Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden
korkeakoulu

Building 2030: Hajautettu työnsuunnittelu

Loppuraportti

Kirjoittajat:

Aalto-yliopiston tutkijat: Olli Seppänen, Joonas Lehtovaara, Eelon Lappalainen, Petteri Uusitalo

Aalto-yliopiston opiskelijat: Timo Hiitola, Jenni Sahlberg, Julianna Jääsvuo

Aalto-yliopiston Rakennustekniikan laitoksen Building 2030 tutkimushankkeen yrityskumppanit ovat: A-Insinöörit, Amplit, Fira, Granlund, Haahtela, Jatke, Lujatalo, M.R. Partners Oy, Parma, Pohjola Rakennus, Ramboll, Rakennusliike U. Lipsanen, Rakennuslogistiikka, Ramirent, Skanska, SRV, Stark, Tocoman, Trimble ja YIT.

21.12.2020

Sisällysluettelo

Tiivistelmä 3
1 Johdanto 4

1.1 Tutkimuksen tausta 4
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja menetelmät 4

2 Työmaata tukeva suunnittelu 6

2.1 Taustaa 6
2.2 Työmaata tukevan suunnittelun vaatimukset suunnittelijoille 6
2.3 Työmaata tukevan suunnittelun case-esimerkki: Fredriksdals bussiterminaali 7
2.4 Kehitysehdotukset paikallavalurakenteiden suunnitteluun 8
2.5 Pohdinta 10

3 Hajautetun suunnitteluprosessin tilannekuva 11

3.1 Taustaa 11
3.2 Haasteet 13
3.3 Scrum osana tilannekuvaa 14

4 Hajautettu tahtituotanto 16

4.1 Tausta 16
4.2 Alustava hajautetun tahtituotannon prosessi 18
4.3 Case Valtra 22
4.4 Case Puistosairaala 25
4.5 Tahtituotanto toimistosaneerauksessa 29
4.6 Tahtihankkeiden keskeiset opit 37
4.7 Hajautettu tahtituotanto nyt & jatkokehitys 40

5 Yhteenveto ja johtopäätökset 42

5.1 Miten nokkamiesten ja asentajien teknistä osaamista ja työnsuunnitteluosaamista voidaan parhaiten hyödyntää hukan minimoimiseksi? 42
5.2 Miten tahtituotantoa voidaan kehittää osallistamalla paremmin arvoa luovat tekijät? 42
5.3 Minkälaiset tekniset ja työsuunnitelmat parhaiten tukevat asentajan työtä? 43
5.4 Miten eri työlajien asentajat hahmottavat työnsä? 43
5.5 Jatkotutkimusaiheet 43

Lähdeluettelo 45

Tiivistelmä

Building 2030 –konsortion rahoittamassa hajautetun työnsuunnittelun hankkeessa tavoitteena oli ottaa paremmin huomioon asentajien ja nokkamiesten näkökulma teknisessä suunnittelussa ja työnsuunnittelussa. Aiemmassa tutkimuksessa oli havaittu, että toteutuksessa oli runsaasti hukkaa ja improvisointia, josta iso osa liittyi suunnitelmiin. Hankkeen tavoitteena olikin mahdollistaa mahdollisimman sujuva työ ja hyödyntää paremmin asentajien osaamista.

Toteutussuunnitelmien osalta tutkittiin erityisenä case-esimerkkinä paikallavalurakenteiden rakennettavuutta. Hankkeessa kehitettiin työpajatyöskentelynä suosituksia työmaan tarpeiden huomioon ottamiseksi suunnitteluvaiheessa. Yksilöllisten ratkaisujen minimointi, toistuvuuden maksimointi ja vaikeiden paikkojen yksityiskohtainen mallintaminen johtavat parempaan rakennettavuuteen. Lisäksi pitäisi panostaa suunnitelmien visuaalisuuteen esimerkiksi käyttämällä standardoitua värikoodausta suunnitelmissa ja esittämällä asennusjärjestykset vaikeista paikoista räjäytyskuvien avulla.

Suunnitteluprosessin osalta pohdittiin tilannekuvan saavuttamista suunnitteluprosessissa, mikä voisi mahdollistaa pienemmät eräkoot ja sitä kautta paremman rakennettavuuden, kun työmaalle tuotetaan oikean tasoisia suunnitelmia pienissä paloissa. Aiemmissa hankkeissa on jo esitetty suunnittelunohjauksen menetelmiä, joilla tähän voi päästä. Hankkeessa käytiin läpi erityisesti Scrum–menetelmän käyttökelpoisuutta eräkoon pienentämisessä ja tilannekuvan hallinnassa. Suositeltuja menetelmiä testataan jatkotutkimuksessa.

Pääpaino hankkeessa oli hajautetun tahtituotannon tutkimuksessa. Hankkeessa testattiin mallia, jossa asentajille ja nokkamiehille annetaan enemmän valtaa tahdin sisällä. Vaikka koronavirusepidemia häiritsi asentajien osallistamista kahdessa kolmesta case-hankkeesta, yhdessä hankkeessa asentajat saatiin hyvin mukaan. Asentajilla ja nokkamiehillä oli huomattavasti parempi näkemys esimerkiksi työmenekeistä kuin heidän esimiehillään, jotka perustavat arvionsa jälkilaskentatietoihin, jotka sisältävät paljon hukkaa. Muut kaksi hanketta olivat lähempänä perinteisiä tahtihankkeita mutta niistäkin saatiin hyvää oppia muun muassa tahtituotannon sopivuudesta vaativaan korjausrakentamiseen.

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Building 2030 –konsortion aiempina vuosina rahoittamissa hankkeissa nousi esille asentajien ja nokkamiesten olennainen rooli rakentamisprosessissa. Hukan mittaamiseen keskittyneessä hankkeessa havaittiin, että hukkaa oli runsaasti ja asentajat eivät itse voineet vaikuttaa siihen. Merkittävä osa hukasta liittyy toteutussuunnittelun laatuun, mikä johtaa tarpeeseen improvisoida työmaalla. Samoin pääurakoitsijoiden aikataulut eivät yleensä ole toteutettavissa, eivätkä ohjaa riittävästi asentajien päivittäisiä päätöksiä. Asentajat joutuvat jatkuvasti tekemään siis sekä teknistä että työnsuunnittelua. Nämä havainnot johtivat tarpeeseen tehdä tutkimus, jossa selvitetään, miten asentajien osaamista voitaisiin hyödyntää paremmin.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja menetelmät

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää menetelmiä asentajien parempaan osallistamiseen työnsuunnittelussa ja teknisessä suunnittelussa eli hajauttaa päätöksentekoa lähemmäs asennusta. Erityisesti haluttiin jatkokehittää tahtituotantoa osallistavampaan suuntaan. Suunnittelunäkökulmasta hankkeen tavoitteena oli tutkia suunnitelmien asennettavuutta. Lisäksi selvitettiin alustavasti, miten hajautetun työnsuunnittelun periaatteita voisi soveltaa myös suunnitteluprosessissa.

Näistä lähtökohdista työryhmä valitsi seuraavat tutkimuskysymykset:

- **Miten nokkamiesten ja asentajien teknistä osaamista ja työnsuunnitteluosaamista voidaan parhaiten hyödyntää hukan minimoimiseksi?**
- **Miten tahtituotantoa voidaan kehittää osallistamalla paremmin arvoa luovat tekijät?**
- **Minkälaiset tekniset ja työsuunnitelmat parhaiten tukevat asentajan työtä?**
- **Miten eri työlajien asentajat hahmottavat työnsä? Onko tahtialue vaativammassa kohteessa asentajan kannalta relevantti käsite?**

Hajautettuun tahtituotantoon liittyen hankkeessa tutkittiin kolmea case-projektia, joissa pyrittiin soveltamaan hajautetun tahtituotannon mallia. Haasteeksi tuli hankkeen aikana alkanut COVID-19 –epidemia, mikä hankaloitti työntekijöiden osallistamista. Alkuperäinen suunnitelma saatiin toteutettua yhdessä hankkeessa mutta kahdessa case-projektissa toteutus jäi lähemmäs normaalia tahtituotantoa. Vaikka tämä ei ollut alkuperäinen tarkoitus, tämä mahdollisti hankkeiden vertailun, jolla oli mahdollista oppia hajautetun tahtituotannon potentiaalista.

Tekniseen suunnitteluun liittyviä kysymyksiä pohdittiin käymällä läpi case-hankkeita ja malleja, joita löytyi kirjallisuudesta ja ryhmän aiemmasta tutkimuksesta. Ajatusten kehittelyssä keskeistä oli konsortion työpajatyöskentely, jossa pohdittiin suunnitelmien asennettavuutta ja suunnitteluprosessin tilannekuvaa. Case-hankkeiden ja työpajatyöskentelyn pohjalta saatiin tuloksia liittyen työmaalähtöiseen paikallavalurakenteiden suunnitteluun ja suunnitteluprosessin tilannekuvaan, jossa yksittäisen suunnittelijan osallistumisella on olennainen rooli.

Hankkeessa kehitettiin myös laaja tilannetietoisuuteen ja työnsuunnitteluun liittyvä kysely, joka oli kohdistettu asentajille. Koronavirusepidemian vuoksi päädyttiin kuitenkin siihen, että kyselyä ei toteutettu hankkeen puitteissa.

2 Työmaata tukeva suunnittelu

Teksti perustuu Timo Hiitolan valmisteilla olevaan diplomityöhön.

2.1 Taustaa

Aiemmassa Building 2030 –hankkeessa tutkittiin suunnittelun vaikutusta tuotannossa hukattuun aikaan ja todettiin, että suunnitelmissa on paljon kehitettävää niiden loppukäyttäjän eli asentajan näkökulmasta. Suunnitelmien puutteet johtavat hukkaan asennusvaiheessa (Järvinen 2019). Hankkeessa päätettiinkin käsitellä työmaata tukevaa suunnittelua paikallavalurakenteiden näkökulmasta. Timo Hiitola teki aiheesta diplomityönsä, jonka tuloksiin tämä luku pohjautuu. Diplomityö ei ole tätä kirjoittaessa vielä valmis mutta julkaistaan vuonna 2021.

Lähtöoletuksena oli, että toteutussuunnitelmien pitäisi tarjota asentajille ja työmaalle mahdollisimman hyvät lähtökohdat toteuttaa työmaan osuus rakennushankkeesta. Vaikka urakoitsijan ja suunnittelijan välillä ei usein olekaan sopimussuhdetta, työmaa pitäisi ymmärtää toteutusvaiheen suunnitteluprosessin sisäisenä asiakkaana. Seuraavan työvaiheen tekijä on edellisen työvaiheen asiakas.

Suomessa betonirakenteiden toteutusasiakirjojen laadintaan liittyvät määräykset keskittyvät määrittämään suunnitelmien sisältöä ja toiminnallisia vaatimuksia. Määräyksissä ei oteta kantaa tiedon esitystapaan. Paikallavaluihin liittyviä esitystapoja ei myöskään ole standardoitu. Esitystapaohjeita on esitetty yleispiirustuksiin liittyen RT-korteissa mutta esitystapoja ei ole ohjeistettu toteutussuunnittelulle. Samaten Runko-RYLissä keskitytään tietosisältöön muttei esitystapaan. RIL ja Betoniyhdistys ovat julkaisseet myös esitystapaa koskevia ohjeita. Näissäkään ohjeistuksissa ei ole otettu huomioon kaikkia työmaan kohtaamia haasteita, joten ne vaativat jatkokehitystä.

2.2 Työmaata tukevan suunnittelun vaatimukset suunnittelijoille

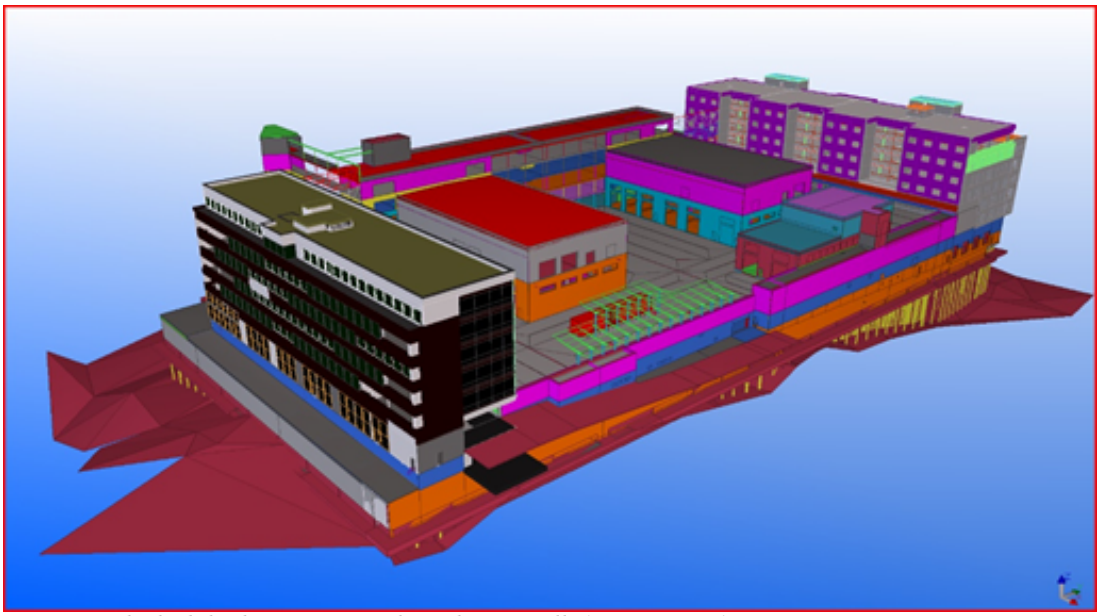
Toteutussuunnittelussa pitää ottaa huomioon suunnitelmien toteutettavuus ja työturvallisuus. Suunnittelijoiden pitäisi siis tuntea rakenteisiin liittyvät työvaiheet ja niiden haasteet. Suunnitelma- ja ratkaisuvalinnat pitäisi tehdä ottaen huomioon työmaan käytössä olevat resurssit (esim. muottikalusto) ja osaaminen, mikä voi olla haastavaa, jos toteuttaja ei ole tiedossa. Joka tapauksessa on mahdollista suunnitella rakenteet siten, että niissä on mahdollisimman paljon toistuvuutta. Toistuvuus vähentää virheiden määrää ja yksinkertaistaa rakenteiden asennusta.

Suunnitteluratkaisuilla voidaan esimerkiksi mahdollistaa esivalmistettujen muottien (suurmuotit, kasettimuotit, pilarimuotit, pöytämuotit, holvikasettijärjestelmät) tehokas muotti-

kierto ja minimoida paikallatehtyjen lauta- ja levymuottien käyttö. Raudoitteet tulevat työmaalle valmiiksi taivutettuina tehtaalta mutta asennus tapahtuu yksitellen. Raudoitteiden osalta työmaata tukevan suunnittelun mahdollisuudet korostavat, koska virheet suunnittelussa voivat johtaa tarpeeseen muokata valmiiksi taivutettuja teräksiä. Solmukohdissa asennus on haasteellista ja asennusjärjestyksellä on merkitystä, joten se pitäisi suunnitella etukäteen ja esittää suunnitelmissa. Muussa tapauksessa asennuksen suunnittelu on tehtävä työmaalla.

2.3 Työmaata tukevan suunnittelun case-esimerkki: Fredriksdals bussiterminaali

Hyvä esimerkki laadukkaista, työmaata palvelevasta paikallavalurakenteiden suunnittelusta on Tukholman lähibussiliikenteen terminaali. Hankkeen kokonaispinta-ala oli 90 000 m2 ja hankkeen päälle rakennettiin kolme toimistorakennusta (kuva 1).



Kuva 1. Frekriksdalin bussiterminaalin rakennemalli (Brusas 2014)

Paikallavalurakenteet olivat iso osa hankkeen rakennustöistä, koska hankkeessa oli huonot perustamisolosuhteet. Hankkeessa päätettiinkin pilotoida paikallavalurakenteiden tehokkaampaa suunnittelua ja toteutusta. Raudoitusurakoitsija ja rakennesuunnittelija toimivat tiiviissä yhteistyössä. Kaikki raudoitteet mallinnettiin Tekla Structures –tietomalliin ja hyödynnettiin raudoite-elementtejä ja raudoituslistoja.

Työn tehostamiseksi haluttiin maksimoida suurmuottien ja raudoite-elementtien käyttö. Tämän mahdollistamiseksi piti sopia etukäteen valulohkot ja mallintaa kaikki raudoitukset valulohkoittain. Raudoitusluettelot saatiin siis lohkoittain ja numeroitiin tiettyyn valuetappiin, jolloin asentajien oli helppo selvittää, minne raudoite sijoitetaan. Numerointi helpotti myös logistiikkaa. Asentajat saivat valmiin paketin suunnitelmia ja raudoitteita värikoodattuina nippuina valulohkoittain. Perinteisten paperisten suunnitelmien lisäksi rakennesuunnittelija koulutti asentajat tietomallin käyttöön.

