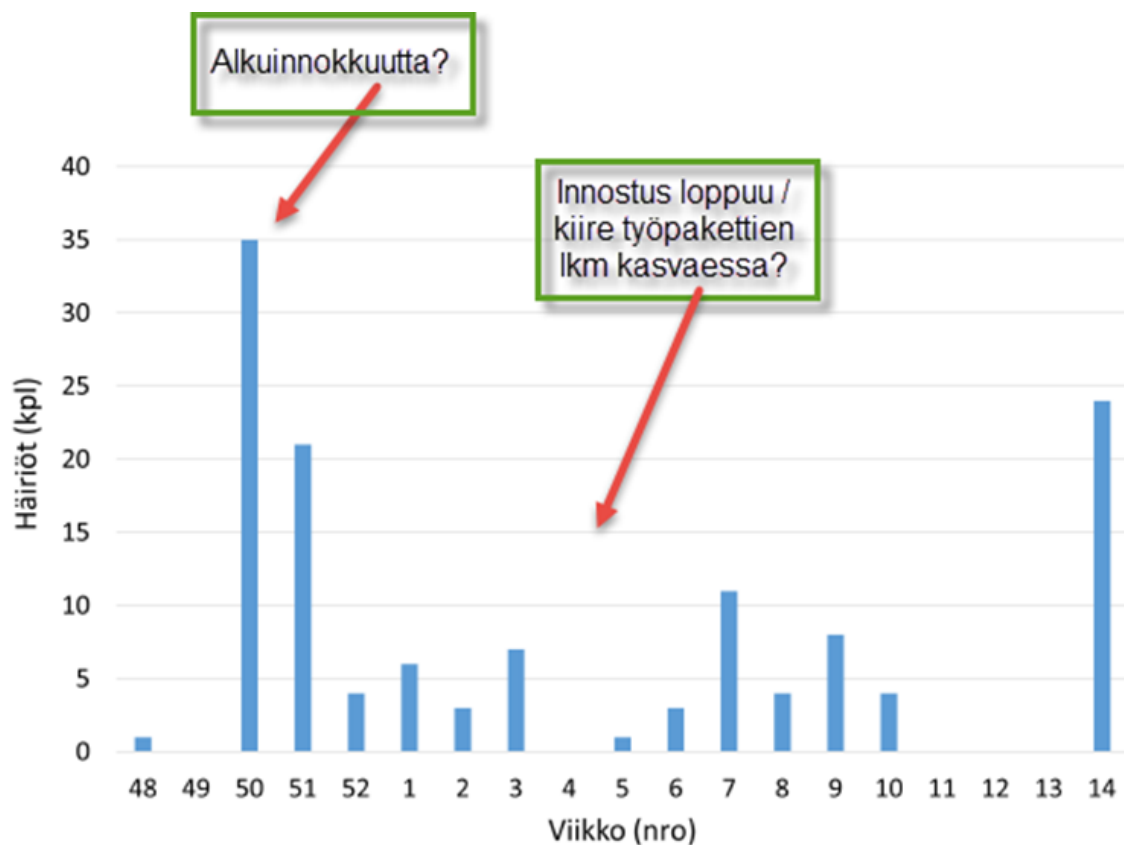
Digitalisoidun tahtituotannon näkökulmasta olennainen havainto oli, että digitaalisten työkalujen merkitys korostuu pienellä eräkoolla. Tahtituotanto kasvattaa datamäärää niin tahtisuunnittelussa, tahtiohjauksessa kuin materiaalivirtojen hallinnassakin. Tahtiaikataulun tarkkaan suunnitteluun liittyvän tiedon hallinta koettiin työlääksi sopivan aikatauluohjelmiston puutteen takia. Erityisesti aikataulun päivittäminen ohjauskeinojen myötä työllisti tuotannonohjauksen henkilöstöä ajoittain runsaasti. Materiaalivirtojen hallintajärjestelmä puolestaan oli esimerkki onnistuneesta digitaalisesta ratkaisusta. Logistiikkaurakoitsija kehitti tätäkin järjestelmää yhdessä ohjelmistotoimittajan kanssa, jotta järjestelmä sopisi paremmin pienen eräkoon hankkeeseen.

2.2.2 Järjestelmissä olevat tiedot poikkeamista

Leeni Nieminen (2023) tutki diplomityössään tahtihankkeesta digitaalisesti kerätyn datan mahdollisuuksia häiriöiden analyysiin. Case-hanke oli toimitilahanke, jonka tahtiaika oli yksi viikko. Kohteessa oli käytössä tahtiaikatauluohjelmisto ja logistiikkaohjelmisto. Tahtiohjelmistosta löytyi tahtiaikataulu, häiriöiden luokittelu ja toteutunut alkuhetki ja loppuhetki työpaketeille. Logistiikkaohjelmistosta löytyi materiaalisuunnittelu työpaketeittain ja kotiinkutsupyynnöt toimituksille.

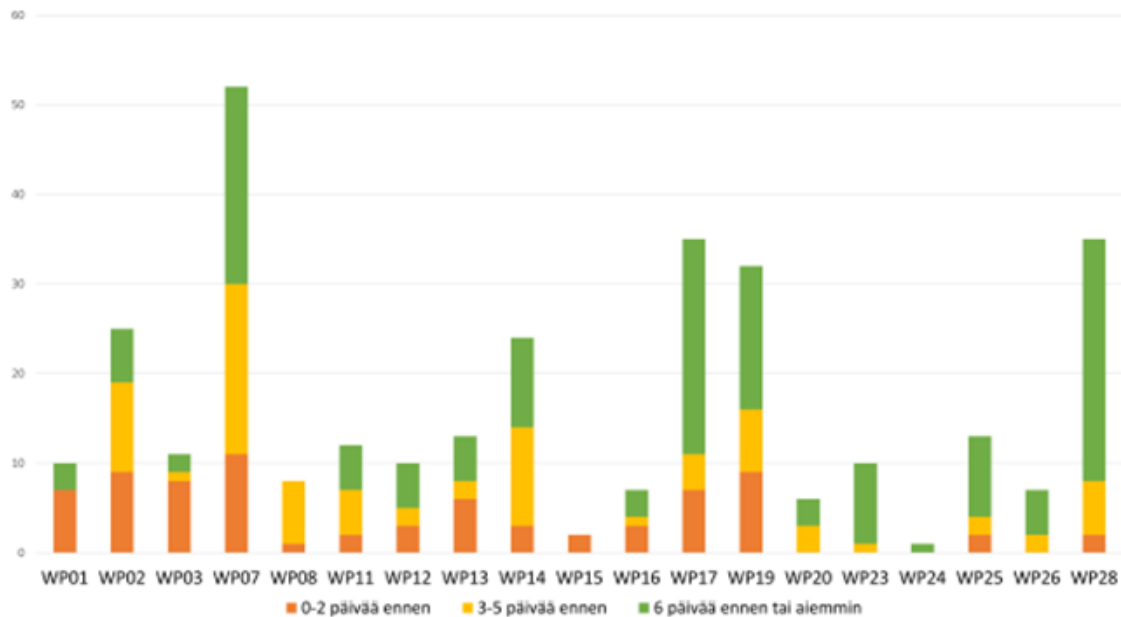
Aineisto käsitti 20 viikkoa, 55 tahtialuetta ja 1061 työpakettia, jotka jakautuivat 36 työpaketitunnukseksi. Työpaketeista selvitettiin, valmistuivatko ne aikataulussa vai myöhässä. Myöhästymisen syyt oli toisinaan syötetty järjestelmään. Myöhästymisiä yritettiin myös selittää materiaalitilauksen ajankohdalla. Tilaukset luokiteltiin perustuen tilausaikaan tarpeeseen nähden (>6 pv, 3-5 päivää tai <2 päivää ennen saapumista).

Pääosa häiriöistä liittyi materiaalien (27 %) tai suunnitelmien (24 %) puuttumiseen. Urakoitsijoihin (17 %), edelliseen työvaiheeseen (14 %) tai osittain tehtyyn työhön liittyvien (18 %) häiriöiden osuus oli myös merkittävä. Kiinnostava tulos oli häiriöiden painottuminen tahtituotannon alkuun, vaikka silloin käynnissä oli vähemmän työpaketteja. Tämä voi selittyä "alkuinnostuksella". Todennäköisesti häiriöt ovat jatkuneet myös tahtituotannon aikana mutta niitä ei ole systemaattisesti kirjattu (Kuva 2)



Kuva 2: Kirjattujen häiriöiden lukumäärä viikoittain. Kuva Nieminen (2023), lisätty nuolet ja tekstiit

Logistiikkajärjestelmän analyysi työpaketeittain osoitti, että materiaalitulaukset tehtiin kiiretilauksena 0–2 päivää aiemmin useille työpaketeille (kuva 3). Joidenkin työpakettitunnusten osalta parempi materiaalisuunnittelu näytti liittyvän myös vähempiin häiriöihin.



Kuva 3: Tilausajankohta toimitukseen nähden eri työpakettitunnuksille (Nieminen 2023)

Kohteessa ei käytetty uusia tilannekuvajärjestelmiä, vaan varsin perinteisiä digitaalisia sovelluksia (aikatauluohjelma ja logistiikkaohjelma). Tahtiohjelmistot mahdollistavat työpakettien tilanteen syöttämisen reaaliajassa. Pääosin tiedot päivitettiin kuitenkin kerran viikossa tahtipalaverissa. Palaverissa loppui aika kesken, mikä johti siihen, että päivitykset tehtiin huolimattomasti tai niitä ei jatkettu loppuun. Ohjelmistoista ei selviä, onko päivitys unohtunut vai onko kyseessä todellinen viive. Häiriöiden syöttäminen oli myös puutteellista. Jos häiriöiden syitä ei systemaattisesti kirjata, niitä on vaikea analysoida jälkikäteen.

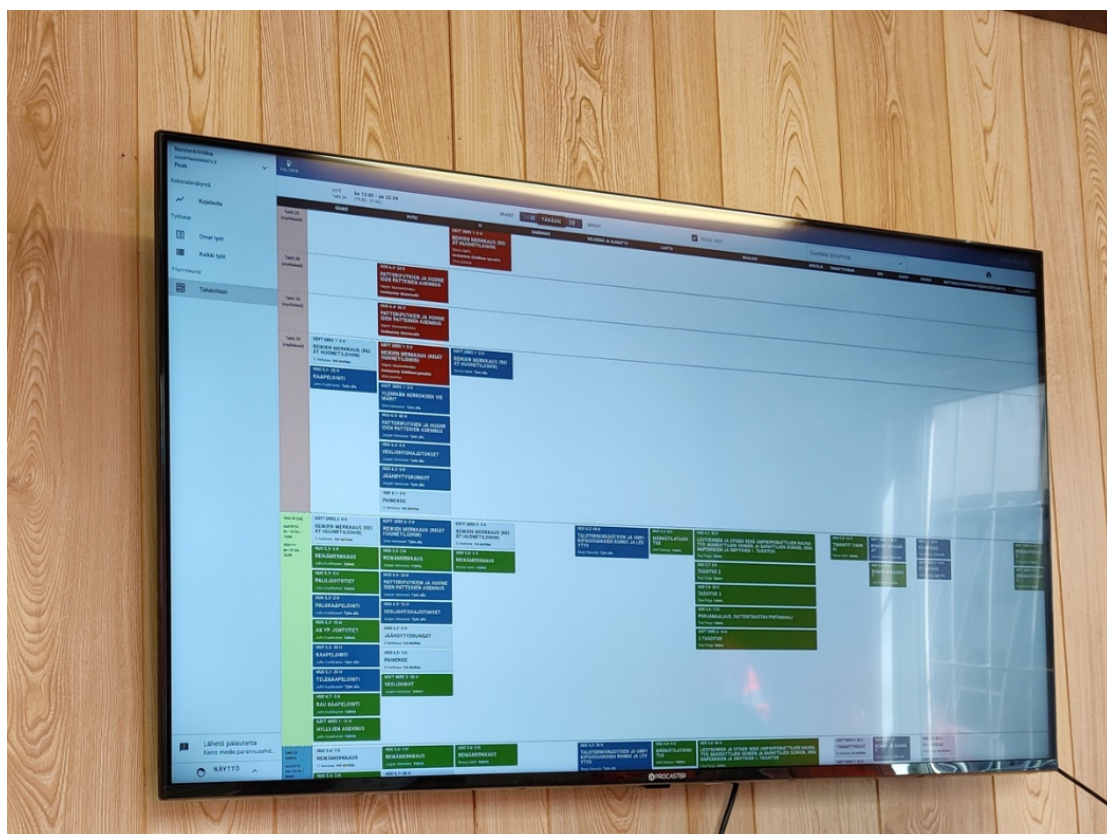
Diplomityöstä nousi esille myös aikataulun päivittämisen tärkeys. Tahtituotannossa viiveet kasaantuvat helposti siten, että edellisen työpaketin viive vaikuttaa seuraavaan. Jos aikataulua ei päivitetä, myöhästyneiden työpakettien osuus kasvaa hankkeen edetessä. Tahtituotannosta saadaan erilainen kuva, jos aikataulua pidetään ajan tasalla. Jatkotutkimuksessa pitäisikin selvittää, milloin aikataulu on syytä päivittää, jotta digitaalisesti kerätty tieto olisi mahdollisimman käyttökelpoista.

2.2.3 Päivittäisjohtamisen tuki ja aloitusedellytysten hallinta digitaalisesti

Otto Vihavainen (2023) tutki diplomityössään päivittäisjohtamisen parhaita käytäntöjä ja si-vusi sen tukemista digitaalisilla työkaluilla. Päivittäisjohtaminen määriteltiin ”standardoiduksi ja systemaattiseksi toimintatavaksi, jolla hallitaan päivittäisiä työtehtäviä ja päätöksiä sekä luodaan niiden tekemiselle riittävät edellytykset ja huolehditaan, että osapuolilla on tarpeellinen tilannekuva sekä hyvä tiimihenki” (Vihavainen 2023). Erityisesti tilannekuvan tuottamiseen voisi olla hyötyä digitaalisista työkaluista.

Käytännössä kuitenkin tahtiohjelmistoja ja Exceleitä kehittyneempiä digitaalisia sovelluksia ei vielä löytynyt kolmesta case-hankkeesta. Päivittäisjohtamisessa korostuivat työmaakierrokset, tahtipalaverit, logistiikkakalenterin käyttö ja Exceleissä olevat estelokit. Tahtiohjelmistojen käytöstäkin löytyi eroja. Kahdessa hankkeessa urakoitsijat merkitsivät itse huomiot, kun taas kolmannessa hankkeessa ”junakuski” merkkasi keskitetysti huomiot ja toteutumat. Urakoitsijoiden syöttämä toteutumatieto vähensi päätoteuttajan työtä mutta johti väärin kirjauksiin. Päätoteuttajan piti varmistua ”valmiin” työkohteen laadusta ja valmiudesta, koska 100 % valmius ei ollut selvästi määritelty. Urakoitsijan syöttämän toteutumatiedon haasteena oli myös se, että urakoitsijat, joille ei ollut esteitä ja jotka olivat syöttäneet tiedot, eivät useinkaan osallistuneet tahtipalaveriin. Parhaaseen tilannekuvaan päästiin case 3:n junakuskimallilla. Junakuski vietti 90 % ajastaan työmaalla ja hoiti kaikki kirjaukset. Tämä oli hyvin toimiva malli lyhyen tahtiajan kohteissa.

Visuaalista johtamista digitaalisesti ei vielä juurikaan toteutettu työmailla. Työmailla oli ”tahtikoppeja”, joissa urakoitsijat näkivät reaaliaikaisen aikataulutilanteen (kuva 4). Tahtikoppiin ei kuitenkaan päässyt kuin kokouksen aikana, joten tahtipalavereiden välillä urakoitsijat pääsivät näkemään tahtiaikataulun vain sovelluksella. Tarvittaisiinkin lisää reaaliaikaista tietoa lähelle työpistettä, joka olisi aina asentajan saatavissa helposti ilman sovelluksia.



Kuva 4: Reaaliaikainen aikataulunäkymä tahtikopissa (Vihavainen 2023)

Severi Särkilahti (2023) syventyi diplomityössään aloitusedellytysten hallintaan, mikä on tärkeä osa päivittäisjohtamista. Hänen tutkimissaan tapauksissa aloitusedellytyksiä löytyi lähinnä Excelistä hyödyntäen tehtäväsuunnitelmapohjaa. Tahtisovelluksiin on mahdollista syöttää aloitusedellytyksiä mutta toiminto ei ollut käytössä. Otto Vihavaisen (2023) caseissa aloitusedellytyksiä oli estelokeissa, joka oli myös Excel-tiedosto. Excelistä aloitusedellytysten viestintä ja visualisointi on haastavaa ja automatiikkaa on vaikea rakentaa. Voidaankin sanoa, että päivittäisjohtamisen digitaalinen tuki on toistaiseksi ihan alkutekijöissään, vaikka sen rooli tahtituotannossa on merkittävä.

2.2.4 Tahtituotannon digitalisaatio Weisenburgerilla

Weisenburger on saksalainen rakennusliike, jonka liikevaihto on 460 miljoonaa euroa. Yritys tekee pääosin asuntorakentamista omalla vakioidulla konseptilla. Vuosittain valmistuu 1600 asuntoa, 700 rivitaloa, 500 asuntosaneerausta, hoivataloja ja hotelleja. Weisenburgerin pääkonttori on Karlsruhessa, jonne Building 2030 järjesti toimitusjohtajaryhmän vierailun toukokuussa 2023. Vierailulla tutustuttiin Weisenburgerin tapaan tehdä tahtituotantoa ja heidän käyttämiinsä digitaalisiin työkaluihin.

Weisenburger on yksi tahtituotannon edelläkävijöistä Saksassa. Lean-yksikön vetäjä Marco Binner teki väitöskirjansa tahdistusta. Lean-yksikön tehtävänä on tahtituotannon suunnittelu yhdessä työmaiden kanssa, työmaiden koulutus, päivittäisjohtamisen tuki ja tahtituotannon digitalisaatio. Weisenburger aloitti tahtituotannon standardoimalla tuotetta ja prosessia. Tuotteen standardointi omaperusteisessa tuotannossa tarkoitti modulaarisia suunnittelukirjastoja. Prosessia standardoitiin tahtituotannolla ja viemällä sama johtamismalli kaikille työmaille. Digitalisaatio on tullut standardoinnin, kyvykkyyden ja kulttuurin rakentamisen ja päivittäisjohtamisen kehityksen jälkeen.