Urakoitsijan alkuperäinen arvio aiempien kokemuksien perusteella oli 18 kuukauden kesto paikallavalurakenteille kolmella raudoitusryhmällä. Muutaman valulohkon jälkeen huomattiin, että prosessi toimi niin sujuvasti, että kolmannesta ryhmästä voitiin luopua. Kahdella ryhmällä työ valmistui 12 kuukaudessa. Urakoitsijoiden mielestä nopeamman keston mahdollistivat tarkasti ja yhdessä suunnitellut ratkaisut, mikä vähensi ongelmien ratkomista työmaalla asennusvaiheessa. Valmiiksi niputetut raudoitteet ja raudoite-elementit säästivät aikaa logistiikassa ja asennuksessa. Suunnittelukustannukset nousivat sen aikaisilla välineillä huomattavasti kalliimmiksi. Mallinnustyökalut ovat vuoden 2013 jälkeen kehittyneet, joten vastaavaan pääsisi huomattavasti edullisemmin nykypäivän työkaluilla ja osaamisella.

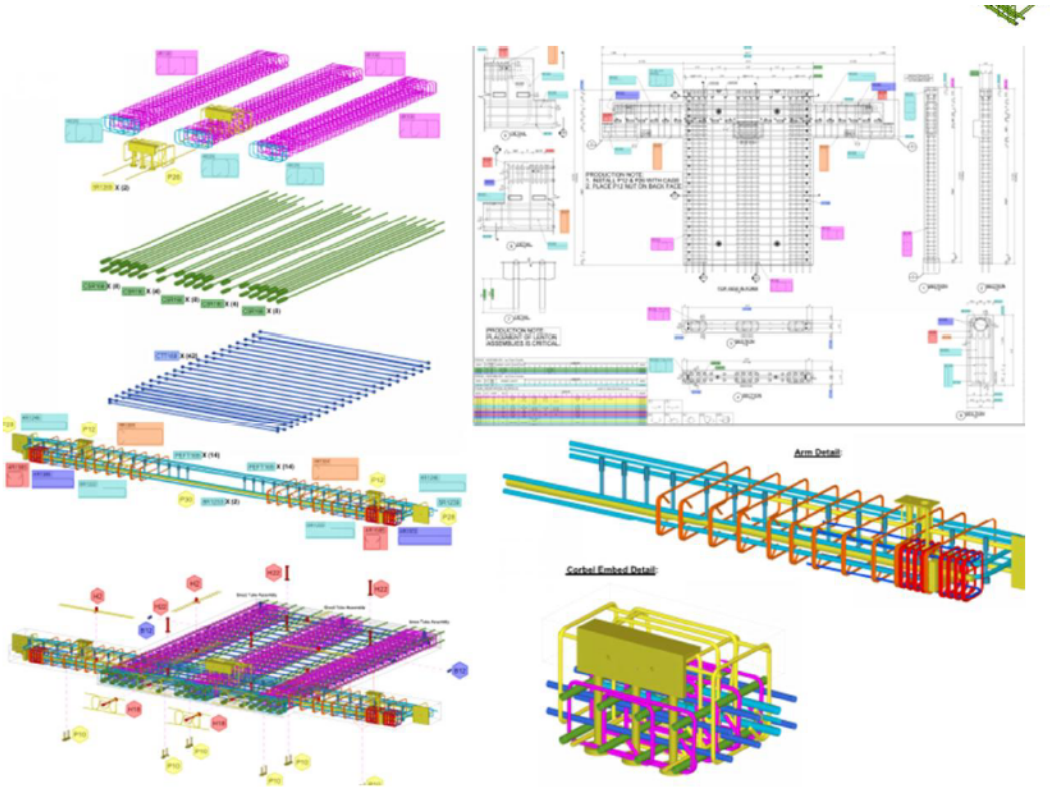
2.4 Kehitysehdotukset paikallavalurakenteiden suunnitteluun

2.4.1 Asennustasoinen mallinnus

Paikallavalurakenne pitäisi rakentaa ensin virtuaalisesti mallintamalla kaikki tarvittavat komponentit. Tällöin rakennettavuus voidaan etukäteen tarkastaa ja vaikeat kohdat voidaan analysoida. Jos työ on vaikeaa mallintaa, se on myös vaikea asentaa. Lisäksi suunnittelijan pitäisi ottaa huomioon mahdolliset muut rajoittavat olosuhteet.

Suunnittelussa pitäisi jo ottaa huomioon valualueet ja raudoitteet pitäisi sitoa valulohkoihin, mikä helpottaa logistiikkaa, määrälaskentaa ja aikataulutusta. Raudoituselementtien käyttöä pitäisi tutkia jo suunnitteluvaiheessa.

Vaikeat kohdat pitäisi tunnistaa ja havainnollistaa esim. aksonometrisillä kuvilla tai räjäytyskuvilla, joista ilmenee asennusjärjestys. Raudoitukset voitaisiin värikoodata, jotta sama teräs näkyy helposti eri leikkauksissa ja tasokuvissa. Building 2030 –työryhmässä esitettiin, että olisi hyvä standardoida raudoituksen värit Suomessa. Värikoodaus pitäisi toteuttaa myös logistiikassa eli suunnitelmissa tietyllä värillä esitetyt raudat pitäisi toimittaa niputettuna vastaavan värisellä nauhalla. Tämä edistää virheetöntä asennusta ja työn sujuvuutta. Kuvassa 2 on esitetty esimerkkejä asennusta helpottavista värikoodauksista ja havainnollistuksista.



Kuva 2. Asennusta helpottavia havainnollistuksia ja paikallavalusuunnitelmien värikoodaus (Hiitola, valmisteilla)

2.4.2 Tuotantoa tukeva suunnittelutapa

Suunnittelun ajattelutapaa pitäisi kehittää siten, että suunnitelmista saadaan mahdollisimman yksinkertaisia. Yksinkertaisuudella tarkoitetaan esimerkiksi toistuvia rakenneratkaisuja, jotka mahdollistavat toistuvia rakennemittoja. Tämä mahdollistaa uudelleen käytettävien muottijärjestelmien ja tehdasvalmisteisten raudoituselementtien käytön. Toistuvuus mahdollistuu, kun kaikkien rakenteiden kantavuutta ei optimoida yksilöllisesti.

Tulokset pitäisi pyöristää mittoihin, jotka on helposti toteutettavissa. Esimerkiksi raudoituksessa 230 mm jaon sijaan voi olla helpompi mennä tasajaolla 200 mm, mikä helpottaa mittausta työmaalla. Laatan yläpinnan raudoituksen osalta voi työturvallisuuden takia olla parempi mennä vieläkin pienemmällä jaolla, esim. 150 mm. Tämä tarkoittaa hieman suurempaa materiaalimenekkiä mutta sujuvampaa asennusta ja parempaa työturvallisuutta.

Liitosdetaljien suunnitteluun pitäisi myös panostaa. Pitäisi kehittää hyväksi todettuja malliratkaisuja, jotka lisäävät nopeutta heikentämättä rakenteen varmuustasoa. Työtä on jo tehty Betoniyhdistyksen hankkeessa vuonna 1988, jossa kehitettiin asennusystävällisiä suunnitteluratkaisuja.

2.5 Pohdinta

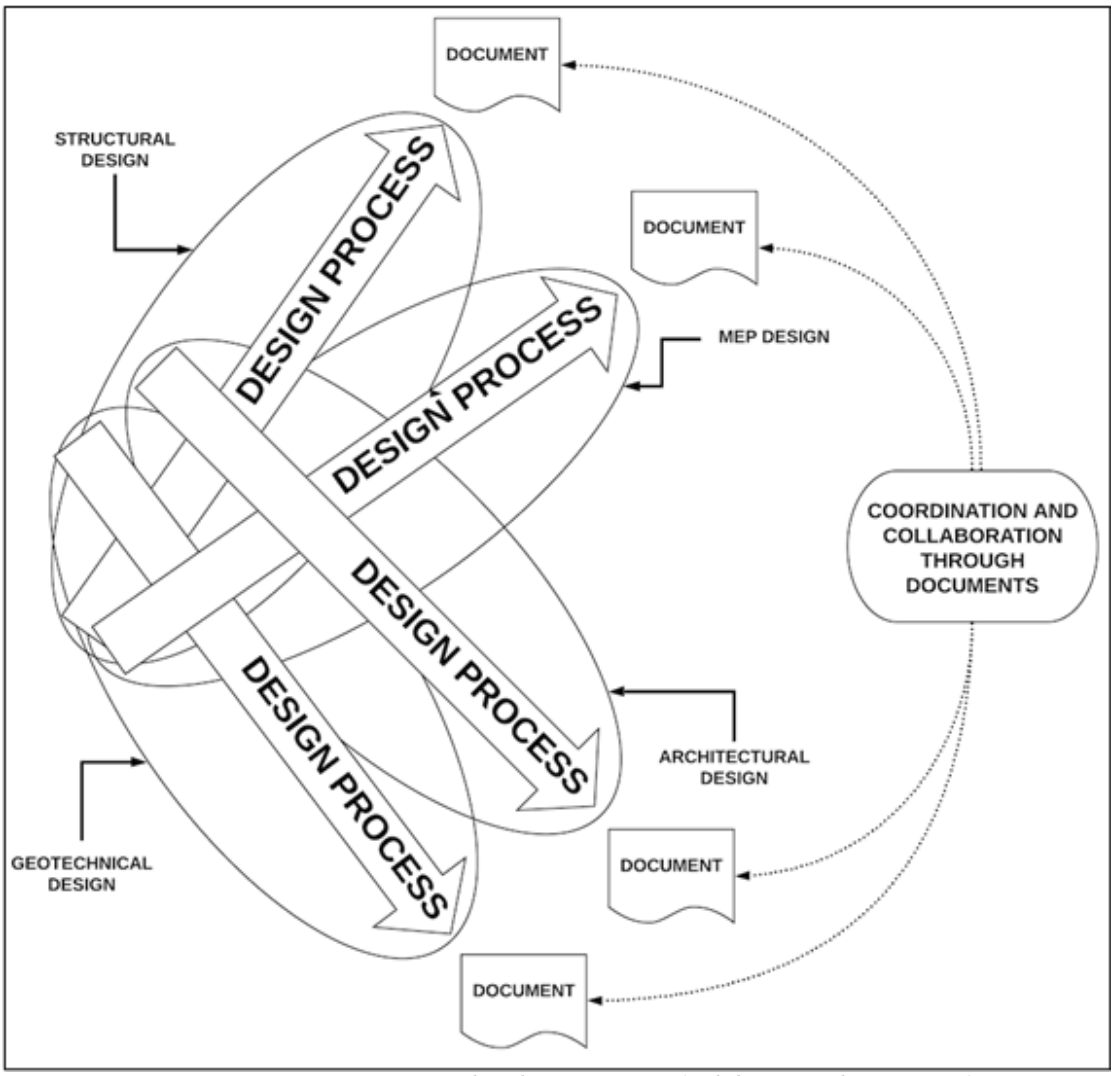
Suunnitteluvaiheessa luodaan edellytykset tuottavuudelle toteutusvaiheessa. Nykymallissa toteutusvaiheen suunnittelutyöstä maksaa tyypillisesti joku muu kuin suunnitelmien sisäinen asiakas. Tehtäväluetteloissa on useita asennettavuutta edistäviä lisätehtäviä, joita kuitenkin Building 2030 –konsortion jäsenyritysten mukaan harvemmin tilataan. Monessa maassa suunnitteluvastuuta toteutusvaiheessa onkin viety enemmän urakoitsijalle, jolloin toteuttaja voi valita omalle tuottavuudelleen parhaan suunnittelutason. Tämä voisi Suomessa toteutua esimerkiksi siten, että toteutusvaiheessa urakoitsija palkkaa erikseen detaljoijat ja hyväksyttää toteutussuunnitelmat tilaajan suunnittelijoilla. Toinen vaihtoehto on, että rakennushankkeeseen ryhtyvä ymmärtää rakennettavuuden merkityksen edulliselle toteutukselle ja tilaa asennettavat suunnitelmat. Tehtäväluetteloissa tämä on jo pääosin mahdollistettu lisätehtävin.

Samat ajatukset suunnitelmien värikoodauksesta ja suunnitelmien rakennettavuuden huomioon ottamisesta pätevät myös muihin suunnittelualoihin. Erityisesti talotekniikan suunnittelussa hyödyttäisiin suuresti värikoodauksesta ja asennustason suunnittelusta. Samoin kuin paikallavalujen raudoitushäkkien kanssa, asennustason suunnittelu talotekniikassa mahdollistaisi esivalmistuksen. Haasteet ovat myös samanlaiset. Suunnittelufilosofiaa täytyy muuttaa ja asennustason suunnitteluun menee väistämättä enemmän tunteja. Asia on kuitenkin tärkeä, koska suunnitelmien toteutettavuus vaikuttaa merkittävästi tuottavuuteen työmaalla. Panostamalla enemmän suunnitteluun voidaan hankkeen kustannuksia merkittävästi pienentää, kuten esim. case Fredriksdalenin bussiterminaali hyvin osoitti.

3 Hajautetun suunnitteluprosessin tilannekuva

3.1 Taustaa

Rakennusprojektien perinteinen tapa ohjata suunnittelua ei ota huomioon riittävästi huonon informaatiovirran negatiivisia vaikutuksia. Huono suunnitelmien koordinointi johtaa merkittävään hukkaan suunnittelun jälkeisille prosesseille. Projektien suunnittelualat muodostavat tilapäisen projektiorganisaation keskittyen kuitenkin omien kotiorganisaatioidensa tavoitteisiin ja prosesseihin. Projektin suunnittelunohjauksesta vastaava taho jakaa tehtäviä ja sovittaa yhteen suunnitteludokumentteja. Kuvassa 3 on kuvattu perinteinen osaoptimoitu suunnittelunohjausprosessi.



Kuva 3. Perinteinen osaoptimoitu suunnittelunohjausprosessi. (Lähde: Uusitalo ym. 2020)

Perinteisessä suunnittelunohjausprosessissa on usein epävarmuutta suunnittelun nykytilanteesta sekä tarkkuustasosta, kuten on esitetty aiemmissa Building 2030 –hankkeissa (Uusitalo ym. 2020). Suunnittelutieto toimitetaan suurissa suunnittelupaketeissa, mikä johtaa mahdollisten suunnitteluvirheiden etenemiseen toteutukseen saakka, koska suunnitelmien tarkastusprosessille ei jää aikaa (Uusitalo ym. 2019).

Suunnitteluprosessi onkin nähtävä kokonaisuutena, jossa on sekä sosiaalisia että teknisiä vaatimuksia. Tästä näkökulmasta aiemmissa Building 2030 –hankkeissa on muodostettu kokonaisprosessi, joka ohjaa suunnittelun tarkkuustasoa yhdessä sovittujen välitavoitteiden mukaan (Uusitalo ym. 2019). Käyttäen Last Plannerin osallistavaa menetelmää, projektin suunnittelu- ja tuotanto-organisaatiot yhdessä sopivat, (1) mitä tietoa tarvitaan milloinkin, (2) mikä osa tiedosta pitää toimittaa sijainneittain ja (3) mikä osa tiedosta toimitetaan järjestelmittäin. Kokonaisjärjestelmä ohjaa kasvattamaan suunnittelutiedon tarkkuutta tuotannon edellyttämään tasoon: esim. hankintaa varten vaaditaan matalampi tiedon tarkkuustaso kuin asennusta varten. Taulukossa 1 on esitetty suunnittelunohjauksen kokonaisjärjestelmän vaiheet sekä pääkomponentit.

Taulukko 1. Suunnittelunohjauksen kokonaisjärjestelmän pääkomponentit.

Aikataulun taso	**Toiminnallisuuden kuvaus**	**Käytetyt työkalut ja käsitteet**
Yleisaikataulu	Tuotantoaikataulun linkitys tietotarpeisiin ja välitavoitteisiin perustuen projektitiimin päätöksiin ja tuotantostrategiaan	LPS + LOD (BIM) + LBMS / TAKT + LBDM
Vaiheaikataulu	Yhteistoiminnalliset suunnittelukokoukset, joissa määritetään tietotarpeet nykyisen välitavoitteen saavuttamiseksi	LPS + LOD (BIM)
Eteenpäin katsova aikataulu	Eteenpäin katsovan suunnittelun ja keskustelumatriisin (Dialogue matrix, DM) yhdistelmä lähtötietotarpeiden ja niiden tilanteen dokumentointiin	LPS + DM
Viikkoaikataulu	Viikoittaiset projektitiimin kokoukset	LPS
Onnistumisen mittaus	Onnistumisen mittaaminen viikkotavoitteiden toteutumaprosentilla (PPC)	LPS

Kehitetty malli tarjoaisi hyvän lähtökohdan suunnitteluprosessin hajauttamiseksi mutta toistaiseksi mallia ei ole otettu vielä Suomessa käyttöön. Tärkeintä mallissa on pieni eräkoko ja jatkuva palaute. Suunnittelun pieneen eräkokoon pääsemisessä haasteena on puutteellinen läpinäkyvyys (Uusitalo ym. 2020), joten tässä hankkeessa lähdettiin jatkokehittämään mallia pohtimalla suunnittelun tilannekuvaa.