Weisenburgerilla on oma ohjelmointitiimi, joka kehittää digitaalisia työkaluja. Kaikki järjestelmät hyödyntävät samaa tietokantaa ja pohjautuvat tahtialueisiin ja tahtiaikaan. Erillisiä sovelluksia oli tahtituotannon suunnitteluun ja valvontaan, laadunhallintaan, dokumentinhallintaan ja raportointiin. Digitaalinen kehitys ei kuitenkaan näyttänyt olevan keskiössä, vaan esimerkiksi päivittäisjohtaminen perustui tulostettuihin raportteihin tilannehuoneessa ja systemaattiseen tiedonkulkuun organisaation eri tasojen välillä. Suomalaisen tahtityömaan digitalisaatioon nähden uutta oli lähinnä kaikkien sovellusten linkittyminen tahtialueiden, -vaunujen ja -ajan kautta toisiinsa. Järjestelmien yhteensopivuudesta tuloksena oli vakuuttava määrä dataa, jonka avulla Weisenburger kertoo lyhentäneensä yksittäisen asunnon läpimenoaikaa yli 75 % per asunto ja rakennusaikoja koko hankkeelle 50 %.

Yksittäisen sovelluksen tasolla suuria innovaatioita ei siis löytynyt mutta sovellusten yhdistäminen yhdeksi kokonaisuudeksi tahtituotannon pohjalta oli Weisenburgerin mielestä jatkuvan kehityksen edellytys. Suomessa eri osa-alueiden sovellukset ostetaan eri tahoilta eikä niitä ole ensisijaisesti rakennettu tahtituotantoympäristöön, joten tietojen tarkastelu ristiin ei toimi samassa laajuudessa. Yhteensopivuuden eduista on Suomessakin puhuttu mutta Weisenburgerin

esimerkki osoittaa, kuinka paljon yhteensopivuudesta on hyötyä organisaation oppimisen kannalta.

2.2.5 Kielimallien ja tekoälyn mahdollisuudet

Rakennushankkeen tilannekuvaa kootaan yhteen pääosin kokouksissa (Kärkkäinen ym. 2019). Vaikka työmaalla olisikin erilaisia sensoreita ja ihmiset syöttäisivät tietojaan sovelluksiin, kokouksilla ja niiden pöytäkirjoilla tulee jatkossakin olemaan tärkeä merkitys. Haasteena pöytäkirjoissa on se, että PDF-dokumenteista ei helposti saa etsittyä esimerkiksi tiettyyn sijaintiin, urakoitsijaan tai tehtävään liittyviä merkintöjä osaksi yhteistä tilannekuvaa. Uudet tekoälysovellukset, kuten laajat kielimallit, voisivat jatkossa auttaa pöytäkirjatiedon tehokkaammassa hyödyntämisessä.

Hankkeessa testattiin ChatGPT:n käyttöä tilannetiedon etsimiseen pöytäkirjoista. Tavoitteena oli analysoida, kuinka hyvin kielimalli löytää tilannekuvan kannalta olennaisia asioita urakoitsijapalavereiden pöytäkirjoista. Testejä tehtiin yhden toimitilahankkeen pöytäkirjoilla. Analysoitavaa tekstiä ei esikäsitelty millään tavalla, vaan annettiin sellaisenaan kielimallin analysoitavaksi. Pöytäkirjoja oli 33 kappaletta ja ne olivat keskimäärin 4-6 sivua pitkiä. Testit tehtiin ChatGPT:n versioilla 3.5 ja 4.

Kysymykset jaettiin 1) helppoihin, joissa vastaus löytyy suoraan tekstistä 2) keskivaikeisiin, jossa vastaus on pääteltävissä tekstistä mutta ulkopuolista tietoa ei tarvita ja 3) vaikeisiin, jossa on hyödynnettävä tekstin lisäksi rakennusalan tuntemusta. Kysymykset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1: Kielimallien testikysymykset

Kysymys	Luokittelu	Peruste luokittelulle
Mikä on hankkeen nimi?	Helppo	Lukee tekstissä
Missä hanke sijaitsee?	Helppo	Lukee tekstissä
Milloin kokous pidettiin?	Helppo	Lukee tekstissä
Monta henkilöä oli läsnä?	Keskivaikea	Vastaus pitää laskea osallistujien nimistä
Ketkä olivat läsnä?	Helppo	Nimet lukevat tekstissä
Kuinka monesta eri yrityksestä henkilöitä oli läsnä?	Keskivaikea	Vastaus pitää laskea osallistujien nimistä ja lisäksi pitää jättää lyhenteet (mm. pj, siht, tms.) huomioimatta
Ketkä ja mistä yrityksistä henkilöitä oli poissa?	Helppo	Nimet ja yritykset lukevat tekstissä
Mistä yrityksistä ketään ei ollut läsnä?	Keskivaikea	Vastaus tulee päätellä läsnä ja poissa olevien yrityksistä
Milloin hanke on täysin valmis?	Helppo	Vastaus lukee tekstissä tai vastausta ei ole
Mikä työ valmistuu ensimmäisenä aikataulun mukaan?	Vaikea	Vastaus tulee päätellä tekstin perusteella ja tulee tietää myös, mikä työvaihe on nopeampi esim. maalaus vs. sähköasennus.
Mistä ongelmista aikatauluotsikon alla kerrotaan?	Vaikea	Vastaus tulee päätellä tekstistä ja tietää, mikä on ongelma aikataulun kannalta.
Mitä sanotaan sähkötöistä?	Helppo	Lukee tekstissä
Mitkä mallityöt ovat valmiit?	Keskivaikea	Lukee tekstissä mutta usein eri sanalla kuin ”valmis”
Mikä on turvallisuusmittauksen tulos?	Helppo	Lukee tekstissä
Mitä huomautettavaa turvallisuudessa oli?	Keskivaikea	Pitää päätellä, mikä on turvallisuuteen liittyvää
Oliko valvojilla jotain huomautettavaa?	Helppo	Valvojien kommentit lukevat tekstissä
Mitä asioita käsiteltiin muina asioina?	Helppo	Muut asiat lukevat tekstissä
Mitä liitteitä on mukana?	Helppo	Mahdolliset liitteet lukevat tekstissä

Kielimallin vastaukset pisteytettiin. Jos vastaus oli täysin oikein, kielimalli sai yhden pisteen. Täysin väärät vastaukset saivat nolla pistettä. Osittaispisteitä annettiin 0,25–0,75 riippuen vastauksen oikeellisuudesta. Odotetusti vaikeustason noustessa vastauksien laatu heikkeni. Tilannekuvan kannalta huolestuttavaa oli, että kysymysten vaikeutuessa kielimallit antoivat vakuuttavasti virheellistä tietoa. Taulukkoon 2 on kuvattu kysymyksittäin kielimallin antamien vastauksien oikeellisuus, kun ohjeet on annettu suomeksi tai englanniksi. Taulukossa näkyy myös yleisin syy, miksi vastaus ei ollut täysin oikein.

Taulukko 2 ChatGPT:n suoriutuminen testitehtävistä

Kysymyksen luokka	Testikysymys	Kuinka paljon täysistä pisteistä (%)		Yleisin syy miksi ei ollut täysin oikein	
		Ohjeet suomeksi	Ohjeet englanniksi	Ohjeet suomeksi	Ohjeet englanniksi
Helppo	Mikä on hankkeen nimi?	66 %	100 %	Virheellistä tietoa	-
Helppo	Missä hanke sijaitsee?	100 %	100 %	-	-
Helppo	Milloin kokous pidettiin?	100 %	100 %	-	-
Keskivaikea	Monta henkilöä oli läsnä?	48 %	64 %	Virheellistä tietoa	Virheellistä tietoa
Helppo	Ketkä olivat läsnä?	98 %	98 %	Ylimääräistä tietoa	Ylimääräistä tietoa
Keskivaikea	Kuinka monesta eri yrityksestä henkilöitä oli läsnä?	29 %	5 %	Virheellistä tietoa	Virheellistä tietoa
Helppo	Ketkä ja mistä yrityksistä henkilöitä oli poissa?	97 %	98 %	Virheellistä tietoa	Virheellistä tietoa
Keskivaikea	Mistä yrityksistä ketään ei ollut läsnä?	62 %	22 %	Ylimääräistä tietoa	Virheellistä tietoa
Helppo	Milloin hanke on täysin valmis?	86 %	90 %	Virheellistä tietoa	Virheellistä tietoa
Vaikea	Mikä työ valmistuu ensimmäisenä aikataulun mukaan?	19 %	7 %	Virheellistä tietoa	Tietoa ei löytynyt
Vaikea	Mistä ongelmista aikatauluotsikon alla kerrotaan?	58 %	53 %	Virheellistä tietoa	Virheellistä tietoa
Helppo	Mitä sanotaan sähkötoista?	40 %	45 %	Tietoa puuttuu	Tietoa puuttuu
Keskivaikea	Mitkä mallityöt ovat valmiit?	83 %	83 %	Virheellistä tietoa	Tietoa ei löytynyt
Helppo	Mikä on turvallisuusmittauksen tulos?	69 %	71 %	Tietoa puuttuu	Tietoa puuttuu
Keskivaikea	Mitä huomautettavaa turvallisuudessa oli?	51 %	77 %	Tietoa puuttuu	Tietoa puuttuu
Helppo	Oliko valvojilla jotain huomautettavaa?	49 %	46 %	Tietoa ei löytynyt	Tietoa ei löytynyt
Helppo	Mitä asioita käsiteltiin muina asioina?	39 %	17 %	Tietoa ei löytynyt	Virheellistä tietoa
Helppo	Mitä liitteitä on mukana?	97 %	95 %	Ylimääräistä tietoa	Ylimääräistä tietoa

Tulokset eivät vielä tässä vaiheessa vakuuta tarkkuudellaan. Kehitys kuitenkin jatkuu ja ChatGPT 4 sai paremmat tulokset keskivaikeissa ja vaikeissa kysymyksissä kuin GPT-3.5. Jos kielimalliin lisättäisiin toimialatuntemusta esimerkiksi ontologioiden ja tietograafien avulla, suoriutskyky voi lähitulevaisuudessa olla riittävä tilannekuvan muodostamiseksi pöytäkirja-aineistosta. Yleiset kielimallit ilman alatuntemusta eivät ainakaan toistaiseksi ole riittävän hyviä tähän tarkoitukseen, koska pelkästään testin helpoilla ja keskivaikeilla kysymyksillä ei päästä pitkälle tilannekuvan muodostamisessa.

3 Digitaalisesti tuettu tahtituotanto – vaatimukset ohjelmistokehittäjille

3.1 Havaintoja nykytilasta

Case-hankkeissa käytössä olleet ohjelmistot olivat tahtituotannon suunnitteluun ja ohjaukseen tarkoitettuja aikatauluohjelmistoja sekä logistiikan hallintaan tarkoitettuja ohjelmistoja. Aloitusedellytyksiä hallittiin pääosin Excelissä olevilla tehtäväsuunnitelmilla tai estelokeilla. Laadunhallintaa tehtiin erillisenä prosessina Congridilla. Sisäpaikannusta tai uusia tilannekuva-tekniologioita ei ollut käytössä ainakaan yhdistettynä tahtituotantoon.

Käytetyissä tahtiohjelmistoissa oli mahdollisuus työpakettien tilanteen kirjaamiseen reaaliajassa. Käytännössä tämä saatiin toimimaan vain, jos tietojen syöttö oli keskitetty ”junakus-kille”. Caseissa tyypillisempi oli malli, joka perustui tietojen syöttöön tahtipalavereissa. Näissä haasteina oli palaveriin tarvittava aika, mikä johti siihen, että päivitykset tehtiin huolimattomasti tai niitä ei ehditty jatkaa loppuun. Ohjelmistot eivät tee eroa päivityksen unohtumisen ja todellisen viiveen välillä.

Hajautetussa tietojen syötössä urakoitsijat syöttävät toteutumätiedot. Tämä malli oli monella työmaalla käytössä mutta siihenkin liittyi haasteita. Urakoitsijoille oli epäselvää, mitä tarkoittaa täysin valmis, jolloin valmiiksi merkittiin työvaiheita, jotka päätoteuttajan mielestä eivät olleet vielä valmiita. Päätoteuttajan oli siis kuitenkin varmistuttava ”valmiin” työn laadusta ja valmiudesta. Lisäksi urakoitsijat saattoivat jäädä pois tahtipalavereista, jos he olivat päivittäneet tilanteen ohjelmistoon eikä heillä ollut esteitä.

Digitaalista visuaalista johtamista ei havaittu tutkimuksessa. Tahtipalavereiden välillä urakoitsijat eivät päässeet käsiksi tahtiaikataulun tietoon muuten kuin sovelluksella. Samoin estelokeja näytettiin vain tahtipalavereiden aikana. Kuten aiemmassa tutkimuksessa on suositeltu, tarvitaan lisää reaaliaikaista tietoa lähelle työpistettä esimerkiksi töiden tilanteesta, aluejaosta ja esteiden tilanteesta (Seppänen ym. 2022).

Vaikka tahtiohjelmistoihin voikin syöttää aloitusedellytyksiä ja häiriöitä, ominaisuudet eivät olleet laajassa käytössä. Aloitusedellytyksiä ei juurikaan syötetty ja häiriötiedot jäivät myös pois useimmista viiveistä. Aloitusedellytysten hallintaan työkaluna oli käytännössä Excel. Excelistä aloitusedellytysten viestintä ja visualisointi on haastavaa.

Kokonaisuutena tahtituotantoon liittyvät sovellukset eivät toimineet hyvin yhteen ja automaatiikkaa oli hyvin vähän. Tilannekuva perustui työmaakierroksiin ja tietojen käsin syöttämiseen järjestelmiin. Järjestelmien yhdistäminen kokonaisuudeksi (vrt. Weisenburger) ja päätelmien

tekeminen useiden järjestelmien tietoja yhdistelemällä ei vielä toteutunut caseissa. Monet ongelmista liittyivät prosessiin mutta useisiin haasteisiin olisi jo kehitettävissä digitaalisia apuvälineitä.

3.2 Digitaalisesti tuettu tahtituotanto tulevaisuudessa

Nykyiset järjestelmät tarjoavat hyvän pohjan jatkokehitykselle. Jo käytössä olevat tahti- ja logistiikkasovellukset ovat hyppäys eteenpäin Excelistä. Järjestelmissä on hyviä ominaisuuksia mutta niitä ei hyödynnetä riittävästi ja oikea-aikaisesti. Ohjelmistojen pitäisi siis muuttua proaktiivisemmaksi ja muistuttaa käyttäjiä syöttämään puuttuvia tietoja ja hälyttää tiedoista, joita ei ole syötetty. Järjestelmien pitäisi pystyä päättämään, milloin tieto on mahdollisesti unohtunut syöttää ja milloin kyseessä on todellinen poikkeama.

Päätelmiä voidaan tehdä esimerkiksi siitä, että työ on käynnistynyt seuraavassa työkohteessa mutta edellistä ei ole vielä kuitattu valmiiksi. Tuolloin järjestelmän pitäisi pyytää syöttämään häiriö / työn keskeytyminen tai kuitata työ valmiiksi. Jos logistiikkajärjestelmän mukaan materiaali on toimitettu, tahtijärjestelmän pitäisi hälyttää, jos työtä ei pian sen jälkeen merkitä alkaneeksi. Jos tahtialueen seuraava tehtävä alkaa, voidaan päätellä, että edeltävä tehtävä on joko valmis tai keskeytynyt. Vielä parempaan tarkkuuteen päästään, jos hyödynnetään esimerkiksi sisäpaikannusjärjestelmistä saatuja tietoja. Automaattinen tilannekuva tukisikin merkittävästi tietojen oikeellisuutta.

Aloitusedellytysten hallinta pitäisi siirtää Exceleistä järjestelmiin. Monet aloitusedellytykset voi päätellä muusta tiedosta, joten automatiikkaa voi lisätä. Aloitusedellytyksiä voisi hakea esimerkiksi logistiikkajärjestelmästä materiaalin osalta, aikataulussa olevista riippuvuuksista, olosuhdesensoreista tai paikannusjärjestelmästä. Toisaalta työnjohtajan tekemä tehtäväsuunnittelu on myös tärkeä prosessi, koska se pakottaa miettimään tehtävän läpi. Automaattisesti voitaisiin varmistua siitä, että kaikki tärkeät edellytykset on lisätty. Järjestelmä voisi hälyttää, jos yhtään tehtäväkohtaista aloitusedellytystä ei ole syötetty. Aloitusedellytykset pitäisi tehtävien tapaan vastuuttaa henkilöille ja toimenpiteitä pitäisi seurata järjestelmässä. Last Plannerin osana on kehitetty aloitusedellytysten varmistamisen mittarointia, jonka voisi myös toteuttaa ohjelmistoihin. Aloitusedellytykset tulisi yhdistää häiriöihin oppimisen varmistamiseksi.

Sekä tehtäväkohtainen tieto että aloitusedellytykset pitäisi näyttää visuaalisesti lähellä työpistettä, esimerkiksi jokaisessa kerroksessa. Erilliset tahtikopit eivät riitä tähän, koska niihin ei ole pääsyä tahtipalaverin ulkopuolella. Esimerkiksi näyttötaulu tai tabletti, joka päivittyy katsojan roolin mukaan, voisi olla mahdollinen tulevaisuuden ratkaisu. Katsoja voidaan päätellä esimerkiksi sisäpaikannusjärjestelmällä tai jollain yksinkertaisella kirjautumismenettelyllä.

Uudet tekoälyjärjestelmät mahdollistavat tietojen yhdistelyn useista järjestelmistä ja myös tekstimuotoisen tiedon analysoinnin systemaattisesti. Kielimalleilla toteutumatietoja, esteitä ja

aloitusedellytyksiä voisi jatkossa löytää esimerkiksi palaverimuistioista. Tekoäly voisi myös automaattisesti varoittaa muuttuneista suunnitelmista ja tehdä niiden vaikutuksien arvioinnista tehtäviä työmaahenkilöstölle. Muitakin käyttötapauksia varmasti löytyy mutta erityisesti järjestelmien yhdistäminen kokonaisuudeksi voisi onnistua jatkossa uusilla tekoälysovelluksilla.