3.2 Haasteet

Suunnittelun läpinäkyvyyden ratkaisuksi esitettiin hankkeen työpajassa ns. Operational Excellence-malliin (OEM) (Duggan & Healey, T. 2016) pohjautuva suunnittelun tilannekuvan määrittely. OEM:n tavoitteena on kehittää työprosessia lean-menetelmien avulla niin läpinäkyväksi ja yksiselitteiseksi, että tilannekuvan näkee joko järjestelmästä tai tilannehuoneessa 'yhdellä silmäyksellä'. Konsortion syksyn 2019 työpajaan laadittiin OEM:ää havainnollistamaan kaksi erillistä tilannetta, joista alla olevassa taulukossa 2 vasemmalla puolella on esitetty epäselvä tilanne ja oikealla puolella on esitetty selkeä tilannekuva.

Taulukko 2. Epäselvästä tilannekuva vs. selkeä ja yksikäsitteinen suunnittelun tilannekuva.

Epäselvä tilannekuva suunnittelusta	**Selkeä tilannekuva suunnittelusta**
Ei selkeää ja yksikäsitteistä näkymää siihen, onko suunnittelu aikataulussa vai ei	Nähdään selkeästi ja yksikäsitteisesti, onko suunnittelu aikataulussa vai ei
Ei selkeää ja yksikäsitteistä tietoa siitä, mitä kukin suunnittelija on tekemässä seuraavaksi	Nähdään selkeästi ja yksikäsitteisesti, mitä kukin suunnittelija on tekemässä seuraavaksi
Ei selkeää ja yksikäsitteistä tietoa siitä, onko työmaan suunnitelmatarpeet (ns. pull-signaalit) ja niitä seuraavat työvaiheet suunnittelijoiden tiedossa	Nähdään selkeästi ja yksikäsitteisesti työmaan suunnitelmatarpeet (ns. pull-signaalit)
Ei tietoa suunnitelmien läpimenoajasta ja sen vaihtelusta	Nähdään selkeästi ja yksikäsitteisesti suunnitelmien läpimenoaika ja sen vaihtelu
Ei selkeää ja yksikäsitteistä tietoa, milloin seuraava suunnittelutehtävä aloitetaan ja milloin suunnittelija saa siihen tarvitsemansa lähtötiedot	Nähdään selkeästi ja yksikäsitteisesti, milloin seuraava suunnittelutehtävä aloitetaan ja milloin siihen tarvittavat lähtötiedot on toimitettu
Ei selkeää ja yksikäsitteistä tietoa suunnitelmien yhteensovittamisen tilasta ja mitä avoimia kysymyksiä on	Nähdään selkeästi ja yksikäsitteisesti yhteensovitettujen suunnitelmien tila
Ei selkeää kuvaa mahdollisesti myöhästyvistä suunnitelmista	Nähdään selkeästi ja yksikäsitteisesti mahdollisesti myöhästyvät suunnitelmat (=ennakkovaroitussignaali)
Ei tietoa projektissa mukana olevista suunnittelijoista ja heidän käyttöasteestaan	Nähdään selkeästi ja yksikäsitteisesti projektissa mukana olevat suunnittelijat ja heidän käyttöasteensa

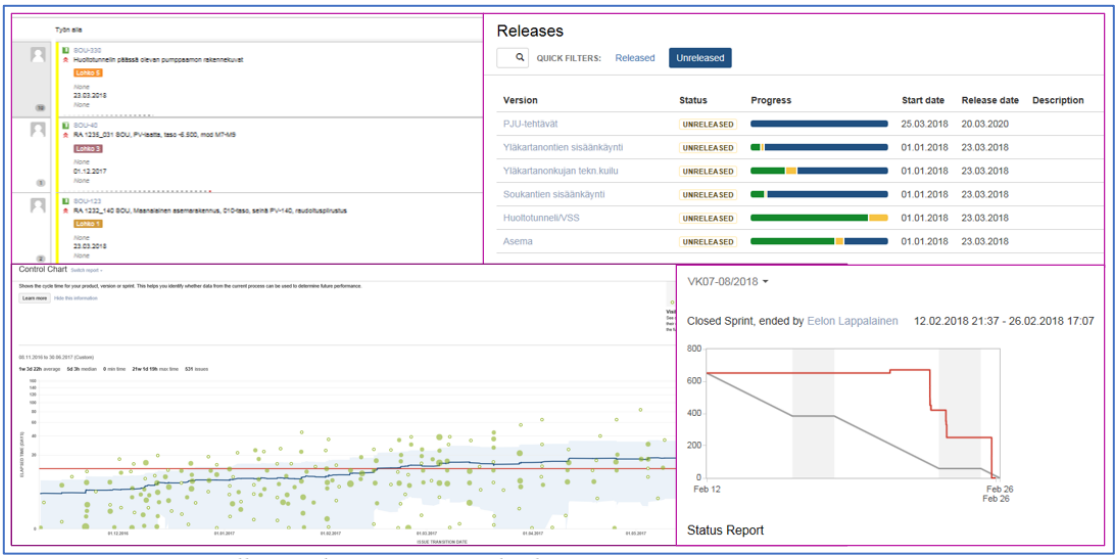
Taulukossa esitetty esimerkkitilanne on tehty palvelemaan sekä suunnittelijoita itseään, heidän esihenkilöitään sekä työn tilaajaa ja työmaahenkilöstöä. Dugganin ja Healeyn (2016) 8-portaista OEM:ää voitaisiin esimerkiksi käyttää suunnittelun tilannekuvan luomiseen esimerkiksi näin: 1) määritellään suunnitteluprosessin arvovirta, 2) varmistetaan määritellyn suunnitteluprosessin virtaus, 3) tehdään suunnitteluprosessin virtaus näkyväksi, 4) määritetään standardi virtaavalle suunnittelutyölle, 5) tehdään epänormaali suunnittelutyön virtaus näkyväksi, 6) määritellään standardi epänormaalisti virtaavalle suunnittelutyölle, 7) varmistetaan, että suun-

nittelijat itse parantavat suunnittelutyön virtausta ja 8) hyödynnä virtaava suunnittelu organisaation kilpailuetuna. Työpajassa käytyjen keskustelujen perusteella konsortion jäsenyrityksissä oli kiinnostusta tutkia ja jatkokehittää tilannekuvamallia tähän suuntaan, joten suunnittelun tilannekuvan parantamiseen OEM:n ja pienen eräkoon osalta palattaneen tulevissa tutkimuksissa ja projekteissa.

3.3 Scrum osana tilannekuvaa

Pienen eräkoon merkitys on ennen rakennusalaa havaittu myös ohjelmistoalalla, jossa kehitettyä Scrum-menetelmää on viimeisen viiden vuoden aikana käytetty myös Building 2030 –konsortion jäsenyrityksissä. Monitaitoisten tiimien varaan rakentuva Scrum-menetelmä on vaihtoehtona perinteiselle vesiputousmallille ja sitä voidaan hyödyntää myös hajautetussa suunnitteluprosessissa sekä suunnittelun pienen eräkoon tavoittelussa (Uusitalo yms. 2020). Scrum on osoittautunut erityisen tehokkaaksi jaksottaisessa ja vähitellen täydentyvässä tiedon jakamisessa, jota suunnittelu parhaimmillaan on. Tiimi on menetelmän avaintekijä ja Scrumissa onnistuminen riippuu siitä, kuinka hyvin tiimiläiset pystyvät omaksumaan Scrumin arvot, joita ovat sitoutuminen, rohkeus, keskittyminen, avoimuus ja kunnioitus (Sutherland & Schwaber. 2007). Tämän lisäksi tärkeää on, että yksilöt sitoutuvat henkilökohtaisesti tiimin tavoitteisiin ja keskittyvät käsillä olevaan työhön.

Scrumin tukijalkoina pidetään Sutherlandin ja Schwaberin (2007) mukaan läpinäkyvyyttä, tarkastelua ja sopeuttamista. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että työn suunnitteluvaiheessa luodaan yhdessä tehtäväloki, eli ositetaan työ, jonka jälkeen suunnittelutyötä tehdään ajallisesti lyhyinä ennakkoon sovittuina jaksoina, joita kutsutaan Sprinteiksi. Tällainen jakso on useimmiten 1–4 viikkoa. Sen aikana otetaan työn alle vain tehtäviä, joille todetaan aloittamisen edellytykset. Jokaisen Sprintin päätteeksi tiimi arvioi jakson aikana tehdyt tulokset (tilaisuutta kutsutaan Retrospektiiviksi) ja juurisyitä analysoimalla etsitään korjaavat toimenpiteet niiden tehtävien osalta, joita ei saatu valmiiksi sprintin aikana. Jakson aikana tiimi tarkastelee työn etenemistä toistuvasti päiväpalavareissa, joiden kesto on yleensä enintään 15 minuuttia. Palaverissa jokainen kertoo lyhyesti muille tiimiläisille, mitä teki eilen, mitä aikoo tehdä tänään ja onko työlle jotain esteitä, joista muiden tulisi olla tietoisia. Scrumin käyttöön on kehitetty useita ohjelmistoja, jotka mahdollistavat myös hajautettujen tiimien työskentelyn. Kuvassa 4 on esitetty tyypillisiä näkymiä Jira-nimisestä ohjelmasta.



Kuva 4. Scrum - tyypillisiä näkymiä suunnittelutilanteesta

Scrumin voidaan menetelmänä ajatella kattavan kaikki tilannekuvan tasot, joita ovat datan keruu, havainnot, ymmärrys ja ennuste. Erityisen hyödylliseksi Scrumin tekee sen visuaalisuus ja se, että menetelmä on varsin yksinkertainen ottaa käyttöön. Siihen kehitettyjä kaupallisia ohjelmistoja on useita ja työn osituksen jälkeen työn etenemisestä saa valmiita näkymiä sekä työn valmistumisesta luotuja ennusteita, joissa hyödynnetään mm. Monte Carlo-menetelmää, jolloin vaihtelun vaikutus suunnittelutiimin työssä tulee perinteisiä malleja paremmin huomioitua (Miranda 2020). Scrum lieneekin oleellinen menetelmä eräkoon pienentämisessä ja päätöksenteon hajauttamisessa. Myös Scrumin käyttöön liittyen konsortiossa tehtäneen jatkossa lisätutkimusta ja yhteisiä projekteja.

4 Hajautettu tahtituotanto

Hajautettua tahtituotantoa tutkittiin kehittämällä kirjallisuuteen sekä edellisvuoden hankkeiden oppeihin pohjautuva tuotantomalli, jota tämän jälkeen testattiin useassa eri case-hankkeessa. Tässä luvussa esitetään hajautetun tahtituotannon tausta, alustava malli, case-hankkeet sekä hankkeista kootut opit.

4.1 Tausta

Rakennushankkeita kohdellaan usein lineaarisina ja suoraviivaisina kokonaisuuksia, vaikka tutkimuksen valossa on kuitenkin selvää, että monimutkaisista projektiverkoista ja useista epävarmuustekijöistä koostuvat rakennushankkeet vaatisivat erilaista lähestymistapaa (mm. Bertelsen & Koskela 2004). Systemaattisen tuotannonsuunnittelun ja -ohjaamisen lisäksi tuotannonhallinnan keskiössä tulisi olla projektiosapuolien tietotaidon täysmääräinen hyödyntäminen, autonomian antaminen työntekijöille sekä tiedon ja päätöksenteon läpinäkyvyys (mm. Saurin ym. 2013). Motivaatio kehittää hajautetun tahtituotannon prosessi syntyi tarpeesta tuoda asentajien näkökulma tehokkaammin tuotannon johtamiseen. Tavoitteena oli yhdistää järjestelmällinen, projektin tavoitteita palveleva näkökulma (ylhäältä alas) työntekijöiden tietotaitoon sekä autonomiaan (alhaalta ylös).

Tahtituotanto on 2010-luvulla noussut vahvasti esille lean-rakentamisen tutkimuksessa (mm. Frandson ym. 2013, Dlouhy ym. 2016, Lehtovaara ym. 2020 a). Building 2030 –konsortio tutki ja pilotoi tahtia vuosina 2018 ja 2019 ja jo ensimmäisissä pilottihankkeissa saatiin huomattavia aikataulusäätöjä ja muita hyötyjä. Nopeista tuloksista ja innostuksesta huolimatta tahtituotannon laajempi käyttöönotto on kuitenkin kohdannut lukuisia haasteita, joiden juurisyistä merkittävimpiä on projektiosapuolten huono osallistaminen sekä vastuuttaminen läpi prosessin. Lehtovaara ym. (2020 b) havaitsivat useita merkittäviä kehityskohtia tahtituotannon tehokkaalle implementoinnille, joista monet liittyivät vahvasti projektin osapuolten tietotaidon parempaan hyödyntämiseen:

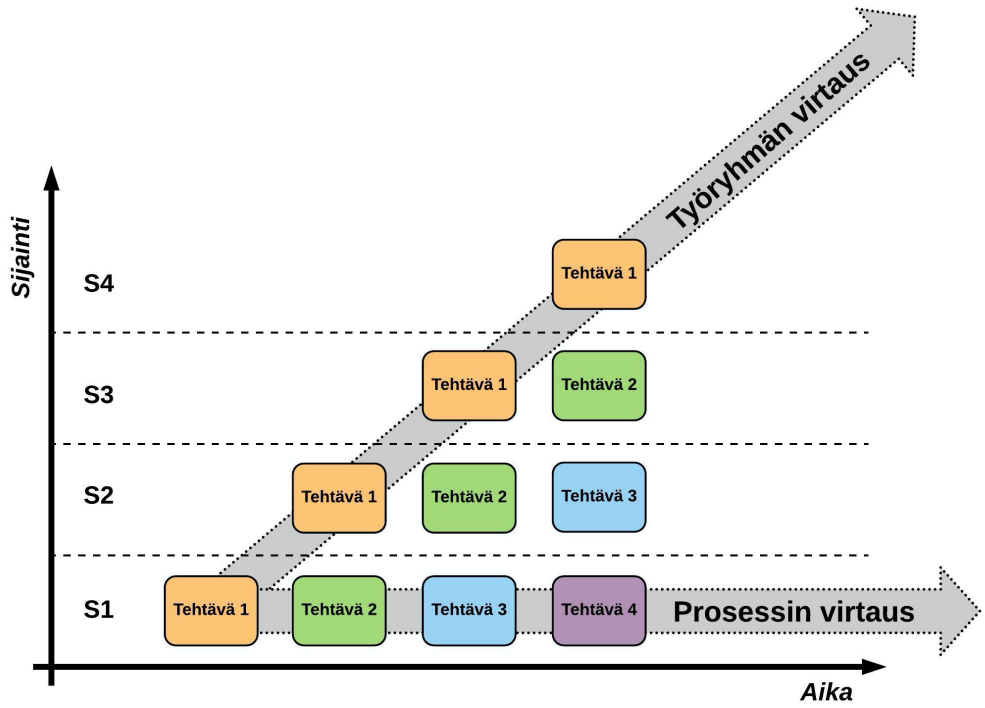
Tahtisuunnittelu & osapuolten sitouttaminen:

- Pelkästään pääurakoitsijan näkökulmasta luotu suunnitelma johtaa yksipuoliseen osaoptimointiin.
- Logistiikka ja materiaalinhallinta eivät toimi tehokkaasti tahdin rytmissä.
- Suunnittelua ei johdeta tehokkaasti tahdin rytmissä.
- Aliurakoitsijat eivät ole sitoutuneet tahtisuunnitteluun.
- Sopimukset eivät tue osapuolten sitoutumista tahtituotantoon.

Tahtiohjaus & jatkuva parantaminen:

- Projekti- ja tuotantohenkilöstöllä ei ole yhteistä tilannekuvaa tuotannon etenemisestä.
- Työntekijöiden sitoutumisesta ja motivaatiosta ei pidetä huolta tuotannon aikana.
- Ongelmien ilmetessä resursseja ja/tai aikaa jatkuvalle parantamiselle ei ole.