Tietojen yhdistely järjestelmien yli tahtialueittain ja vaunuittain mahdollistaisi tarkemmin ohjatun prosessin ja sen mittaamisen. Weisenburger on jo lähtenyt tähän suuntaan ja kerää kaiken datan tahtialueisiin ja tahtivaunuihin perustuen. Erityisesti laatu, aloitusedellytykset ja poikkeamat pitäisi kytkeä paremmin digitaalisesti tahtiin, sen sijaan, että jokaiseen on osaratkaisu. Tämä mahdollistuu osaratkaisut yhdistämällä toimittajien yhteistyöllä, tekoälyä hyödyntämällä tai kehittämällä kokonaan uusia järjestelmiä Weisenburgerin tapaan.

Seuraavaksi käsiteltävä toimitusketjujen digitaalinen hallinta avaa uusia mahdollisuuksia tietojen yhdistelyyn. Koneluettavilla tunnisteille voidaan digitaalisesti tietää, mitä materiaalia on tuotu työmaalle, jolloin esimerkiksi materiaaliin liittyvien aloitusedellytysten tilanne voidaan automaattisesti tunnistaa. Yhdistämällä häiriötiedot toimitusketjutietoon voidaan myös päätellä häiriöiden syitä materiaalien osalta. Tämä vaatii kuitenkin tarkempaa prosessia, koska toistaiseksi toimitusten suunnittelua ei ole onnistuttu tekemään hyvissä ajoin etukäteen.

4 Toimitusketjujen digitaalinen hallinta tahtituotannossa

4.1 Tutkimuksen tausta, tavoite ja menetelmät

Tämän tutkimusosion tavoitteena oli edistää rakentamisen toimitusketjujen prosesseja tunnistamalla koneluettavien GS1-standardin käyttömahdollisuuksia toimitusketjun ja tuotetiedon digitaalisessa hallinnassa tahtituotantoa hyödyntävissä rakennushankkeissa. Työ toteutettiin Teemu Alaluusuan (2023) diplomityön muodossa.

Rakennusallalla tuotetaan ja käsitellään runsaasti tietoa, jota ei ole rakenteistettu systemaattiseen koneluettavaan muotoon. Tämän vuoksi rakentamisen prosesseissa syntyvää ja jaettavaa tietoa ei voida hallita digitaalisessa muodossa, jolloin ihmisen on tulkittava, käsiteltävä ja välitettävä tietoa. Toimitusketjun hallinnan näkökulmasta tämä rakennusalan vakiintunut malli on tehoton ja vaikeasti hallittavissa. Yhtenä ratkaisuna on ehdotettu GS1-toimitusketjun hallintastandardin koneluettavien yksilöintimenetelmien käyttöä rakentamisen tiedonvaihdoissa (Peltonen ym., 2023). Näillä standardeilla voidaan yksilöidä rakentamisen kauppatuotteita (GTIN koodi) ja työmaatoimituksia (SSCC koodi) ja ne mahdollistavat standardoidun tiedonvälityksen toimitusketjujen osapuolten välillä. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan näiden menetelmien mahdollisuuksia tehokkaampien rakentamisen tuotantoprosessien kehittämisessä.

Tutkimuksessa hyödynnettiin Lean ajattelua ja semanttisen web-teknologian näkökulmaa rakennusalan tuotteiden toimitusketjujen tiedonvaihdoissa esiintyvien ongelmien ratkaisemiseksi. Tutkimuksessa kehitettiin maturiteettimalli rakennusallalle digitaalisen tiedonvaihdon hallintaan. Päätuloksena kuvataan rakennusalan vakiotuotteiden ja projektituotteina valmistettavien betonielementtien toimitusketjun tiedonvaihdon digitaalisen hallinnan tavoiteprosessi. Tavoiteprosessimallien kautta tutkimus ehdottaa, miten digitaalinen tiedonvaihto osapuolten ja tehtävien välillä tulisi tapahtua, jotta rakentamisen toimitusketjuissa voidaan vähentää manuaalista työtä ja inhimillisiä virheitä sekä edistää rakentamisen virtaustehokkuutta ja tiedon läpinäkyvyyttä ja laatua.

Tutkimuksessa pyrittiin vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- 1. Miten GS1 standardeja voidaan hyödyntää rakennusallan toimitusketjujen digitaalisessa hallinnassa?**
- 2. Miten hyvin nykyiset toimitusketjun hallintaprosessit ja -työkalut tukevat rakennustuotantoa ja tahtirakentamista?**
- 3. Miten GS1 standardit saadaan osaksi rakennusallan toimitusketjujen tietovirtojen hallintaa tukemaan tahtituotantoa?**

Tutkimus toteutettiin suunnittelututkimuksena, jossa tavoiteltuna lopputuloksena oli vakio-kauppatuotteita edustavan lattiamateriaalin ja projektituotteita edustavan betonielementin toi-

mitusketjujen tavoiteprosessit sekä alustava maturiteettimalli tavoiteprosessien saavuttamiseksi. Työn empiirisessä osiossa kerättiin case-tutkimuksen ja työpajojen avulla tietoa lattia-materiaalien ja betonielementtien toimitusketjujen nykyprosessista lähtien suunnitelmista aina hankintaan, logistiikkaan ja työmaa-asennukseen saakka.

4.2 Digitaalisesti hallittujen toimitusketjujen tavoiteprosessit

Tahtihankkeiden lattiapäällystetuotteiden prosessikartoitusten ja pidettyjen työpajojen pohjalta kehitettiin tavoiteprosessi vakiotuotteiden toimitusketjun hallinnalle (Kuva 5). Tavoiteprosessi tuo esille eri osapuolten roolit ja tiedonvaihdon tarpeet, sekä mahdolliset ongelmat toimitusketjun eri vaiheissa.

Keskeinen lähtökohta tavoiteprosessissa on toimitusketjun tiedonvaihdon digitaalinen hallinta sekä hankittujen tilausohjautuvien vakiotuotteiden toimitusvarmuuden korostaminen. Digitaalisessa tiedonvaihdossa hyödynnetään GS1-toimitusketjun hallintastandardin mukaisia yksilöintitunnisteita toimitusketjun eri osille. Lisäksi tilauskanavissa suositetaan digitaalisia tiedonvaihtomenetelmiä, jotka edistävät koneluettavaa tiedonvälitystä eri toimijoiden välillä. Keskeisimmät tekijät liittyvät GS1-standardin mukaisiin tuote- ja toimitusyksiköiden yksilöintiin (GTIN ja SSCC) ja hankinnassa ja toimituksissa standardimuotoisten digitaalisten Peppol-sanomien hyödyntämiseen. Suunnitteluvaiheessa tulisi suunnitella valmiilla kauppatuotteilla hyödyntäen tuotevalmistajien määrittämiä GTIN-tunnuksia tai suunnitella vaatimustiedolla, joka on yhteensopivia tuotetietostandardien kanssa, eli niiden tietojen kanssa, joilla kauppatuotteiden ominaisuudet esitetään. Hankintavaiheen tilaajan ja tuotetoimittajan välisissä tilaus-toimitustiedon-vaihdon prosesseissa (tilaustieto, tilausvahvistus, toimitusvahvistus, laskutus) Peppol-hankintasanomien kautta tuotetietoa sekä prosessitietoa vaihdetaan GS1-standardien mukaisten yksilöintikoodien avulla.