Lehtovaara ym. (2020 b) havaitsivat, että ristiriidat ylhäältä johdetun tahtisuunnitelman sekä aliurakoitsijoiden, materiaalitoimittajien ja suunnittelijoiden omien aikataulusuunnitelmien välillä aiheuttivat huomattavia haasteita tahdin onnistumiselle. Nämä ristiriidat johtuivat erityisesti tahtia tukemattomista sopimusmalleista, osapuolten liian myöhäisestä osallistamisesta tahtisuunnitteluun sekä läpinäkyvyyden puutteesta prosessin aikana. Sen sijaan että tuotantoa pyrittäisiin suunnittelemaan täysin resurssitehokkaaksi ja työryhmien virtausta tukevaksi, tai täysin prosessin virtausta tukevaksi (kuva 5), tulisi tahtisuunnittelun löytää mielekäs tasapaino näiden kahden näkökulman väliltä. Tilaajan ja pääurakoitsijan näkemyksen yhdistäminen työntekijöiden, suunnittelijoiden ja materiaalintoimittajien tietotaitoon tulisikin siis olla keskiössä, jos tahtituotannon koko potentiaali halutaan saavuttaa.



Kuva 5. Tuotannon virtaus tahtituotannossa (mukailtu Lehtovaara ym. 2020 b)

Tahtituotannon teknisen systeemin yhdistämistä Last Planner Systemin (LPS) sosiaaliseen prosessiin on kokeiltu onnistuneesti esimerkiksi Kaliforniassa (mm. Tommelein ym. 2017). Tahdin ja LPS:n lähestymistavat eivät ole keskenään ristiriidassa, vaan päinvastoin auttavat yhdessä saavuttamaan järjestelmällisen tavan ohjata tuotantoa, johon osapuolet sitoutetaan yhteistoiminnallisella tuotannonsuunnittelulla. Tahdin ja LPS:n yhdistäminen ei kuitenkaan

ratkaise kaikkia tahdin implementoinnissa esiintyviä haasteita. LPS edesauttaa tekijöiden sitoutumista tuotantosuunnitelmaan, muttei kuitenkaan vahvasti pääurakoitsijavetoisena prosessina täysin tuo työntekijöiden osaamista tahtisuunnitteluun mukaan. Työntekijät tekevät tahtisuunnittelun ulkopuolella vielä huomattavan määrän päätöksiä päivittäisistä ratkaisuista, joiden huomiotta jättäminen tahtiaikataulussa johtaa tahtivaunujen alisuunnitteluun sekä ongelmien havaitsemiseen ja ratkaisemiseen liian myöhään (Salerto 2019).

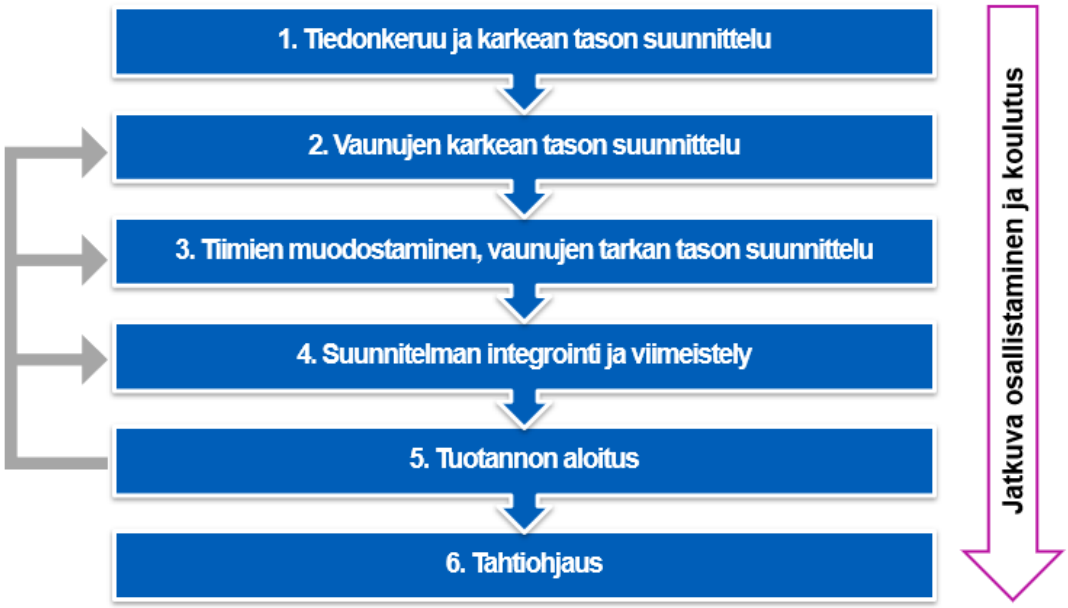
Sama havainto työntekijöiden tietotaidon alihyödyntämisestä havaittiin aikaisemmassa hajautetun työnsuunnittelun potentiaalia tarkastelleessa tutkimushankkeessa (Lehtovaara ym. valmisteilla), joka osaltaan inspiroi hajautetun tahtituotannon tutkimusta tässä hankkeessa. Aikaisemmassa tutkimuksessa huomattiin, että riippumatta siitä, hyödynnettiinkö rakennusprojektissa lean-menetelmiä (kuten LPS:aa), nokkamiehet ja työntekijät olivat keskeisiä toimijoita omien töidensä suunnittelussa. Työntekijöiden ja nokkamiesten huomattiin omaavat parhaan tiedon työn aikatauluttamisesta sekä myös osittain toteutussuunnittelun ohjauksesta mutta silti suuri osa heidän tekemistään päätöksistään ja ideoistaan eivät heijastuneet vaiheaikatauluun asti. Johtopäätöksenä on, että tuotannon suunnittelu ja ohjaus ovatkin jo tällä hetkellä hyvin hajautettuja prosesseja, mutta yhdistävä tekijä ison kuvan sekä operaatioiden välillä ei ole tarpeeksi kattava.

Jotta hajautetun työnsuunnittelun potentiaalia voitaisiin toden teolla hyödyntää, on kirjallisuudessa esitetty seuraavien mahdollistajien huomiointia:

- Vähennä projektien rakenteellista monimutkaisuutta, esimerkiksi rakentamalla työmaatiimit projektiverkoston rakennetta vastaavaksi (mm. Bertelsen & Koskela 2005).
- Sitouta ja kouluta tiimit toimimaan päätöksentekoa vaativissa tilanteissa (mm. Saurin ym. 2013).
- Lisää luottamusta ja läpinäkyvyyttä (mm. Chinowsky ym. 2008).
- Anna työntekijöille autonomiaa päätöksenteossa (mm. Zábojník 2002).

4.2 Alustava hajautetun tahtituotannon prosessi

Alustava hajautetun tahtituotannon prosessi (kuva 6) kehitettiin edellä esitetyistä lähtökohdista; mallissa pyrittiin hyödyntämään nykyisiä parhaita käytäntöjä toteuttaa tahtituotantoa (mm. Dlouhy ym. 2016, Tommelein ym. 2017) yhdistettynä tehokkaan tahtituotannon vaatimuksiin (Lehtovaara ym. 2020 b), Building 2030 –hukkatyöryhmän tutkimuksessa havaittuihin seikkoihin sekä kirjallisuuden pohjalta hahmotettuihin hajautetun työnsuunnittelun mahdollistajiin. Keskeisiä vaatimuksia prosessille olivat 1) selkeä ja helposti ymmärrettävä prosessikuvaus, jota kaikki osapuolet voivat ymmärtää ja osaltaan hallita 2) tahtivaunujen ympärille muodostuvien työryhmien autonomian mahdollistaminen sekä 3) ihmisten osaamisen hallinta oikea-aikaisen sitouttamisen ja jatkuvan koulutuksen kautta.



Kuva 6. Hajautetun tahtituotannon prosessi

Kuuden vaiheen prosessi yhdistää projektin vaatimuksista lähtevän karkean tason suunnittelun (1), iteratiivisen, tarkan tason suunnitteluun (2-4), sekä tuotannon aloituksen ja ohjauksen (5-6).

1. Tiedonkeruu ja tuotannon karkean tason suunnittelu

Ensimmäisessä vaiheessa projektin keskeiset osapuolet (tilaaja, pääurakoitsijan projekti- ja tuotantojohto) muodostavat ydintiimin, joka määrittelee tuotannon ison kuvan tavoitteet ja aikataulun suhteessa projektin vaatimuksiin. Lisäksi ydintiimi kerää tietoa tarkemmista vaatimuksista tuotannolle, saatavilla olevista resursseista, tuotantomääristä ja –nopeuksista. Ydintiimi määrittää myös karkealla tasolla aluejaon ja etenemisjärjestyksen.

2. Vaunujen karkean tason suunnittelu

Toisessa vaiheessa ydintiimi suunnittelee karkean tason tahtisuunnitelman, samalla keräten palautetta ja lisätietoa projektiin jo kiinnitetyiltä osapuolilta, kuten keskeisimmiltä urakoitsijoilta. Ydintiimi määrittää alustavat tahtialueet (alueet, jossa työryhmä työskentelee tahtiajan aikana) ja tahtiajan (ajan, jonka sisällä tahtialueella suoritettavat tehtävät toteutetaan) sekä luo työjonon, tahtivaunut (työjonon tehtävistä kootut työkokonaisuudet, jotka toistuvat tahtialueiden läpi) sekä lopulta tahtijunat (tahtivaunuista muodostuvat, toistuva kokonaisuudet).

3. Tiimien muodostaminen, vaunujen tarkan tason suunnittelu

Kolmannessa vaiheessa työryhmät (työntekijät ja nokkamiehet), suunnittelijat ja materiaalintoimittajat osallistetaan vahvasti tuotannonsuunnitteluprosessiin. Alustavan vaunujaon pohjalta muodostetaan vaunupohjaiset tiimit, joihin kuuluvat vaunussa töitä tekevien työryhmien lisäksi kriittisimmät työvaiheeseen liittyvät suunnittelijat sekä materiaalintoimittajat (kuva 7).

Vaunuun kuuluvien työryhmien nokkamiehet koordinoivat vaunujen toimintaa yhdessä ydintiimin kanssa. Tiimien muodostamisella on merkittävä rooli osapuolten sitouttamisessa tahtituotantoon sekä osapuolten tietotaidon hyödyntämisessä osana tuotannon valmistelua. Tiimit jatkavat vaunujen määrittelemien työpakettien suunnittelua tarkentaen työsisältöä ja työjärjestystä, suunnitelmia sekä materiaalinhallintaa. Lisäksi tiimit koordinoivat muutoksia ja vaatimuksia vaunujen välillä keskenään ja ydintiimin kanssa. Tässä vaiheessa myös tahtialueet, tahtiaika ja vaunujako voivat tarkentua.

Kuva 7. Vaunupohjaiset tiimit

4. Tuotantosuunnitelman yhteensovittaminen ja viimeistely

Neljännessä vaiheessa tuotannonsuunnitteluun sisällytetään tahtien ulkopuoliset alueet (jotka voivat toimia esimerkiksi varatyökohteina) ja junat aikataulutetaan muiden junien sekä projektin tavoitteiden kannalta yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Viimeistään tässä vaiheessa tarkastellaan eri toimijoiden resurssitasapainoa, sekä varmistetaan että tahtisuunnitelmalla on mahdollista täyttää projektin aikataulutavoitteet.

5. Tuotannon aloitus

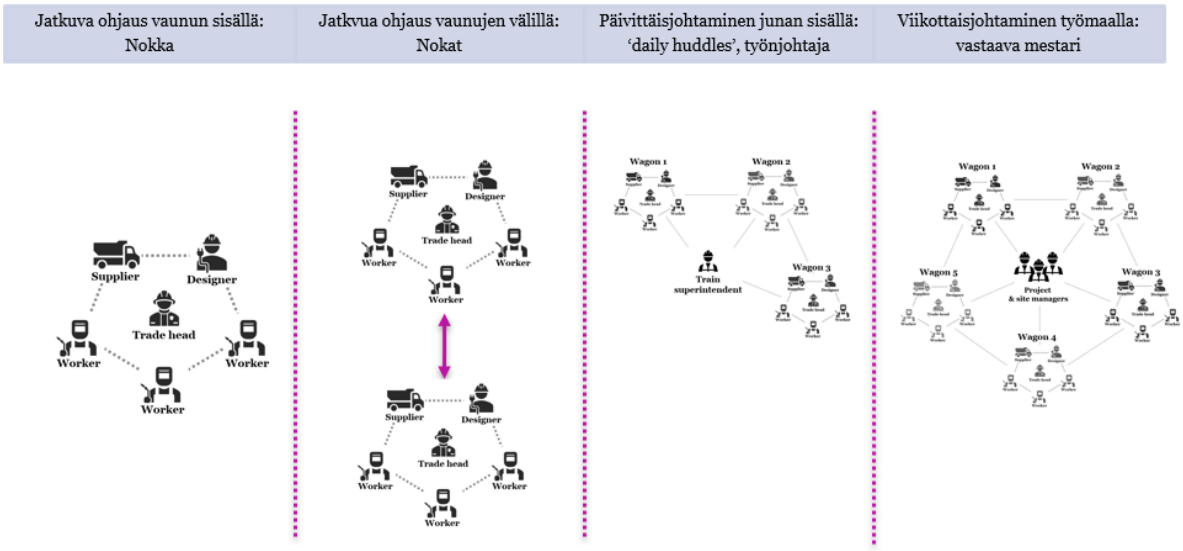
Viidennessä vaiheessa varmistetaan tuotannon aloitusedellytykset. Tämä käsittää tuotantovaiheiden rajapintojen (esimerkiksi tahdissa olevan vaiheaikataulun ja mahdollisten tahtiin kuulumattomien vaiheiden) hienosuunnittelun sekä kevyen aloituksen suunnittelun. Kevyessä

aloituksessa ensimmäiset tahdit lähtevät hitaammin liikkeelle, jotta aikaa jää alun haasteiden ratkaisemiseen ennen siirtymistä seuraaviin työkohteisiin. Lisäksi suunnitelmien tarkastus, logistiikkasuunnitelman viimeistely sekä aloituksen koordinointi työntekijöiden kanssa aikataulutetaan.

On huomattava, että vaiheet 2-5 ovat osa toistuvaa ja tarkentavaa prosessia, jossa vaiheet voivat tapahtua osittain myös keskenään samanaikaisesti.

6. Tuotannon ohjaus

Tuotannon ohjauksen rungon muodostavat päivittäisjohtamisen palaverit sekä visuaalinen tuotannonohjaus, jotka auttavat kaikkia osapuolia saamaan tilannekuvan tuotannon edistymisestä sekä jatkuvasti parantamaan omaa toimintaansa. Systemaattista laadunhallintaa toteutetaan joka tahdin välissä tapahtuvalla vaunujen välisellä työkohteen luovutuksella, jolla varmistetaan seuraavan tahdin aloitusedellytykset. Kuvassa 8 on esitetty tahtiohjauksen eri tasot. Jatkuvan vaunujen sisällä ja välillä tapahtuvan kommunikaation lisäksi koko junaa koskevat asiat käydään yhdessä läpi päivittäisjohtamisen palaverissa. Lisäksi isommat haasteet tuodaan viikkotasolla toteutettavaan tahtipalaveriin. Tavoitteena on ratkaista ongelmia mahdollisimman matalalla tasolla, jolloin ylemmälle tasolle tuotavien haasteiden määrä pysyy kohtuullisena. Tekijöiden (erityisesti nokat) valmentaminen itsenäiseen päätöksentekoon annetuissa puitteissa on edellytys tehokkaalle tahtiohjaukselle.



Kuva 8. Tahtiohjauksen eri tasot

Alustavaa mallia lähdettiin testaamaan ja kehittämään tarkemmin kolmen case-hankkeen kautta (kuva 9). Ensimmäisessä case-hankkeessa, Valtran traktoritehtaan laajennuksessa, hajautetun tahtituotannon mallia hyödynnettiin täysmääräisesti hankkeen sisävaiheessa. Toisessa ja kolmannessa case-hankkeessa, Skanskan Puistosairaalan saneerauskohteessa sekä

YIT:n Keilarannan toimistosaneerauskohteessa, tahtituotannon toteutuksessa hyödynnettiin hajautetun tahtiprosessin näkökulmia, mutta tahtituotannon toteutus oli lähempänä ”perinteistä” tahtituotantoa. Skanskan case-tutkimus toteutettiin erikoistyönä (Julianna Jääsvuo) ja YIT:n case-tutkimus diplomityönä (Jenni Sahlberg), molemmat tutkimushankkeen tutkijoiden ohjauksessa.