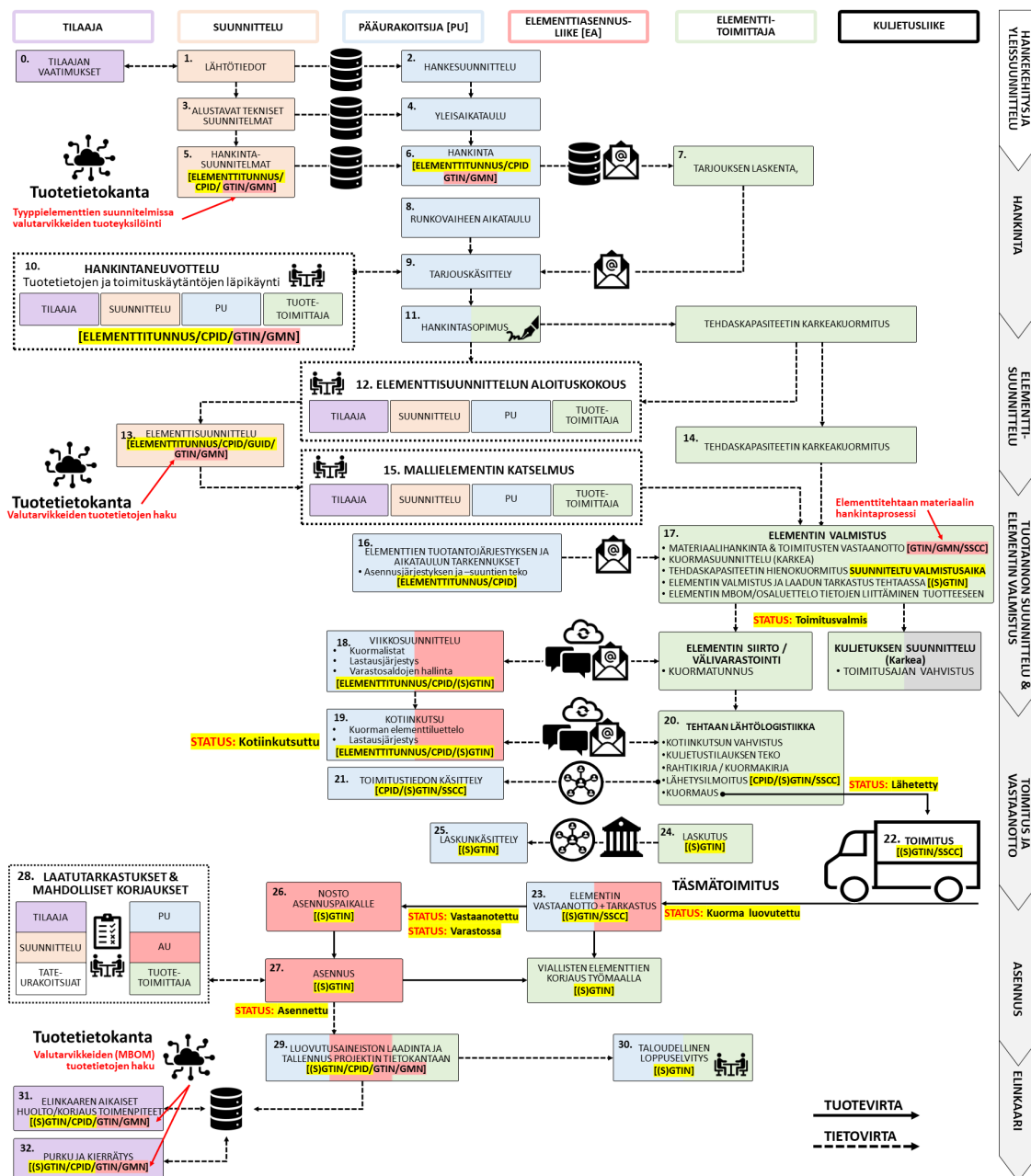
Tavoiteprosessissa tuotetoimitusten operatiivinen hallinta pohjautuu ennalta suunniteltuihin ja määritettyihin tahtialue- ja vaunukohtaisiin tuotemenekkeihin ja täsmätoimitusten pohjana toimivat siis tahtialue- ja vaunukohtaiset tuotelistat. Tahtituotannossa täsmätoimitusten toimitusvarmuutta ja työmaaavarastoinnin vähentämistä voidaan edistää logistiikkaterminaalia hyödyntämällä. Lisäksi työmaan tulo- ja sisälogistiikan ulkoistaminen logistiikkaurakoitsijan vastuulle nähtiin rakennustuotannossa hukkaa vähentävänä tekijänä.

Tavoiteprosessissa kuvatus eriytetyn asennusurakan ja tuotekaupan avulla pyritään poistamaan turhia välikäsiä ja laskutuslisäkustannuksia tilausten käsittelystä verrattuna tilanteeseen, jossa tuotteet tilattaisiin asennusurakoitsijan kautta. Terminaalin kautta asennuspisteelle toimitettavia täsmätoimituksia hallitaan osana rakentamisen operatiivista johtamisjärjestelmää, joka käyttää GS1-standardin mukaisia tunnisteita, kun logistiikkaurakoitsijat kuljettavat kolleja ja kun tulee tuotepalautuksia käyttämättömistä tuotteista. Näitä tuotteita voidaan palauttaa takaisin terminaaliin ja hyödyntää esim. seuraavissa tahtipaketeissa tai tuotepalautuksina.

jota voitaisiin hyödyntää tuotteen valmistusta ja tuotetoimitusta edeltävissä suunnittelu- ja hankintavaiheissa.

Tutkimuksen aikana keskusteluissa nousi esiin ehdotus betonielementtien tuoteyksilöinnistä GS1-toimitusketjun hallintastandardin mukaisen CPID-standardin kautta. CPID (engl. Component/Part Identifier) on GTIN-koodia vastaava tuoteyksilöintistandardi, joka toimii luontevammin ETO-tuotteiden ja ostajalähtöisen yksilöinnin tarpeisiin rajoittumatta kuitenkin GTIN-standardin tapaan tuotevalmistajien määrittämään tuoteyksilöintiin. Betonielementtien hallinnassa CPID-pohjainen viestintä varmistaisi selkeän, muuttumattoman ja koneluennan mahdollistavan yksilöintitavan tuotteen suunnittelusta alkaen. Tämän vuoksi betonielementtien toimitusketjussa on syytä harkita CPID-koodien käyttöä tuotevalmistajien määrittämien (S)GTIN-koodien rinnalla. Tavoiteprosessissa elementtien hankintasuunnitelmissa hyödynnetään GS1-standardin mukaisia tuotetunnuksia valutarvikkeiden (GTIN, GMN) ja elementtien (CPID) yksilöinnissä.

Elementin valmistusvaiheessa tuotevalmistajan määrittämä tuoteyksilöinti (S)GTIN-koodi sekä suunnitteluvaiheessa luotu CPID-koodi lisätään tunnisteen muodossa fyysiseen elementtiin. Toimitusvaiheen prosesseissa tiedonvaihdoissa välittyvät prosessitiedot/tapahtumastatus-tiedot liitetään osaksi tuotteen tuotetietoja. Vakiotuotteiden tavoiteprosessista poiketen betonielementtien toimitusketjussa Peppol-hankintasanomia hyödynnetään vain toimitusvahvistuksen ja laskutuksen osalta.



Kuva 6 Betonielementtien toimitusketjun digitaalisen hallinnan tavoiteprosessi

4.3 Maturiteettimalli kohti digitaalista toimitusketjujen hallintaa

Tavoiteprosessien lisäksi tutkimus tuotti alustavan maturiteettimallin askelista, joiden kautta rakennusala voi siirtyä nykytilasta kohti tavoiteprosessien mukaista digitaalista toimitusketjujen hallintaa. Taulukossa 3 on kuvattu maturiteettimallin neljä tasoa ja niiden keskeiset vaatimukset (R1-R10).

Taulukko 3 Toimitusketjujen digitaalisen hallinnan maturiteettimalli

Taso 1	TOIMIALAKOHTAINEN SOPIMINEN
R1	Tiedonvaihdon digitaalisen hallinnan hyötyjen korostaminen rakennusalalla
R2	Rakennusalan sitoutuminen yhteisen toimitusketjun hallintastandardin käyttöön
R3	Rakennustuote- tyyppikohtaiset käytännöt tiedonvaihtoprosesseihin
Taso 2	TIEDON YKSILÖINTI, TUNNISTAMINEN JA JAKAMINEN
R4	Tiedon yksilöinnin, tunnistamisen ja jakamisen käyttöönotto rakennusalalla
R5	Tuotetiedon saatavuus ja jakaminen koneluettavien yksilöintitunnisteiden kautta
Taso 3	YKSILÖINTITUNNISTEIDEN HYÖDYNTÄMINEN RAKENTAMISEN ARVOKETJUSSA
R6	Yksilöintitunnisteisiin liitetyn tuotetiedon hyödyntäminen rakentamisen prosessissa
R7	Yksilöintitunnisteiden hyödyntäminen sähköisten hankintasanomien välityksessä
R8	Yksilöintitunnisteiden hyödyntäminen tapahtumatiedon hallinnassa ja välityksessä
Taso 4	TIEDON ELINKAAREN AIKAINEN HALLINTA
R9	"As built" -tiedon hyödyntäminen ylläpidon ja käänteisen logistiikan prosesseissa
R10	Tuotetietojen ylläpitäminen avoimissa tuotetietokannoissa sekä projektien tietokannoissa

Taso 1: Toimialakohtainen sopiminen

Maturiteettimallissa tämä taso korostaa rakennusalan toimitusketjujen (tietovirtojen) digitaalisen hallinnan perusedellytysten toteutumista, jossa kansallisella toimialan standardointipäätöksellä luodaan pohja yhtenäiselle tiedonvaihdolle koko rakentamisen toimialalla. Tämän tason painopiste on tiedonvaihdon standardoinnissa ja sen tietoisuuden lisäämisessä, sekä yhteisten käytäntöjen luomisessa rakennusalan toimijoiden keskuudessa.

(R1) Tiedonvaihdon digitaalisen hallinnan hyötyjen korostaminen rakennusalalla

Rakennusalan toimijoiden tietämättömyys toimitusketjun tietovirtojen standardoinnin vaikutuksesta digitalisaatioon on yksi suurimmista esteistä digitalisaation täysimääräiselle hyödyntämiselle rakennusalan toimintaympäristössä. Rakennusalalla jo käytössä olevan GS1-toimitusketjun hallintastandardin hyödyntäminen näkyy konkreettisesti kauppatuotteiden viivakodeissa, mutta niiden hyödyntämisen potentiaali on rajoitettua. Mitä enemmän rakennusalan toimijat hyödyntävät GS1-hallintastandardin mukaisia yksilöintitunnuksia omissa prosesseissaan, sitä enemmän toimiala hyötyy niistä yhdessä.

(R2) Rakennusalan sitoutuminen yhteisen toimitusketjun hallintastandardin käyttöön

Muutos kohti digitalisoitua rakentamisen toimitusketjun tiedonkulkua ei tapahdu hetkessä, ja se edellyttää rakennusalan toimijoiden panosta tuotteen elinkaaren jokaisessa vaiheessa: tuotevalmistajalta tiedon luomista ja jakamista, rakennuttajalta tai kiinteistönomistajalta digitalisoinnin vaatimusta, suunnittelijoilta tiedon kytkemistä suunnitelmiin, asennusurakoitsijoilta tiedon hyödyntämistä ja toteuman kirjausta, sekä kunnossapito-organisaatiolta kohteen tietojen päivittämistä elinkaaren aikana. Tavoitteena tulee olla, että kaikki rakennustuotteet olisivat tunnistettavissa yksilöllisellä artikkelinumerolla, mikä mahdollistaa jäljitettävyyden koko rakennusprosessin ja rakennuksen koko elinkaaren ajan. Tämä myös mahdollistaisi sen, että tuotteisiin voidaan liittää yksilöllisiä tietoja digitaalisissa tietovirroissa.