Kuva 9. Hankkeessa tutkitut tahtituotantohankkeet

4.3 Case Valtra

4.3.1 Tausta

Valtra on traktoritehdas Suolahdella, Jyväskylän pohjoispuolella. Tehdas oli päättänyt laajentaa tuotantoaan puoliautomaattisella varastolla, jonka rakennustyöt oli käynnistetty edellisenä kesänä. Työmaa oli edennyt marraskuussa taloteknisten urakoiden hankintavaiheeseen, jolloin havaittiin taloteknisiltä urakoitsijoilta saadun palautteen perusteella, että pääaikataulussa taloteknisille töille varattu aika ei riittäisi työhön. Tässä vaiheessa rakennuttajaorganisaatio, joka oli kuullut esityksen tahtituotannosta vuotta aiemmin, otti yhteyttä Aalto-yliopiston tutkijoihin ja pyysi tapaamista, jossa käytiin läpi tahtituotannon käytön mahdollisuudet aikataulutilanteen ratkaisemiseksi. Asia esiteltiin palaverin jälkeen asiakkaalle ja urakkaneuvotteluissa urakoitsijaehdokkaille. Tahtituotannon käyttäminen rakentamisessa synnytti mielenkiintoa asiakkaassa, joka käyttää tahtituotantoa omassa tuotannossaan, eikä kynnys tahtituotannon käyttöön ollut suuri. Urakoitsijakandidaateilla ainoastaan yhdellä yrityksellä oli yksi kokemus epäonnistuneesta tahtikokeilusta.

4.3.2 Tavoitteet

Rakennuttajaorganisaation tavoitteena oli saada talotekninen asennusurakka toteutettua alkuperäiseen aikatauluun, jotta puoliautomaattisen varaston varastohylly- ja nostolaiteasennukset pääsisivät alkamaan ajallaan ja uuden tehtaan käyttöönottoon päästäisiin aikataulun mukaisesti kesäkuun alusta. Toisena tavoitteena oli oppia tahtituotannon käyttöä, koska yrityksellä ei ollut siitä aikaisempaa kokemusta.

4.3.3 Tahtisuunnittelu

Tahtituotantoon perehtyminen käynnistettiin ennen urakoitsijavalintaa, yhdessä tilaajan ja rakennuttajaorganisaation kanssa. Ensimmäisessä työpajassa käytiin tahtituotantoa yleisesti läpi ja työpajan päätteeksi suunniteltiin ensimmäinen versio tahtiaikataulusta. Tässä vaiheessa käytettiin yleisesti saatavilla olleita työmenekkitietoja ja taloteknisen valvojan, jolla oli urakointitaustaa, osaamista työmenekkien arvioimiseksi. Samalla käytiin läpi työmaalla käytössä ollut ruutuaikataulu, jonka todettiin soveltuvan myös tahtituotantoon. Työpajassa päätettiin rajata pois tahtituotannosta sillä hetkellä jo käynnissä olleet rakennustyöt.

Urakoitsijavalinnan jälkeen pidettiin toinen työpaja valittujen yritysten työnjohdon kanssa. Työpajassa käsiteltiin tahtituotannon perusteet ja esiteltiin rakennuttajaorganisaation ensimmäisessä työpajassa laatima ensimmäinen tahtiaikatauluversio. Urakoitsijat saivat kotiläksyksi laskea ennen kolmatta työpajaa tarkemmin tahtialueiden työmenekit. Kolmanteen työpajaan kutsuttiin myös työnjohdon lisäksi nokkamiehiä ja asentajia, ja tahtituotannon perusteet kerrattiin jälleen lyhyesti. Työpajassa tahtiaikataulua tarkennettiin, tarkennettiin tahtialueita ja tarkistettiin vaunujen sisältöä. Lopuksi esiteltiin tahtituotannon ohjaus- ja säätömekanismeja ja käytiin läpi ohjauksessa käytettävät työkalut, joita olivat ruutukartat (=tahtialueet), aloittamisen edellytysten varmistustaulukko ja visualisoinnit tahtituotannon säätömekanismeista ja niiden vaikutuksista. Visualisoinneissa hyödynnettiin Binningerin ym. (2017) tekemää tutkimusaineistoa ja se käännettiin samalla suomen kielelle.

4.3.4 Ohjausprosessi

Tahtituotannon käynnistyessä tutkijat olivat säännöllisesti yhteydessä työmaahan ja myös osallistuivat kahteen ennakkoon sovittuun tilaisuuteen työmaan eri vaiheissa. Talotekninen valvoja ylläpiti ruutukarttaa ja käytti sitä työmaapalavereissa. Valvoja ylläpiti vaunujen edistymästä ja työmaan tapahtumista myös erillistä ‘valvojan päiväkirjaa’, jonka hän jakoi tutkijoiden käyttöön säännöllisesti. Vaunukohtaisen edistymän ja aloittamisen edellytykset-taulukon lisäksi työmaalta saatiin käyttöön reaaliaikaisesti työmaapäiväkirjan ja TR-mittausten tiedot sekä kuukauden välein myös kulunvalvontadata. Tahtiin pääseminen vei muutaman viikon. Tämä alkuvaiheen kangertelu oli tehty työpajoissa kaikille selväksi eikä alkuvaiheen ongelmista syntynyt ohjausvaiheessa suurempaa keskustelua. Ongelmat syntyivät tahdin ulkopuolisista tapahtumista ja sen ulkopuolelle jätetyistä työvaiheista. Työmaainsinöörin spontaanein sanoin:

"*Tahtituotanto muuttaa urakoitsijapalavereiden dynamiikkaa: aiemmin kuolettavan tylsiä raportteja ja vääntämistä, nyt oikeaa tilanteen ratkaisua ja kehittämistä.*"

4.3.5 Johtopäätökset

Tahtituotannolle asetettu päätavoite saavutettiin ja asiakas pääsi aloittamaan käyttöönoton aikataulussa, huolimatta pandemiatilanteen synnyttämistä materiaali- ja työvoiman liikkuvuusongelmista. TATE-tahdin ulkopuolelle jääneen rakennustyön ei alun perin ajateltu muodostavan ongelmia talotekniselle tahtituotannolle, mutta suurimmat ongelmat tahtituotannolle syntyivät juuri näistä tahtituotannon ulkopuolelle jääneistä työvaiheista. Alkuperäinen oletus oli kaikilla, että rakentajien jäljellä oleva osuus on suoraviivainen, koska jäljellä oli lähinnä lattia- ja maalaustyötä, mutta erikoisbetonilattiaurakoitsijan työstä muodostui lopulta pullonkaula, joka häiritsi tahtituotantoa olennaisesti. Tämän kokemuksen perusteella on selvää, että mahdollisimman suuri osa työstä on saatava tahtiin, vaikka tahtia suunniteltaessa se ei välttämättä tuntuisi olennaiselta riskiltä.

Toinen yllättävä häiriö syntyi asiakkaan vakuutusyhtiön toiminnasta, joka synnytti ennakoimattomia häiriöitä kahteen otteeseen. Ensimmäinen häiriö syntyi sprinklerisuunnitelmien hyväksymisen viipyessä aivan tahtituotannon alussa ja toinen häiriö syntyi tahdin loppuvaiheessa sprinklerijärjestelmän katselmoinnissa, jossa vakuutusyhtiö vaati suunnitelmiin ja niiden mukaan asennettuihin putkistoihin muutoksia. Normaalitilanteessa tällaiset lisävaatimukset eivät aiheuta yleensä suurta häiriötä, mutta tässä vaiheessa COVID-19 –pandemia oli jo kuitenkin edennyt Euroopassa ja esivalmisteisten sprinkleriputkien saatavuudessa oli vaikeuksia. Kolmas, mutta vähäisempi häiriö tuotannossa, oli voimakkaan talvimyrskyn rikkoma seinäelementti, josta syntyi kahden viikon ajan häiriötä tahtituotantoon. Tahtituotantoon valmistauduttaessa on siis syytä suunnitella tämänkaltaisten tilanteiden varalle odottamattomien tapahtumien pelivara ja esittää se selkeästi suunnitelmassa, jotta kaikki tietävät yhteisen pelivaran olemassaolon ja sijainnin aikataulussa.

Visuaalisen aineiston koettiin helpottavan työmaakokouksia ja viestintää, mutta päivittäisjohtamisessa ei silti täysin onnistuttu. Työnjohdon ja työntekijöiden yhteisten tilaisuuksien eteen on tehtävä huomattavasti enemmän työtä. Tähän ei ollut valmista mallia ja ohjausta käytiin läpi pääasiassa työnjohdon tasolla. Työpajoissa ja haastatteluissa tuli kuitenkin esille selkeästi nokkamiesten korkea osaaminen ja tietotaito työmenekkejä arvioitaessa, mitä tulisi hyödyntää tahtituotannon lisäksi myös tavanomaisissa projekteissa. Nokkamiesten osaaminen työmenekkien arvioinnissa varmentui myös vertaamalla tahtiaikatauluun suunniteltua ja kulunvalvontadatan avulla varmennettua toteutunutta miehitystä. Työnjohdon ja nokkamiesten tekemät resurssiarviot pitivät yllättävän hyvin paikkaansa.

Tahtituotannon sisäänajo vei yllättävän vähän resursseja ja työaikaa. Vaikka tutkijoiden työaika laskettaisiin mukaan, tahtituotantoon valmistautuminen ei ole normaalia valmistautumista suurempi työ – ainakaan tämän kokoisessa hankkeessa. Mitään erityisiä "tahtikirjauksia" ei

myöskään tehty sopimuksiin, vaikka bonuksesta ja maksuista keskusteltiin tilaajan kanssa ennen urakkasopimusten allekirjoittamista. Lopulta normaaliin YSE-sopimukseen päädyttiin tekemään ainoastaan kirjaus, että tahtituotantoa käytetään ja asia käytiin läpi urakkaneuvotteluissa. Tämän kokemuksen perusteella tavanomainen YSE-sopimus ei vaikuttaisi olevan olennainen este tahtituotannolle.

4.4 Case Puistosairaala

4.4.1 Tausta

Puistosairaala on vanhassa Helsingin lastensairaalassa toteutettava saneerauskohde. Se on eräs Suomessa parhaillaan menossa olevista suurista rakennushankkeista, joissa vanhentunutta sairaalakiinteistöä uudistetaan nykyajan tarpeita vastaavaksi ja uusiin käyttötarkoituksiin. Peruskorjauksen jälkeen Puistosairaalassa on leikkaussaleja sekä runsaasti polikliinisia sekä päiväkirurgisia toimintoja. Lisäksi toimenpidehuoneiden varusteluilla mahdollistetaan, ettei kaikkia toimenpiteitä tarvitse tehdä leikkaussalitiloissa. Vuodeosastoja tulee kahteen kerrokseen yhteensä 50 sairaansijaa. Uudistettuun sairaalarakennukseen muuttaa vuonna 2021 muun muassa rintarauhaskirurgian, plastiikkakirurgian ja verisuonikirurgian toimintoja, suu- ja leukasairauksien hoitoa ja kliinistä fysiologiaa.

Kohteesta tekee haastavan se, että se on rakennustaiteellisesti, historiallisesti ja kaupunkikuvallisesti huomattavan arvokas ja erityinen. Rakennus on myös suojeltu. Tämän vuoksi rakennuksen ja piha-alueiden muutos-, korjaus- ja lisärakentamistöistä on neuvoteltava erikseen museoviranomaisen kanssa. Sisätyövaiheessa on myös erityisen haastava talotekninen vaihe.

Kun Puistosairaalan työt alkoivat 2019 toukokuussa, takana oli jo noin puolen vuoden mittainen kehitysvaihe, jonka tavoitteena oli kehittää suunnitelmat ja työtavat niin, ettei muutostöitä tarvittaisi. Töiden yhteensovittamisen helpottamiseksi päädyttiin ottamaan käyttöön tahtituotanto. Projektin on tarkoitus valmistua 2021 elokuussa.

4.4.2 Tavoitteet ja menetelmät

Tutkimuksessa tarkasteltiin tahtiaikataulua hankkeen sisävalmistusvaiheessa. Tutkimuksessa perehdyttiin aikataulun suunnitteluun, mutta tutkimuksen pääpaino oli kuitenkin arvioida tahtituotannon toteutumista työmaalla. Erityistä huomiota kiinnitettiin taloteknisiin työvaiheisiin. Havainnointiaika työmaan toiminnan osalta rajautui vuoden 2020 alusta toukokuun loppuun asti. Työn haastatteluosuudet toteutettiin 2020 elokuussa.

Tutkimuksessa hyödynnetty aineisto koostui pääasiassa viikoittaisten tilannepalaverien materiaalin laadullisesta tarkastelusta sekä haastatteluaineistosta. Vallinneen koronatilanteen vuoksi osallistuminen fyysisesti työmaalla ei onnistunut, joten palavereihin tai työpajoihin ei ollut mahdollista osallistua. Käyttöön saatiin kuitenkin palavereista kerätyt muistiinpanot. Käyttöön saatiin myös projektin viikoittainen havaintoloki sekä itse tahtiaikataulu ja tahtiaikataulun valmiusasteet. Haastatteluiden tarkoituksena oli selvittää niin kohdeyrityksen kuin sen

ulkopuolisten henkilöiden näkemyksiä tahtituotannosta sekä saada erilaisia näkökulmia tahtituotannon toteutukseen.

4.4.3 Tahtisuunnittelu

Tahtituotantosuunnitelma pyrittiin laatimaan yhteistoiminnallisesti työpajoissa. Jotta suunnittelu onnistuisi, vaatii se tiivistä yhteistyötä tilaajan ja urakoitsijan välillä sekä osapuolten sitouttamista tahtituotannon suunnitteluun, kehittämiseen ja toteutukseen. Tuotantoa suunnitellaan yhteistyössä, jotta jokaisella osapuolella olisi mahdollisuus vaikuttaa aikatauluun ja resursointiin. Projektissa käytetty tahtiaikataulu on jaettu viiteen lohkoon ja tahtiajaksi oli määritelty yksi viikko. Tutkimuksen aikana lohkoissa oli käynnissä sisävaihe, eli purkutöistä seuraava vaihe, jonka aikana sisätilat tehdään käyttövalmiiksi. Aikataulu on tehty pölyttömäksi siivoukseen asti, ja projektille tehdään erillinen luovutusvaiheen aikataulu.

Töiden aikataulutus ja osaurakoiden vaiheistus on perinteisesti pääurakoitsijan tehtävä. Rakennushankkeessa pääurakoitsijalla on yleensä yksi tai muutama asiantuntija, jotka vastaavat työnsuunnittelusta. Tässä projektissa aikataulutuksen päävastuu oli Skanskan tuotantoinsinöörillä. Hajautetussa työsuunnittelussa halutaan kuitenkin hyödyntää myös työntekijöiden aikaisempaa tietoa ja kokemusta. Tätäkin yritettiin noudattaa Puistosairaalassa, jossa projektin muutkin työntekijät osallistuivat työnsuunnitteluun.

Urakoitsijoiden kanssa määriteltiin yhteistyössä työvaiheiden kestot eli kauanko yksittäiset työvaiheet todellisuudessa kestävät ilman häiriöitä. Myös työvaiheiden järjestys määriteltiin yhdessä, eli isommat työvaihekokonaisuudet pyrittiin pilkkomaan tarvittaessa pienempiin osiin ja määrittelemään myös töiden väliset riippuvuussuhteet. Edelleen tahtialueisiin ja tahtiaikaan oli mahdollisuus ottaa kantaa.

Tahtiaikataulu pyrittiin luomaan yhteistyössä kaikkien projektin osapuolten kesken. Haastatteluiden perusteella osapuolet rakennusvaiheessa saatiin melko hyvin osallistettua suunnitteluun. Ne, joilla ei ollut aikaisempaa kokemusta tahtituotannosta, saivat siihen riittävän perehdytyksen. Osapuolilla oli myös mahdollisuus vaikuttaa aikatauluun ja resursointiin. Haastattelujen perusteella aliurakoitsijat kokivat, että heidän mielipiteitään otettiin hyvin huomioon. Ryhmädynamiikka muuttui paremmaksi ja syyttelyn sijaan keskiöön nousi ongelmanratkaisu.

Haasteita ennakkosuunnittelussa aiheutti projektin ainutlaatuisuus. Kohteessa esiintyi yllättäviä löytöjä, joihin ei mitenkään olisi voitu varautua etukäteen. Haastattelussa aliurakoitsija kyseenalaisti sitä, toimiiko tahtiaikataulu tällaisissa vanhoissa ja merkityksellisissä saneerauskohteissa, jossa ei voi koskaan varmuudella tietää, mitä on luvassa.

4.4.4 Tahtiohjaus

Puistosairaalassa tuotantoa ohjattiin viikoittaisella työmaakokouksella. Urakoitsijoille lähetettiin myös viikoittain täydennetty tahtiaikataulu, johon oli lisätty kaikkien työvaiheiden valmiusprosentit.

Aineiston perusteella heti tuotannon aloituksen jälkeen jouduttiin tekemään paljon erilaisia lisäyksiä ja muutoksia aikatauluun. Heti alussa työvaiheet olivat myöhässä, niitä jouduttiin siirtämään ja huomattiin myös, että aikataulusta puuttui oleellisia työvaiheita. Aikataulun muutokset ovat aiemmin raportoitujen tuloksien mukaan varsin normaaleja, mutta alun suuret muutokset vaikuttivat kuitenkin tulleen yllätyksenä. Kiireisellä aikataululla jouduttiin siis tekemään muutoksia aikatauluun ja pyrittiin kiristämään jo valmiiksi tiukkaa työtahtia.