(R3) Rakennustuote-tyyppikohtaiset käytännöt tiedonvaihtoprosesseihin

Rakennustuotteet ovat tuotantologiikaltaan erilaisia, minkä vuoksi GS1-standardin mukainen tuoteyksilöinti ei yhden vakioidun ratkaisun (esim. GTIN-koodin) kautta ole mahdollista toteuttaa. Tämän huomioimiseksi on syytä tunnistaa ja kehittää tuoteryhmäkohtaisesti yhteiset käytännöt tiedonvaihtoprosessien tuotteiden yksilöimisen suhteen, ja hyödyntää esim. Norjan rakennussektorin laatimaa ohjeistusta yksilöintitunnisteiden käytöstä eri rakennustuotteiden yksilöimisessä (GS1 Norway, 2021).

Taso 2: Tiedon yksilöinti, tunnistaminen ja jakaminen

Mallin toinen taso keskittyy tiedon (toimitusketjun osien, kuten tuotteiden, toimitusyksiköiden, tahtialueiden yms.) yksilöinnin, tunnistamisen ja jakamisen perusedellytyksiin toimitusketjun erivaiheiden tiedonvaihdossa, jotta tietoa voidaan vaihtaa toimitusketjun osapuolten välillä digitaalisesti hallittavassa muodossa. Tämä osaltaan mahdollistaa digitaalisten teknologioiden kehittämisen sekä tiedon hyödyntämisen toimitusketjun eri prosesseissa.

(R4) Tiedon yksilöinnin, tunnistamisen ja jakamisen käyttöönotto rakennusallalla

Toimitusketjun digitaalisen hallinnan edellytyksenä on toimitusketjun osille (mm. tuotteille) annettu yksilöintitunniste, sillä tieto ei liiku digitaalisessa muodossa ilman standardoitua tietokone luettavaa muotoa. Tämän vuoksi tuotevalmistajien ja maahantuojien vastuulla on huolehtia toimitusketjun osien (GTIN ja SSCC) yksilöinnistä sekä tunnistettavuudesta GS1-standardin sekä kansallisella tasolla sovittujen käytäntöjen mukaisesti. Toimitusketjun osien yksilöinti ja tunnistaminen on kriittinen osa toimitusketjun hallintaa, jotta rakennustuotteiden yksilöintitunnisteisiin liitettyä tuotetietoa, tilaustietoa ja toimitusten tapahtumatieta voidaan hyödyntää rakentamisen toimitusketjun prosesseissa.

(R5) Tuotetiedon saatavuus ja jakaminen koneluettavien yksilöintitunnisteiden kautta

Rakentamisen arvoketjussa tuotevalmistajien ja maahantuojien tulee varmistaa, että rakennustuotteiden tuotetiedot ovat helposti saatavilla ja jaettavissa. Tämä tarkoittaa käytännössä keskitettyä tai kohdennettua tuotetiedon hallintaa, GS1-standardin mukaisia yksilöintitunnisteita ja integrointeja, jotka tukevat tiedon jakamista ja saatavuutta. Nämä ovat keskeisiä elementtejä tietosiilojen purkamisessa ja tehokkaan tiedonkulun varmistamisessa. Tuoteryhmästä riippuen tuotetietojen jakamisessa voidaan hyödyntää kahta erilaista tiedonjakamisen ratkaisua, (a) kansallisia avoimia tuotetietokantoja (mm. MTS-valmistuslogiikan mukaisten varasto-ohjautuvien kauppatuotteiden tuotetietojen sekä projektituotteiden tuoteryhmäkohtaisten yleistietojen osalta) tai (b) kohdennettua ratkaisua (mm. ETO-valmistuslogiikan mukaisten projektituotteiden tuotetietojen osalta, jotka on valmistettu kohdekohtaisesti). Tietojenhallintaratkaisujen (avoimia tuotetietokantoja) käytettävyys riippuu kuitenkin niiden tietosisältöjen kattavuudesta.

Taso 3: Tiedon hyödyntäminen rakentamisen arvoketjussa

Maturiteettimallin kolmas taso käsittelee toimitusketjun osien yksilöintitunnisteiden hyödyntämistä toimitusketjun eri vaiheiden ja osapuolten prosesseissa, sekä niiden välisessä tiedonvaihdossa. Rakennusallalla keskeisimpiä hyödynnettäviä GS1-standardin mukaisia yksilöintitunnisteita ovat tuotteiden yksilöintitunnisteet (esim. GTIN) sekä toimitusyksikön yksilöintitunnisteet (SSCC). Taso 3 keskittyy tehokkaaseen yksilöintitietojen digitaaliseen hyödyntämiseen koko rakentamisen arvoketjun hallinnassa, jossa painopiste on automatisoidussa tiedonsiirrossa sekä tietosiilojen syntymisen ehkäisyssä. Esimerkki tietosiilosta on nykymuotoinen projektipankki, jossa muodostettu digitoitu tieto ei mahdollista koneellista tiedonkäsittelyä ilman ihmisen toimintaa.

(R6) Yksilöintitunnisteisiin liitetyn tuotetiedon hyödyntäminen rakentamisen prosessissa

GS1 toimitusketjunhallintastandardin mukainen tuoteyksilöinti (esim. GTIN) on apukeino tuotteiden tunnistamisessa, jota voidaan hyödyntää sisäisissä tai ulkoisissa tietokannoissa tuotteiden tuotetietojen hakemiseen. Tuoteyksilöintitietoa voidaan sisällyttää esimerkiksi rakennustietomalleihin ja siten varmistaa yhteys rakennettavaan kohteeseen. Tuotetietojen kautta tuotetietokannoista voidaan hakea tietoa myös tuotteiden suorituskyvystä ja soveltuvuudesta rakennettavaan kohteeseen sekä tietoa tuotteiden korvattavuudesta vaihtoehtoisilla tuotteilla.

(R7) Yksilöintitunnisteiden hyödyntäminen sähköisten hankintasanomien välityksessä

Tilaus-toimitusketjun tiedonvaihdon kehittyessä kohti sähköisten hankintasanomien laajempaa käyttöönottoa (Peppol), GS1-standardin yksilöintitunnisteet (mm. GTIN ja SSCC) mahdollistavat tuotetietojen välittymisen hankinnan ja myynnin tiedonvaihdossa, sekä tilausten seurantatyökalujen hyödyntämisen reaaliaikaisen prosessidatan luomiseksi. Lisäksi toimitusketjujen eri vaiheiden tulo-, sisä-, ja lähtölogistiikan prosesseissa yksilöintitunnisteet mahdollistavat varastonhallinnan sekä toimitusten seuraamisen digitaalisesti hallittavassa muodossa.

(R8) Yksilöintitunnisteiden hyödyntäminen tapahtumatiedon hallinnassa ja välityksessä

Rakentamisen prosessissa tuotteita koskeva tapahtumatiedon kirjaus, kohdentaminen ja välittäminen on kaksisuuntaisen tiedonvälityksen näkökulmasta merkittävää, jotta toimitusketjussa toimivat pystyvät lisäämään ja jakamaan yksilöityä tietoa (mm. tietoa poikkeamista ja prosessin aikaisista tapahtumista) tehokkaasti koko toimitusketjun osapuolten kanssa. Nykyään tiedon saaminen toimitusketjussa on jätetty yksittäisten työntekijöiden tehtäväksi, ja käytettävä väline riippuu tilanteesta. Tapahtumatiedon kirjaaminen ja jakaminen on toimitusketjujen ja varastonhallinnan näkökulmasta tärkeimpiä välitettäviä tietoja prosessien tehostamisen ja kehityksen saralla.

Taso 4: Tiedon elinkaaren aikainen hallinta

Maturiteettimallin viimeisellä tasolla tarkastellaan rakennustuotteiden elinkaaren aikaista tuotetiedon hallintaa kiertotalouden näkökulmasta, huomioiden rakennetun kohteen ylläpidosta vastaavien tahojen tietotarpeet.

(R9) ”As built” -tiedon hyödyntäminen ylläpidon ja käänteisen logistiikan prosesseissa

Tieto rakennetussa kohteessa käytetyistä rakennustuotteista sekä näiden tuotetietojen saatavuus on olennainen osa kohteiden ylläpidon ja hallinnan prosessia. Kuitenkin rakennusten ylläpitäjien näkökulmasta yksi suurimmista haasteista on rakennetun kohteen ”as built” -tietojen puutteet kohteeseen asennetuista tuotteista, sekä kohteiden luovutusvaiheen dokumentaation osalta. Kiertotalous on ekologisen välttämättömyyden lisäksi myös taloudellisesti merkittävä mahdollisuus rakennusallalle. Kiertotalouden näkökulmasta rakennukset ovat materiaaalipankkeja, joiden purkamisen yhteydessä tuotteita vapautuu markkinoille. Omaisuuden hallintaa sekä kiertotalouden tarpeita varten on tärkeää kirjata rakennuksessa käytetyt tuotteet ja sisällyttää näiden tuotekoodit hankkeen tietovarantoihin. Kun tämä tieto on järjestelmällisesti hallittu, kiertotalouden periaatteiden soveltaminen rakennusallalla ei ole vain mahdollista, vaan myös tehokasta ja arvoa tuottavaa.