Joihinkin työvaiheisiin oli alun perin mitoitettu joko liikaa tai liian vähän aikaa. Esimerkiksi putkieristyksen kesto osoittautui todellisuudessa paljon lyhyemmäksi ja kaapelointi ei edennyt urakoitsijan työvaiheaikataulun mukaan. Seuraava työ voidaan aloittaa mestalla vasta kun edelliset työvaiheet on saatu valmiiksi, minkä vuoksi työt eivät virranneet aina tasaisesti lohkon läpi vaan pomppivat paikasta toiseen, jottei ylimääräistä hukkaa syntyisi. Hukkaa kuitenkin syntyi, kun työkohteita ei ollut aina vapaana. Esimerkiksi putkitunnelin LVS-töitä jouduttiin siirtämään edemmäs työkohteiden puuttumisen vuoksi. Aikataulun viiveet siis kasaantuivat ja jouduttiin turvautumaan osaoptimointiin.

Koronavirusepidemian alkamisella oli suuri vaikutus työmaan toimintaan. Työmaan tilannetta ja koronan vaikutuksia aikatauluun katselmoitiin yhdessä tilaajan kanssa yhteisillä työmaakierroksilla, joissa havaittiin useiden työvaiheiden myöhästyneen. Työmaa joutui sopeutumaan uudenlaisiin ja erikoisiin haasteisiin, joita ei normaaleissa olosuhteissa tulisi samassa mittakaavassa vastaan. Sairastumisista ja altistumisista aiheutunut työntekijävaje ja korvaavien työntekijöiden huono saatavuus aiheuttivat haasteita aikataulun pitävyydelle. Myös materiaalitoimitukset aiheuttivat ongelmia koronan aiheuttaman resurssipulan vuoksi. Nämä herättävät kysymyksiä siitä, miten tahtituotanto taipuu tällaisiin erikoistilanteisiin ja miten tällaisiin ongelmiin voitaisiin oikein jatkossa varautua. Kuitenkin kokonaisuutta tarkasteltaessa huomattiin, että aikataulussa onnistuttiin pysymään koko havainnoinnin ajan.

Ongelmaksi muodostui myös tiedon välittyminen muiden projektin osapuolien kanssa. Kommunikaatioon ja tiedon välitykseen tulee kiinnittää huomiota töiden jatkuvuuden säilyttämiseksi ja ongelmien välttämiseksi. Esimerkiksi tilaajan omat hankinnat, kuten KSL-laitteet, ja niihin liittyvät työt jouduttiin aikatauluttumaan erikseen, mikä automaattisesti toi epätietoisuutta tahtituotannon suunnitteluun. Projektilla odotettiin myös pitkään HUS:n päätöstä lattioiden avaamisesta, mikä viivästytti töitä jopa 10 päivää.

Useina viikkoina havaittiin muitakin ongelmakohtia aikataulussa. Havaintojen perusteella talotekniset työt aiheuttivat suurimmat ongelmat. Esimerkiksi toistuvat kaapelointien ongelmat aiheuttavat ketjureaktioita ja myöhästyttävät muita työvaiheita. Aikataulusta vastaava tuotantoinsinööri totesi myös haastattelussa, että taloteknisten töiden sovittaminen tahtituotantoon osoittautui vaikeimmaksi. Työtehtäviä oli vaikeaa mitoittaa oikean pituisiksi ja tärkeimpiä riippuvuussuhteita oli hankalaa hahmottaa. Tässä syynä oli riittävän asiantuntijuuden puute.

Suunnittelussa tulisi ottaa huomioon tuotannon vaihtelevuus. Nämä ongelmat korostavat ennakkosuunnittelun ja suunnittelunohjauksen tärkeyttä. Kohteen vaativa talotekniikka olisi vaatinut tarkempaa ennakkosuunnittelua.

Haasteista huolimatta tahtituotannosta saatiin useita hyötyjä tuotannon aikana. Työryhmille saatiin välitöntä palautetta töiden edistymisestä ja kaikilla oli yhteinen tavoite. Kun yhteistyön määrä lisääntyi, saatiin töiden keskinäisiä riippuvuuksia paremmin kaikkien tietoon. Työntekijät tiesivät, mitä työmaalla pitäisi tapahtua, mikä puolestaan helpotti ongelmiin puuttumista.

Läpinäkyvyys parani projektissa erityisesti liittyen aliurakoiden johtamiseen. Läpinäkyvyys projektissa tarjoaa mahdollisuuden oppia projektista enemmän kuin ennen. Tämä rakentaa luottamusta ja helpottaa tulevien projektien kehittämistä. Kolmas havaittu positiivinen vaikutus Puistosairaalan työmaalla oli ongelmien nopeampi havainnointi ja niihin reagointi. Vaikka tahtiaikataulu tuntui tiukalta ja ylimääräistä aikaa ei juurikaan ollut varattu ongelmien korjaamiseen, ongelmat ilmenivät normaalia aikaisemmassa vaiheessa.

4.4.5 Pohdinta ja johtopäätökset

Tahtituotannon tavoitteena on yhdessä sovittu ja ennakkoon suunniteltu aikataulu, jonka avulla työkohteet ovat oikeaan aikaan töille vapaana ja töiden edellytykset ovat työkohteissa kunnossa. Tahtituotannolla pienennetään eräkokoa ja siten parannetaan tuotannon hallittavuutta. Projektin haasteista huolimatta tässäkin projektissa onnistuttiin pääosin saavuttamaan nämä edut.

Havaintojen ja aineiston analysoinnin aikana tahtituotannon suunnitteluprosessin oleellisuus korostui. Tärkeimmiksi asioiksi nousivat **ennakkosuunnittelu** ja **kriittisimpien työvaiheiden kartoittaminen** ongelmien välttämiseksi. Kun ennakkosuunnitteluun varataan enemmän aikaa ja resursseja, myös sitouttaminen projektiin tehostuu. Esiin nousi myös **työntekijöiden ammattitaidon hyödyntäminen** ja **aikaisemmista projekteista oppiminen**.

Kommunikoinnin puute osoittautui yhdeksi suurimmaksi ongelmaksi. Työt viivästyivät, kun suunnitelmia ja päätöksiä odoteltiin eri tahoilta. Tärkeäksi yksikyiskohdaksi nousi myös **päivittäisjohtaminen**. Tietoa tulee saada tehokkaasti jaettua työmaan sisällä, kun aikatauluun tulee muutoksia.

Tahtituotannon kehitysideaksi tutkimuksen aikana nousi digitaalisten menetelmien kehitys. Tämän avulla mahdollistettaisiin ajantasaisten tilannekatsauksien tekeminen. Se helpottaisi työmaan ulkopuolisten henkilöiden ymmärrystä projektin tilanteesta. Digitaalisen tilannekuvan tarve korostui erityisesti, kun koronatilanteen vuoksi työmaalle ei ollut mahdollista päästä ja tilanteet muuttuivat hyvinkin nopeasti.

Suurempaa kokonaisuutta tarkasteltaessa tahtiaikataululla on pysytty hyvin koko projektin aikataulussa. Tämä vaati tarkkaa suunnittelua tarpeeksi tarkoilla työvaiheilla. Esimerkiksi heti projektin alussa työvaiheet olivat myöhässä puutteellisen suunnittelun vuoksi. Aikataulua saatiin kuitenkin korjattua aikataulun optimoinnilla.

Tahtituotanto on koettu yleisesti hyvänä asiana ja tahtialueet ovat olleet toimivia. Ongelmia on onnistuttu havaitsemaan ja niihin on onnistuttu puuttumaan nopeammin. Hankkeen onnistuminen vahvistaa aiempien tutkimusten tuloksia uudessa rakennustyypissä. Tahtituotanto tehostaa tarkkaan suunniteltuna projektien toimintaa myös vaativissa saneeraushankkeissa.

4.5 Tahtituotanto toimistosaneerauksessa

Teksti perustuu Jenni Sahlbergin diplomityöhön vuodelta 2020.

4.5.1 Tausta

Jenni Sahlbergin diplomityössä tutkittiin kokonaisvaltaisesti tahtituotannon edellytyksiä korjausrakentamiseen. Diplomityössä on tehty laaja kirjallisuuskatsaus ja haastattelututkimus eli työ on huomattavasti yhtä case-tutkimusta laajempi. Koska Puistosairaalan case osoitti osaltaan, että tahdin käytössä korjausrakentamisessa on erityispiirteitä, käymme tässä lyhennettynä läpi myös case-hankkeen ulkopuolista materiaalia. Lisätietoja löytyy Jenni Sahlbergin (2020) diplomityöstä.

4.5.2 Tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Diplomityössä selvitettiin, miten ja missä muodossa tahtituotanto sopii korjausrakentamiseen. Tutkimuksessa perehdyttiin korjausrakentamisen keskeisiin erityispiirteisiin ja erikoistyövaiheisiin ja verrattiin niitä tahtituotannon edellytyksiin. Tutkimuksen tärkein tavoite ja pääkysymys oli selvittää, soveltuuko tahtituotannon suunnittelu ja ohjaus korjausrakentamishankkeisiin ja jos soveltuu, mitä edellytyksiä, rajoitteita ja hyötyjä tahtituotannon käyttämisellä korjausrakentamisessa on. Diplomityön tutkimuskysymykset olivat:

1. **Miten tahtituotanto soveltuu korjausrakentamiseen?**
2. **Miten purkutöiden rajapintaa sisävalmistusvaiheeseen hallitaan tahtituotannossa?**
3. **Miten työnaikaisia muutoksia hallitaan tahtituotannossa?**

Tutkimuksen lopputuotteena kehitettiin prosessimalli, joka toimii ohjeistuksena tahtituotannon soveltamisessa korjaushankkeeseen.

4.5.3 Menetelmät

Tutkimuksessa tehtiin nykytilan diagnoosi perehtymällä kirjallisuuteen ja haastattelemalla korjausrakentamisessa tahtia käyttäneitä henkilöitä. Näiden pohjalta kehitettiin prosessimalli, jossa sovellettiin edellä esiteltyä hajautetun tahtituotannon mallia korjauskohteisiin. Mallia

testattiin case-hankkeessa. Tässä raportissa fokus on mallin sovelluksessa korjausrakentamiseen ja case-hankkeen avaintulosten esittelyssä. Tulokset on yksityiskohtaisemmin raportoitu diplomityössä.

4.5.4 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto

Tutkimuskysymys 1: Miten tahtituotanto soveltuu korjausrakentamiseen?

Kirjallisuuskatsauksen pohjalta ilmeni, että tahtituotannon soveltuvuutta korjausrakentamiseen heikentää erityisesti korjausrakentamisen lähtötietopuutteet. Tutkimuksessa tulee siis pyrkiä luomaan ratkaisu, joka on sovellettavissa korjausrakentamishankkeisiin, joissa tahtituotannon edellytykset eivät täysimääräisesti toteudu.

Tutkimuskysymys 2: Miten purkutöiden ja sisävalmistusvaiheen rajapintaa hallitaan tahtituotannon suunnittelussa ja ohjauksessa?

Korjausrakentamisessa on kaksi selkeää vaihetta: purkutyöt ja rakenteiden muutokset sekä sisävalmistusvaihe (Ratu S-1231). Tuotannonsuunnittelussa tulee erottaa purkutyöt ja niihin liittyvät rakennemuutokset ja vahvistukset selkeästi sisävalmistusvaiheesta ja puskuroida vaiheet ajallisesti, jotta lisäpuruille ja tarvittaville toteutussuunnitelmien muutoksille on riittävästi aikaa (Aalto ym. 2017). Purkutyövaihe on verrattavissa uudisrakentamisen runkovaiheeseen, mikä tarkoittaa sitä, että sisävalmistusvaiheen tahtituotannon edellytykset on otettava huomioon purkutöiden työnsuunnittelussa ja aikataulutuksessa (Lehtovaara ym. 2019). Sisävalmistusvaiheen tahtialuejako ja -järjestys, joka määräytyy asiakkaan tarpeiden mukaisen luovutusjärjestyksen mukaan (Heinonen & Seppänen 2016) määrittää siis myös purkutöitä sisältävien alueiden ajoituksen ja järjestyksen. Tuotannon vaiheistamisen periaatteella (Dlouhy ym. 2016) purkutöissä voidaan käyttää sisävalmistusvaihetta pidempää tahtiaikaa ja suurempaa tahtialuetta työn tehokkuuden ja pölynhallinnan optimoimiseksi.

Tutkimuskysymys 3: Miten työnaikaisia muutoksia hallitaan tahtituotannossa?

Korjausrakentamisen erityispiirteet, kuten erikoistyövaiheet ja työnaikaiset muutokset lisäävät rakennustuotannon virtausten vaihtelua korjausrakentamisessa (Kemmer 2018). Korjausrakentamiselle tyypillisten muutostöiden ja haastavien olosuhteiden kautta syntyvään vaihteluun löytyy tahtituotannosta joitakin ratkaisuja. Tahtituotannolle ominaisella kapasiteettipuskuroinnilla voidaan tasapainottaa rakennustuotannolle tyypillistä vaihtelua, kuten vaihtelevaa työn tiheyttä, olosuhteiden muuttumista sekä pieniä keskeytyksiä etenkin pitkää tahtiaikaa käytettäessä (Frandson 2019). Usean päivän tahtiaika mahdollistaa jopa päivän mittaisen kapasiteettipuskurin (Frandson ym. 2013). Tahtituotantoa voidaan tasapainottaa myös tilapuskureilla, joilla huomioidaan tuotannonsuunnittelussa suuret muutokset ja häiriöt. Tilapuskureita syntyy itsestään tuotantojunien portaittaisella aloittamisella. Tilapuskureita voidaan myös lisätä aikapuskuriksi tuotantojunan loppuun ja tarvittaessa vaunujen väliin. (Dlouhy ym. 2019.)

Tahtiaikataulu ei ole staattinen suunnitelma, vaan se kehittyy jatkuvasti esimerkiksi vuokralaismuutosten vuoksi (Haghsheno ym. 2016, Hossain & Chua 2014), ja muutoksia tuotantojuniin voidaan tehdä erilaisia ohjaustoimenpiteillä myös ohjausvaiheessa (Binninger ym. 2017). Muutosten johtamisessa on olennaista, että aikataulun päivitykset ovat läpinäkyviä ja yhteistyössä sovittuja (Frandson 2019). Yhteistoiminnallinen tahtituotannon ohjaus sopii hyvin korjausrakentamiseen, sillä sen kautta aliurakoitsijoiden mielipiteet muutosten vaikutuksista tulevat kuulluiksi (Priven & Sacks 2016). Yhteistoiminnalliset tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen periaatteet vähentävät jännitettä osapuolten väliltä ja parantavat luottamusta (Kujansuu ym. 2019).

4.5.5 Haastattelujen yhteenveto ja korjausrakentamisen tahtituotannon prosessimalli

Nykytilanteen analyysin osana haastateltiin henkilöstöä viidestä aiemmin tahdilla toteutetusta saneeraushankkeesta. Hankkeissa hyödynnettiin jonkun verran erilaisia menetelmiä ja saavutettiin erilaisia tuloksia. Kahdessa hankkeessa tahtituotantoa ei otettu käyttöön työmaahenkilöstön vähäisen sitoutumisen tai muutostöiden vuoksi. Muissa hankkeissa oli pääsääntöisesti positiivisia kokemuksia.

Kirjallisuuskatsauksen ja haastattelujen perusteella luotiin kolmivaiheinen prosessimalli korjausrakentamisen tahtituotannosta (kuva 10). Mallissa hanke jaetaan kolmeen osaan, joilla on eri tahtialueet ja tahtiajat. Valmistelevien töiden osalta käytetään pidempiä tahtiaikoja ja isompia tahtialueita epävarmuuden hallitsemiseksi. Sisävalmistusvaihe menee samaan tapaan kuin uudisrakennuskohteessa. Luovutusvaiheen tahtia on vähemmän käsitelty kirjallisuudessa mutta se vaatinee myös erilaista tarkastelua.

Kuva 10. Kolmivaiheinen prosessimalli korjausrakentamisen tahtituotantoon

4.5.6 Tulokset

Pilottikohteena prosessimallin testauksessa käytettiin toimistosaneerausta, jonka toteutusaika oli vuoden 2020 tammikuusta joulukuuhun. Kohteen optimaalisen ja hallitun toteutusajan laskettiin perinteisin menetelmin olevan noin 16 kuukautta, mutta päävuokralaisen kanssa sovitun luovutusajan vuoksi suurin osa korjaustöistä aikataulutettiin 12 kuukauden läpimenoai-

kaan. Hankkeessa saneerattiin vuonna 1994 rakennettu toimistokiinteistö moderniksi monitoimityötilaksi. Rakennuksessa oli 3 maanpäällistä ja 2 kellarikerrosta, mutta tutkimus rajattiin 2. ja 3. kerroksen avokonttoritilojen tahtituotantoon.