(R10) Tuotetietojen ylläpitäminen avoimissa tuotetietokannoissa sekä projektien tietokannoissa

Rakennusten elinkaarenaikana haasteena on usein saavuttaa tieto rakennuksessa käytetyistä materiaaleista. Uusien rakennusmateriaalien nopea kehitys sekä rakentamisen kestävyiden ja kiertotalouden huomioiminen on osaltaan korostanut rakennusalan sidosryhmien tarvetta rakennustuotteiden tuotetietojen hallinnalle ja hyödyntämiselle koko niiden elinkaaren ajan. Tuotteita koskeva tuotetieto tulee olla saatavilla ja päivitettyä (tuotevalmistajan yms. toimesta) hallituissa (avoimissa tai kohdennetuissa) tietokannoissa, jotta sen hyödyntäminen on mahdollista rakennusten elinkaaren ylläpidon ajan aina kierrätysvaiheeseen, mahdolliseen uusiokäyttöön tai turvalliseen hävittämiseen saakka.

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Hankkeessa selvitettiin digitaalisten sovellusten nykytilaa tahtituotannossa ja määritettiin vaatimukset tahtituotantoa tukeville digitaalisille järjestelmille. Lisäksi tarkasteltiin GS1- standardin mukaisten yksilöintitunnisteiden käyttömahdollisuuksia sekä nykytilaa rakennusalan tuotteiden tuotetiedon ja toimitusketjun tiedonvaihdon hallinnan prosesseissa rakennusalan kontekstissa. Tämän pohjalta tutkimuksessa luotiin maturiteettimalli toimitusketjujen tiedonvaihdon digitaaliseen hallintaan, jonka käyttöä demonstroitiin vakiotuotteiden ja projektituotteina valmistettavien betonielementtien toimitusketjuissa tavoiteprosessin mallinnuskuvauksen kautta.

Oletuksena oli, että konsortion yritysten edistyneimmistä tahtihankkeista löytyy jo pitkälle vietyjä digitaalisia järjestelmiä. Kävi ilmi, että tahtituotannon digitaalisessa tuessa ollaan vielä varsin alkuvaiheessa eikä tutkituissa case-hankkeissa ollut tahtisovelluksia tai logistiikkaohjelmistoja kehittyneempää teknologiaa käytössä. Aiemmissa hankkeissa tutkitut tilannekuvasovellukset puuttuivat kokonaan tutkituista hankkeista. Monet tahtituotannon kannalta tärkeät asiat, kuten aloitusedellytykset, hoidettiin case-kohteissa Excelillä. Toisaalta reaaliaikaisen päivityksen mahdollistavat tahtisovellukset ovat jo hyppäys eteenpäin Excelistä. Haasteena on saada ihmiset päivittämään tietoja sovelluksiin ajallaan ja tarkasti. Sovellukset eivät myöskään varoita puuttuvista tiedoista.

Digitaaliset sovellukset ovat edelleen siiloutuneet eikä tilannekuvaa luoda useiden sovellusten yli. Jatkossa olennaiseksi tulee eri tietolähteiden yhdistäminen tahtituotannon tukemiseksi. Digitaalinen toimitusketju yhdistettynä tahtituotantoon ja logistiikkajärjestelmiin mahdollistaa esimerkiksi materiaaleihin liittyvien aloitusedellytysten automaattisen hallinnan. Järjestelmien tietoja pitäisi esimerkiksi tekoälyn avulla vertailla virheiden löytämiseksi. Jos tehtävästä on tehty laatuhavainto, aikataulussa pitäisi olla myös siihen liittyvä aloitus- ja valmiusastemerkintä. Yhteensopivuutta on yritetty edistää jo vuosia sovellusten välillä mutta edistystä ei ole tapahtunut. Uudet kielimallit voivat jatkossa helpottaa tietojen yhdistelyä.

Kielimallit kehittyvät tällä hetkellä nopeaa vauhtia ja ChatGPT mahdollistaa myös kuvatiedon analysoinnin. Yleiset kielimallit eivät kuitenkaan riitä, vaan tarvitaan toimialakohtaista opetusmateriaalia. Väärien vastausten antaminen vakuuttavasti pitää saada toimialakohtaisista sovelluksista pois. Jos nämä asiat saadaan tekoälykehityksessä kuntoon, tahtituotannon digitaalinen tuki voi tulevaisuudessa sisältää tilannekuvan yhdistelyä digitaalisesta toimitusketjusta, aikataulusovelluksesta, logistiikkasovelluksesta, laatusovelluksesta, kuva-aineistosta, paikkatiedosta ja pöytäkirjoista. Vertailemalla asioita ristiin, voidaan löytää puuttuvat syöttötiedot ja varmistua tiedon oikeellisuudesta. Kun tieto on oikein, se voidaan jakaa digitaalisesti asentajille.

Rakennusalan suurimpia ongelmia ja kehityksen esteitä ovat rakentamisen arvoketjun eri vaiheissa syntyvän tuote- ja prosessitiedon siiloutuminen tiedon vakioinnin puutteiden vuoksi. Tämän seurauksena prosessien ja eri toimijoiden välisten rajapintojen välillä tiedonsiirtoa ei saada toteutettua digitaalisesti yhtenäisellä tavalla. Tiedon hallinta ja hyödyntäminen ei ole tehokasta. Rakennustuotannossa sekä erityisesti tahtituotannossa työ ja materiaali eivät virtaa, mikäli tieto ei virtaa toimitusketjun eri vaiheissa projektin eri osapuolien välillä. Tämän vuoksi on tärkeää saada rakentamisen arvoketjun prosessit tuottamaan digitaalisesti hallittavaa ja jaettavaa tuote- ja prosessitietoa tiedon vakioinnin kautta.

GS1-standardien mukaisten yksilöintitunnisteiden laajamittainen hyödyntäminen rakennus- alalla tiedon yksilöinnissä on tärkeä osa alan kehitystä kohti digitaalisempaa ja tehokkaampaa toimintaa. GS1 standardin yksilöintitunnisteiden mukaisen tiedon vakioinnin kautta tieto saadaan koneluettavaan muotoon, mikä mahdollistaa tiedon siirron ja käsittelyn digitaalisessa ympäristössä. Tämä vastaa osaltaan rakennusteollisuuden tarpeeseen saada, hallita ja jakaa tuote- ja prosessitietoja sekä mitata toiminnan suorituskykyä.

Lähdeluettelo

- Alaluusua, T. (2023). Digitaalinen tiedonhallinta tahtituotantoa hyödyntävän rakennushankkeen toimitusketjuissa. Diplomityö, Aalto-yliopisto. Saatavilla: <https://aaltodoc.aalto.fi/items/967db13f-042c-4057-a72b-ee78d1b69fc2>
- Kärkkäinen, R., Lavikka, R., Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2019, May). Situation picture through construction information management. 10th Nordic conference on construction economics and organization (pp. 155-161). Emerald Publishing Limited.
- Nieminen, L. (2023). Tahtituotannon häiriöiden ja ohjauskeinojen selvittäminen tietovirtojen avulla. Diplomityö, Aalto-yliopisto. Saatavilla: <https://aaltodoc.aalto.fi/items/66e24ceo-63fd-430c-846d-0e600135bead>
- Peltokorpi, A; Uusitalo, P., Siltanen, M., Alhava, O. (2023). Toimitusketjujen hallinta: Building 2030 osahankkeen loppuraportti. Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Saatavilla: <https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2023-04/Toimitusketjujen-hallinta-loppuraportti-2023-03-28.pdf>
- Power, W., Sinnott, D. & Lynch, P. (2023). An Examination of IGLC Takt Literature - Learnings & Opportunities, Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC31) , 1557-1569. Saatavilla: doi.org/10.24928/2023/0218
- Rieki, J., Rannisto, J., Lehtovaara, J., Seppänen, O. & Peltokorpi, A. (2023). Achieving a 4-hour takt time – and driving change with it. Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC31), 1184–1195. Saatavilla: <https://doi.org/10.24928/2023/0146>
- Seppänen, O., Lappalainen, E., Lehtovaara, J., Reinbold, A., Aikala, A., Zheng, Y., Kajander, J., Maliniemi, E., Hänninen, A. (2022). Building 2030: Visuaalinen johtaminen ja tilannekuvan käyttö. Loppuraportti. Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Saatavilla: https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2022-04/Building2030-visuaalinen-johtaminen-ja-tilannekuvan-kaytto_1.pdf
- Särkilahti, S. (2023). Prerequisite management in takt production. Diplomityö, Aalto-yliopisto. Saatavilla: <https://aaltodoc.aalto.fi/items/c85ad292-f76d-4344-a61b-a484198a94do>
- Vihavainen, O. (2023). Tahtityömaiden päivittäisjohtamisen parhaat käytännöt. Diplomityö, Aalto-yliopisto. Saatavilla: <https://aaltodoc.aalto.fi/items/aabe27ca-1d7d-4193-82f8-8242b20ef948>