Ennen töiden aikataulutusta tehdyssä hankeriskianalyysissä tunnistettiin seuraavat riskit:

- lyhyt toteutusaika
- lyhyt tuotannonsuunnitteluaika
- toteutussuunnittelua tehdään limittäin rakentamisen kanssa johtuen toteutussuunnittelun kehittämisestä tuotannon aikana sekä vuokralaislähtötiedoista
- toteutussuunnittelun suunnitteluresurssien saatavuus
- tontin neljästä sivusta kolmella on käynnissä oleva työmaa
- työnjohtajien työn mielekkyys kärsii muutoksista ja aikataulupaineista
- säilytettävän palokattorakenteen sisällä olevan talotekniikan tarkat sijainnit eivät ole tiedossa.

Riskianalyysin perusteella vaikutti siltä, ettei tahtituotannolle välttämättä olisi riittäviä edellytyksiä lähtötietojen saatavuuden sekä hankkeen nopean käynnistämisen vuoksi. Tuotannonsuunnitteluryhmä päätti riskeistä huolimatta valita tahtituotannon toistuvien osien tuotannonohjausmenetelmäksi ja tavoitella tilojen porrastettua valmistumista ja läpimenoajan lyhennystä tahtituotannon avulla. Prosessimallia sovellettiin pilottikohteessa kahteen ylimpään toimistokerrokseen, jotka olivat työmääriltään ja -suoritteiltaan lähes identtiset. Tahtituotannon ulkopuolelle jätettyjen alueiden aikataulutus ja yhteensovitus tehtiin pääasiallisesti ulkopuolisen asiantuntijan avustuksella Last Planner -menetelmällä. Etukäteen tehtävää mallityötä hyödynnettiin alakattoratkaisun valinnassa ja yhteensovituksessa kaapelointiin.

Tuotannonsuunnittelu aloitettiin marraskuun alussa lohkojaon ja yleisaikataulun tekemisellä talotekniikan palvelualueet huomioon ottaen. Valmistelevat ja sisävalmistusvaiheen työt eroteltiin toisistaan prosessimallin mukaisesti. Valmistelevat työvaiheet aikataulutettiin puolen kerroksen tahtialuein ja vaihtelevalla tahtiajalla. Haitta-aineiden puuttuminen helpotti aikataulutusta.

Sisävalmistusvaiheen tahtialueeksi valittiin toistuvuuden ja taloteknisten palvelualueiden perusteella noin 750 m2 kokoinen lohko eli neljäsosakerros, sillä kerrokset oli suunniteltu jaettavaksi neljään taloteknisesti itsenäiseen lohkoon. Tahtialueiden keskinäinen järjestys määräytyi myötäpäivään kiertäen siten, että logistiikkareittinä toimiva tahtialue oli kerroksen viimeinen. Sisävalmistusvaiheen tahtiajaksi valittiin tahtialueen koon ja työmäärien perusteella sekä sel-

keän rytmin varmistamiseksi yksi viikko. Sisävalmistusvaiheen alustavat tuotantojunat ja työpaketit laadittiin kokemusperäistä tietoa hyödyntäen LPS:llä. Jo tässä vaiheessa suunniteltiin karkeasti, mitkä rakennus- ja talotekniset työt olisi mahdollista toteuttaa samalla tahtialueella yhtäaikaisesti. Ensimmäisissä sisävalmistusvaiheen luonnoksissa vaunuja oli 12 kpl ja käyttöönotetussa versiossa 18 kpl. Lisäksi tuotantojunan loppuun oli laskettu kolme viikkoa puskurivaunuja.

Tahtituotannon prosessimallin suunnitteluvaiheen käyttöönotto onnistui pilottikohteen kokemusten perusteella melko helposti, mikäli rakennusurakoitsijan tuotannonsuunnitteluryhmä oli motivoitunut ja koulutusta sekä ammattilaisen tukea oli tarvittaessa saatavilla. Tahtituotannon suunnitteluvaiheessa laadittu aikataulu toimi pilottikohteessa aikatauluanalyysin perusteella rakennusteknisten töiden osalta hyvin, vaikka tuotannonsuunnitteluaika oli lyhyt ja suunnitelmat olivat osittain puutteelliset. Tästä voidaan päätellä, että prosessimallin mukaisella tuotannonsuunnittelulla on edellytykset toimia pilottihankkeen kaltaisissa korjausrakentamiskohteissa. Toteutussuunnittelun korkeammalla valmiusasteella tahtituotannon suunnitteluvaiheessa olisi kuitenkin voitu laatia tarkempi ja paremmin optimoitu tahtiaikataulu.

Tuotannonsuunnitteluvaiheen haasteista merkittävimmäksi nousi taloteknisten töiden aikataulutus. Talotekniikkaurakoitsijalta tarvittava panostus on sitä suurempi mitä vaativampi kohde on taloteknisesti. Myös urakoitsija pitää tällöin ottaa mukaan mahdollisimman aikaisin. Pilottikohteessa ajoitus oli haastattelujen mukaan kohteeseen sopiva, ja talotekniikkaurakoitsijalla oli riittävästi vaikutusvaltaa tahtiaikataulun suunnittelussa. Aikatauluanalyysissä ilmeni kuitenkin suuria poikkeamia erityisesti sähkö- ja ilmanvaihtoasennusten toteumassa verrattuna aikataulusuunnitelmaan. Jos valmiusprosentit olivat luotettavat, pohdittavaksi jää, mitä edellytyksiä ja ohjaustarpeita oli tuotannonsuunnittelussa ja -ohjauksessa jäänyt huomioimatta.

Tahtituotannon käynnistäminen prosessimallin mukaan sujui puutteellisista edellytyksistä huolimatta hyvin pehmeän aloituksen johdosta, sillä se mahdollisti mallitöiden tarkastamisen ja työtapojen optimoinnin ensimmäisessä tuotantojunassa. Jos jätetään huomiotta valmistelevista töistä aiheutuneet hännät, jotka todellisuudessa siirrettiin kiinniottosuunnitelmaan, aikatauluviiveitä alkoi syntyä vasta useita viikkoja tahtituotannon käynnistämisen jälkeen. Tästä voidaan päätellä, että prosessimallin keskeisen haasteet liittyvät valmistelevien töiden häiriöiden lisäksi erityisesti tahtituotannon ohjaamiseen ja valvontaan, jonka rooli korostuu puutteellisilla edellytyksillä käynnistettävässä tahtituotannossa.

Prosessimallin mukaisen tahtituotannon ohjauksen haasteisiin oli useita syitä, kuten työnjohtajien vaihteleva osaaminen päivittäisjohtamisen toimeenpanossa. Jos hyvät käytännöt, kuten työkohteiden vastaanotot ja luovutukset sekä mallityöt olivat työnjohtajalla hyvin hallinnassa, ne oli helppoa siirtää tahtituotannon kontekstiin. Toisaalta rutiinien opettamiseen kokemattomille työnjohtajille ei nopeatempoisessa kohteessa ollut mahdollista panostaa. Prosessimallissa

ei siis ole vielä riittävän suoraviivaista ohjauskäytäntöjen ja työmaan viikkorytmin luomisen ohjeistusta, jotta myös kokematon työnjohtaja saadaan mukaan tahtituotannon ohjaukseen.

Toinen ohjauksen haaste oli sopimuslähtöinen kokouksista käsin johtaminen, mikä aiheutti ristiriitoja urakoitsijoiden välille. Lisäksi koronaviruspandemia heikensi mahdollisuuksia pitää kiinni yhteistoiminnallisista käytännöistä etenkin ohjelmistojen puuttuessa. Prosessimallissa tulisi vielä tarkentaa, kuinka avoin ja yhteinen ilmapiiri rakennetaan, sillä keskinäisen luottamuksen puuttuminen heikentää tahtituotannon ohjauksen laatua. Talotekniikka- ja rakennusurakoitsijan välisestä kumppanuudesta olisi todennäköisesti mahdollista saada merkittävää etua tahtituotannon hyötyjen maksimoimiseen.

Merkittäviä tahtituotannon ohjauksen haasteita pilottikohteessa olivat myös valmistelevien töiden viiveet ja niihin liittyvien riippuvuuksien tunnistaminen. Lisäksi aikatauluviiveitä aiheuttivat erityisesti sähköasennustöihin sekä kalustukseen ja oviympäristöihin vaikuttaneet vuokralaislähtötietojen puutteet. Edellä mainitut haasteet ovat luonteeltaan pilottikohteen kohdekohtaisia erityispiirteitä, joiden ratkaiseminen on tuotannonohjausmenetelmästä riippumatta olennaista. Tahtituotannon eduksi voidaan lukea se, että poikkeamat tulivat selkeästi näkyviin. Koska edellä mainitut edellytykset ovat pitkälti riippuvaisia työmaaorganisaation ulkopuolisista tekijöistä kuten suunnittelun ja vuokralaistoiminnan johtamisesta, tuotannon edellytysten luomiseen tarvitaan aktiivista tukea ja järjestelmällisyyttä esimerkiksi käyttäjäyhteistyön ja suunnittelun johtamisen kautta. Työmaaorganisaation on kuitenkin mahdollista tunnistaa kokemusperäisesti tuotannon pullonkaulat ja aloittaa purkutyöt todennäköisesti lisäsuunnittelua tai muutostöitä generoivista kohdista.

Tutkimuksen kannalta testauskierroksen keskeisin tulos on kuitenkin se, että prosessimallia käyttäen on jopa hyvien tahtituotannon edellytysten puuttuessa mahdollista tehdä toimiva ja toteutettavissa oleva tahtiaikataulu toistuvuutta sisältäville tahtialueille. Kolmivaiheinen tahtituotanto toimii korjausrakentamisen tahtituotannon vakioinnin pohjaratkaisuna, ja sen kautta voidaan tuoda näkyväksi myös tuotannon edellytysten poikkeamat ja tuen tarpeet. Kehityksen painopiste siirtynee prosessimallin sijaan seuraavaksi edellytysten luomiseen.

4.5.7 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Tutkimuskysymys 1: Aikaisempien korjausrakentamisen tahtituotantokohteiden (haastattelut) sekä prosessimallin testauksen perusteella tahtituotanto soveltuu toistuvuutta sisältäviin korjauskohteisiin. Toistuvien töiden korjausrakentamisen tahtituotannosta on saatu tähän mennessä hyviä kokemuksia asuntojen viihtyvyyskorjauksissa, hotellisaneerauksissa ja toimistosaneerauksissa (haastattelut). Myös pilottikohdetta voidaan pitää toistuvien töiden tahtituotantona, sillä tahtialueiden työmäärissä ei ollut merkittäviä eroja. Koska esimerkiksi Kalifornian mallin mukaan toteutettavan toistumattomien töiden tahtituotannon suunnittelun lähtötiedoksi tarvittaisiin toteutuskelpoiset suunnitelmat (Tommelein 2017), korjausrakentamisessa ei näyttäisi olevan edellytyksiä toistumattomien töiden tahtituotannolle ilman erillistä kehitysvaihetta. Tahtiaikataulun päivittäminen töiden aikana vaikuttaa aina useisiin eri vaunuihin

(Dlouhy ym. 2016). Esimerkiksi toimistorakennuksessa, jossa talotekninen palvelualue pilkotaan kerroksessa useaan tahtialueeseen, muutokset kumuloituvat tahtialueelta toiselle muutostöiden ilmetessä.

Tulokset aliurakoitsijoiden sitoutumisen tasosta prosessimallin mukaisessa tahtituotannossa ovat kaksijakoiset. Pilottikohteessa osa aliurakoitsijoista työskenteli tahtiaikataulun mukaisesti, vaikka ei ollut osallistunut tahtisuunnitteluun. Joidenkin urakoitsijoiden kanssa molemminpuolinen luottamus näyttää olevan lähtökohta, ja jos töiden edellytyksen täyttyvät, luottamus pääurakoitsijaa kohtaan kasvaa. Ylhäältä alaspäin johdettuun tahtituotantoon on siis hyvät lähtökohdat Suomen korjausrakentamisessa niin ilmapiirin kuin osaamisen puolesta (Kujansuu ym. 2019, haastattelut).

Ennen tahtituotannon periaatteiden juurtumista rakennusalan toimintakulttuuriin edes tahtisuunnitteluun osallistaminen ei kuitenkaan takaa urakoitsijan sitoutumista yhdessä sovittuun suunnitelmaan. Pilottikohteen tahtisuunnitteluun osallistunut talotekniikkaurakoisija ei todellisuudessa sitoutunutkaan aikataulun mukaiseen toteutukseen (haastattelut). Mikäli mahdollista, urakoitsijavalinnassa tulisi painottaa urakoitsijan edellytyksiä sitoutua tahtituotantoon. Hankekohtainen riskianalyysi voi auttaa kohteen kannalta kriittisten yhteistyössä ratkaistavien asioiden laajuuden hahmottamista.

Toisen tutkimuskysymyksen kautta pyrittiin selvittämään purkutöiden ja muiden valmistelevien töiden aikana ilmenevien lähtötietomuutosten vaikutuksia tahtituotannon edellytyksiin. Haastattelujen ja kirjallisuuskatsauksen perusteella oli selvää, että vaiheistaminen on toimiva ratkaisu eritahtisten töiden aikataulutukseen sekä korjausrakentamiselle tyypillisten häiriöiden hallintaan (Dlouhy ym. 2016, haastattelut).

Korjausrakentamisen tahtituotannon prosessimalli on jaettu kolmeen päävaiheeseen, jotka ovat valmistelevat työt, sisävalmistusvaihe ja luovutusvaihe. Tutkimuksessa keskityttiin valmistelevien töiden ja sisävalmistusvaiheen tahtituotannon suunnitteluun ja ohjaukseen sekä rajapinnan hallintaan. Valmistelevien töiden tahtialueen ja -ajan on oltava lähtökohtaisesti sisävalmistusvaiheen tahtiaikaa ja -aluetta suuremmat, mikä takaa myös suuremmat kapasiteettipuskureihin sisältyvät häiriövarat. Purkutöiden aikataulusta ja vaiheittaisista työkohteiden luovutuksista 100 % valmiudessa kiinni pitäminen on tärkeää, etteivät purkutöiden “hännät” vaikuta tahtituotannon edellytyksiin. Hännillä tarkoitetaan työvaiheita, joita ei saada kokonaan valmiiksi tahtialueella tahtiajassa esimerkiksi puuttuvien aloitusedellytysten takia.

Pilottikohteessa valmistelevien töiden haasteet liittyivät kriittisten työvaiheiden, kuten porrasaukotusten sekä keskeisten riippuvuuksien, kuten julkisivutöiden tunnistamiseen ja huomioimiseen. Vastuu kohdekohtaisten erikoispiirteiden tunnistamisesta jää työmaaorganisaatiolle. Koska tahtituotannolla on kuitenkin pystytty lyhentämään läpimenoaikaa myös korjausrakentamisessa (haastattelut), aikataulun nopeuttamispaineeseen voitaisiin vastata myös va-

raamalla lähtötietojen selvittämiseen ja toteutussuunnitteluun enemmän aikaa ja lyhentää sitten tuotannon läpimenoaikaa sisävalmistusvaiheen hyvin optimoidulla tahtituotannolla. Jos valmistelevista töistä jäävät hännät halutaan poistaa, ei valmistelevien töiden vaihetta saa kiirehtiä. Sisävalmistusvaiheen aloittamisen tulee tapahtua harkitusti aloitusedellytysten tarkastelun perusteella.

Jos valmistelevien töiden viiveistä kuitenkin syntyy sisävalmistusvaiheeseen häntiä, ne siirretään erillisen ”häntätyöryhmän” tehtäväksi. Lisäksi valmistelevien töiden ja sisävalmistusvaiheen rajapintaan on tarpeellista jättää puskuriviikkoja täydentävää suunnittelua varten. Jotta puskureita käytettäisiin vain tarvittaessa, tulee ne sijoittaa tuotannonsuunnitteluvaiheessa valmistelevien töiden tuotantojunien loppuun (Dlouhy ym. 2019).

Tutkimuskysymys 3: Koska työnaikaiset muutokset kuuluvat korjausrakentamisen erikoispiirteisiin (Kemmer 2018), muutosten hallinnan työkalujen sopivuutta korjausrakentamiseen tulee arvioida. Pieni vaihtelu sekä lyhytkestoiset häiriöt tuotannossa paikataan tahtituotannon kapasiteettipuskureilla pitkää tahtiaikaa käytettäessä (Frandson ym. 2013). Pilottikohteessa ilmeni, että ulkomaisten työntekijöiden tuotantotahti oli suunniteltua nopeampi, mutta se mahdollisti käytännössä kotiin lähtemisen pitkäksi viikonlopuksi. Talotekniikan osalta kapasiteettipuskurit olivat aikatauluanalyysin ja haastattelujen perusteella alkuun liian suuret, mutta kun aikatauluviiveitä alkoi syntyä, varatyökohteille ei ollut enää tarvetta. Kokonaisuudessaan kapasiteettipuskuroinnin suuruutta voidaan pitää kohteeseen sopivana. Mahdollisia tuotannon aikana ilmeneviä poikkeamia ja lisääntynyttä työtä voidaan kompensoida myös jättämällä puskurivaunuja tuotantojunan loppuun ja ottaa niitä käyttöön tarvittaessa ohjauspalavereissa sovittavien päivityksien yhteydessä (Dlouhy ym. 2019). Käytännössä aikapuskureina toimineet vaunut tulivat tarpeeseen pilottikohteessa, jossa joitakin aikatauluviiveitä saatiin paikattua siirtämällä lopun puskuriviikkoja vaunujen väliin.

Koska tahtiaikataulu on kehittyvä suunnitelma (mm. Haghsheno ym. 2016, Frandson 2019), muutosten tekemiseltä tuotannonohjauksessa ei voi välttyä. Aikataulun päivitysten tulee kuitenkin olla läpinäkyviä ja yhteistyössä sovittuja, joten yhteistoiminnalliset menetelmät ovat ehdottoman tärkeitä tuotannonohjausvaiheessa. Sosiaalisten elementtien täysipainoinen käyttöön ottaminen edellyttää kuitenkin Lehtovaaran ym. (2020 a) mukaan tahtituotannon kehityksen painopisteen siirtymistä projektitasolta yksikkö- tai yritystasolle.

Vuokralaismuutosten hallintaa voidaan tutkimusten mukaan parantaa myös porrastamalla tarvittavia vuokralaispäätöksiä tahtiaikataulun ja siihen integroidun suunnitteluaikataulun mukaan (Uusitalo ym. 2019). Suurimmat vuokralaislähtötietojen poikkeamat pilottikohteessa koskivat kuitenkin kaapelointitöitä, joiden osalta ratkaisuja ei ole suurilta osin mahdollista tehdä tahtialue- tai edes kerroskohtaisesti. Vuokralaisyhteistyö tulee siis aloittaa riittävän ajoissa, jotta vuokralaisen toiminnalle keskeiset järjestelmät pystytään suunnittelemaan ja rakentamaan kerralla tarpeita vastaavaksi.

4.5.8 Johtopäätökset

Prosessimallin testauksen ja tutkimuksen ensimmäisen päävaiheen haastatteluissa esiin nousseiden aiempien korjausrakentamisen tahtituotantopilottien perusteella tahtituotanto soveltuu toistuvuutta sisältäviin korjauskohteisiin, vaikka tahtituotannon edellytykset olisivat osittain puutteelliset. Tällöin kuitenkin tahtituotannon ohjauksen ja tukitoimintojen kuten suunnittelunohjauksen ja vuokralaistoiminnan ennakoiva rooli korostuu. Mahdollisten lähtötietopuutteiden kannalta kriittisten työvaiheiden aikaisella tunnistamisella voidaan parantaa tahtituotannon edellytyksiä. Osa edellytyksistä, kuten toteutussuunnittelun ajoitus sekä kumppanisopimukset ovat riippuvaisia yrityksen toimintakulttuurista ja hankkeen johtamisesta. Tahtituotanto tulisi ottaa käyttöön vähän kerrallaan huomioiden avainhenkilön taustan ja aiemman kokemuksen tahtituotannosta.

Tahtituotannon suunnittelu on tutkimustulosten mukaan suositeltavaa toteuttaa korjausrakentamisessa pääurakoitsijavetoisesti. Kohdekohtaisista erityispiirteistä kuten hankinnan ajoituksesta ja talotekniikan monimutkaisuudesta riippuen suunnitteluun tulee kuitenkin ottaa mukaan yhteistoiminnallisin menetelmin keskeisiä kumppaneita. Yhteistoiminnallisilla menetelmillä voidaan parantaa aikatauluun sitoutumista, tahtiaikataulun tarkkuutta ja näkemysten monipuolisuutta.

Ohjausvaiheeseen on pyrittävä saamaan mukaan jokaisen urakoitsijan edustaja vähintään päivittäisjohtamisen kautta. Aikataulun muutokset ja päivitykset tulisi ratkoa hajautetun tahtituotannon periaattein yhteistoiminnallisesti, jotta omistajuus tahtituotantoon säilyy kaikilla osapuolilla. Pääurakoitsija vastaa myös ohjausvaiheen toimintojen johtamisesta. Tahtituotannon ohjaus voi tutkimuksen perusteella parantaa korjausrakentamistuotannon ohjattavuutta sekä tuotannon ennustettavuutta.

Tuotannon vaiheistaminen on hyvä ratkaisu eritahtisten töiden aikataulutukseen sekä korjausrakentamiselle tyypillisten häiriöiden hallintaan, sillä suuri osa vaihtelusta syntyy rakentamisen aikana tarkentuvista lähtötiedoista sekä erisuuntaisista työvaiheista. Valmistelevien töiden ja sisävalmistusvaiheen rajapintaan on tarpeellista jättää puskuriviikkoja täydentävää suunnittelua varten.

4.6 Tahtihankkeiden keskeiset opit

4.6.1 Yleistason havainnot

Tässä alaluvussa on koottu yllä esitettyjen casejen keskeisimmät opit, jotka muodostuivat tutkijoiden yhteisanalyysin sekä tutkimushankkeen työryhmien yhteiskeskusteluiden ja palautteen pohjalta. Tarkasteltaessa (hajautetun) tahtituotannon toimintaa yleistasolla, malli ja sen osaelementit toimivat hankkeissa pääasiassa hyvin. Koska kaikissa kolmessa hankkeessa projekti- ja työmaahenkilöstö olivat tahtihankkeessa mukana ensimmäistä kertaa, kärsivät kohteet

osittain pilottikohteille tyypillisistä haasteista; teknisen tahtisuunnitelman toteuttamisessa onnistuttiin hyvin, mutta toisaalta osapuolten sitouttaminen, tahtiohjaus sekä jatkuva parantaminen olisi vaatinut suurempaa huomiota. Haasteista ja puutteellisesta tahtiohjauksesta huolimatta tahtituotantomaiset elementit kuten “kerralla valmista”–asenne sekä proaktiivinen ote ongelmanratkaisuun näkyivät selkeästi hankkeissa. Selkeimmin nämä elementit näkyivät Valtran kohteessa, joka teollisuuskohteena tarjosi suoraviivaisimman tuotantoprosessin ja selkeästi näkyvimmät hyödyt, mikä motivoi toimijoita työskentelemään rytmissä ja saavuttamaan määrätyt aikataulutavoitteet. Koska Valtran kohteessa hajautetun tahtituotannon prosessia implementoitiin aggressiivisimmin, myös hajautetun tahtituotannon elementit näkyivät tässä hankkeessa selkeimmin.

4.6.2 Tahtisuunnittelu

Kohteiden tahtisuunnitteluprosesseissa havaittiin, että toistuvuuden vähentyessä ja epävarmuuden (esim. purkutyöt ja vuokralaismuutokset) lisääntyessä tahtisuunnittelu vaatii huomattavasti enemmän vaivannäköä, kompromisseja ja fasilitointia. Pääasiassa tahtisuunnittelussa tulisi suosia kapasiteettipuskurien käyttöä, mutta paljon epävarmuutta sisältävissä tehtävissä puskurointi voi olla järkevämpää toteuttaa aikapuskureilla ja varamestoilla. Korkean toistuvuustason kohteissa tahtisuunnittelu (kohdat 1-5) voidaan viedä läpi hyvinkin suoraviivaisella yhteensovituksella (Case Valtra: kolme tahtisuunnittelun työpajaa), kun taas ei-toistuvissa kohteissa tahtisuunnitteluun on syytä varata aikaa tahtisuunnitteluun jopa useita kuukausia.

Alustavan tahtisuunnitelman luominen ydinryhmällä ja sen vaiheittainen laajentaminen hajautettujen tiimien kokonaisuudeksi todettiin pääosin toimivaksi tavaksi sitouttaa osapuolia suunnittelussa; näin osapuolet pääsevät osallistumaan heille tärkeimpien asioiden suunnitteluun. Toisaalta osallistamisesta huolimatta aliurakoitsijat arvioivat tahtisuunnitteluvaiheessa resurssinsa selkeästi yläkanttiin. Tämä on “perinteisessä” tuotannonsuunnittelussa normaalia, mutta tahtituotannossa ylimääräisistä puskureista tulisi päästä yhteistoiminnallisesti eroon. Tämä saattoi johtua myös siitä, että useimmat osapuolet tekivät hankkeissa tahtituotantoa ensimmäistä kertaa, ja mahdollisesti korjaantuisi pelkästään tahtituotantoon liittyvän kokemuksen ja osaamisen kasvaessa. Vaikka nokkamiesten ja työntekijöiden ääni saatiin tahtisuunnittelussa huomioitua, tulisi jatkossa kiinnittää vielä erityistä huomiota heidän osaamisensa täysmääräiseen hyödyntämiseen.

4.6.3 Tahtiohjaus

Tahtituotannon käynnistyksessä nousi esiin tarve tarkalle tuotantovaiheiden yhteensovitukselle, vaikka kaikki vaiheet eivät olisikaan mukana tahdissa. Yhteensovituksen lisäksi porrastettu tahti (eri rakennusvaiheiden eroavat tahtiajat ja –alueet yhteensovitetaan toisiinsa) tai hitaampi käynnistys (ensimmäiset tahtialueet tehdään pidennetyllä tahtiajalla) nähtiin mahdollistajina tehokkaalle tuotannon käynnistykselle. Havainnoissa nousi kuitenkin esille, että tahdin “rytmin löytämisessä” menee joka tapauksessa usein muutama viikko, jolloin pieni al-

kukankeus tulisi nähdä myös osana tahdin käynnistysprosessia. Tärkeintä on se, että tahtituotannon käynnistyksessä fokus on yhteisen rytmin löytämisen lisäksi suurimpien ongelmien proaktiivisessa ratkaisussa, jolla vältetään haasteiden kumuloitumista jatkossa.

Tahtituotannon aikana ryhmädynamiikan huomattiin toimivan selkeästi perinteistä kohdetta paremmin. Erityisesti hajautetussa prosessissa syyttelyn sijasta keskiössä olivat yhteisten ongelmien ratkaisu, jolloin myös ohjauspalaverit muodostuvat helpommin yhteistoiminnallisiksi ongelmanratkaisutilaisuuksiksi kuin pelkästään pakollisten dokumenttien läpikäynniksi ja etenemän ilmoittamiseksi.

Jotta tahtiohjauksesta voitaisiin tehdä vielä järjestelmällisempää, ehdotettiin että ohjauksen aikana käytettävät keskeiset tuotannonohjausmekanismit (esim. vaunujen siirto, tahtiajan pidentäminen jne.) voitaisiin tuoda esille jo tahtisuunnitteluvaiheessa ja sitoa sopimuksiin. Samalla myös määriteltyjen ohjausmekanismien todennäköisesti aiheuttamat resurssi- ja kustannusvaikutukset voitaisiin pyrkiä määrittämään alustavasti etukäteen.

Lisäksi vaunuista ulos jäävien, ei kriittisten “häntätehtävien” sekä laatutehtävien järjestelmällisempi ohjaus nähtiin selkeänä jatkokehityskohtana. Työryhmien keskusteluissa nähtiin järkevämmäksi irrottaa kesken jääneet, “95 %-valmiit” tehtävät irti omiksi töikseen, sillä suuri määrä miltei valmiita työpaketteja estää tuotannon etenemisen proaktiivista seurantaa ja hallintaa. Näille tehtäville voitaisiin määrittää omat, sopivissa väleissä tai varsinaisten vaunujen jälkeen kulkevat vaunut. Tämä lisäisi systemaattisuutta viimeistely- ja korjaustöihin samalla suojellen tuotannon prosessin virtausta.

4.6.4 Muut havainnot

Kattava tilannekuva sekä (digitaalinen) tuotannon jalanjälki nähtiin keskeisinä mahdollistajina tehokkaalle hajautetulle tahtituotannolle sekä prosessin jatkuvalle parantamiselle. Lisäksi tilannekuvaan pohjautuva visuaalinen johtaminen nähtiin kriittisenä tekijänä tuotannon mielekkään ohjauksen kannalta. Vaikka hajautetun tahtituotannon pilotoinnissa onnistuttiin kiitettävästi, työntekijöiden jatkuva osallistaminen ja sitouttaminen koettiin silti haastavaksi. Erityisesti työntekijöiden vaihtuvuus ja myöhäinen liittyminen hankkeeseen koettiin haastavaksi, kun heidät pitäisi saada ymmärtämään tahtituotannon logiikka hyvinkin nopeassa ajassa ja mahdollisesti hyvin pienillä resursseilla. Osallistamisen puute johtaa ristiriitaiseen viikko- ja päivätason tuotannonsuunnitteluun, kuten myös viime vuoden tahtihankkeissa havaittiin. Edellä mainitut kattava tilannekuva, työntekijöiden mukaan tuominen hyvien johtamiskäytäntöjen (kuten päivittäisjohtamisen palaverien) piiriin sekä visuaalisen johtamisen painottaminen läpi tuotannon nähtiinkin keskeisinä kehityskohteina hajautetun tahtituotannon toiminnan kannalta.

Vaikka toteutussuunnittelun ja logistiikan tahdittamista käsiteltiin alustavassa tahtituotannon mallissa, niiden rooli jäi kuitenkin tutkituissa hankkeissa suhteellisen pieneksi. Suunnittelijoi-

den ja materiaalintoimittajien sijoittaminen vaunuihin sekä heidän työnsä mielekäs koordinointi vaativatkin jatkotutkimusta seuraavissa hankkeissa. Lisäksi sopimustekniikka sekä mahdollisesti yhteistoiminnallisten hankemuotojen luoma tuki vaunujen sisäiselle ja väliselle yhteistyölle on asia, johon olisi syytä paneutua jatkossa tarkemmin.

4.7 Hajautettu tahtituotanto nyt & jatkokehitys

Hankkeen oppien pohjalta hajautetun tahtituotannon mallin kuvausta päivitettiin seuraavilta osin:

Vaiheet 1 & 2: Karkean tason tahtisuunnittelu luo edellytykset virtaavalle tuotannolle

Karkean tason tahtisuunnittelu muodostaa tärkeimmän ja eniten hyötyä tuovan tahtituotannon elementin hankkeessa, jossa tahtituotantoa sovelletaan ensimmäistä kertaa. Karkean tason tahtisuunnittelu mahdollistaa tehokkaan prosessin virtauksen, vaikuttaen suuresti esimerkiksi tuotannon suurten päätösten sitomisen hankkeen ja tilaajan tavoitteisiin sekä läpimenoajan mahdolliseen lyhentämiseen, luoden pohjan rytmitetylle tuotannolle tahtiaikaa, tahtialueita, tahtivaunuja, resursseja sekä puskureita tasapainottamalla. Vaiheiden 1 & 2 vaatimukset on suhteellisen helppo saavuttaa pienelläkin tahtituotanto-osaamisella, eikä vaadi kuin ydinryhmän sitouttamista. Toisaalta, tarvittava työmäärä mielekkään karkean tahtiaikataulun luomiseen on hyvin riippuvainen hankkeen monimutkaisuudesta.

Vaiheet 3 & 4: Hajautettu tahtisuunnittelu tuo arvoa tuottavien tekijöiden äänen kuuluviin

Vaunupohjaisten tiimien muodostaminen ja tarkan tason tahtisuunnittelu luovat pohjan yhdistää yläkuvan tahtiaikataulu ruohonjuuritason päätöksiin, jossa myös työntekijöillä, nokkamiehillä, suunnittelijoilla sekä materiaalitoimittajilla on valtaa vaikuttaa tahtisuunnitelmaan. Hajautettu tahtituotanto vaatii kuitenkin jo huomattavasti enemmän vaivaa kuin karkean tason tahtisuunnittelu, ja vaatii usein optimaalisesti onnistuakseen jo edeltävää kokemusta tahtituotannosta ja/tai intensiivistä osapuolten osallistamista ja koulutusta. Erityisesti nokkamiehet ovat tärkeässä roolissa tahtivaunujen koordinaattoreina. Näin ollen myös hajautetun tahtituotannon onnistuminen vaatii myös hankkeiden yli tapahtuvaa kehitystä, mieluiten myös organisaatioiden välillä. Vaikka hajautettu tahtisuunnittelu vaatii huomattavan määrän työtä, maksaa se hankkeiden yli kehitettynä kuitenkin itsensä takaisin.

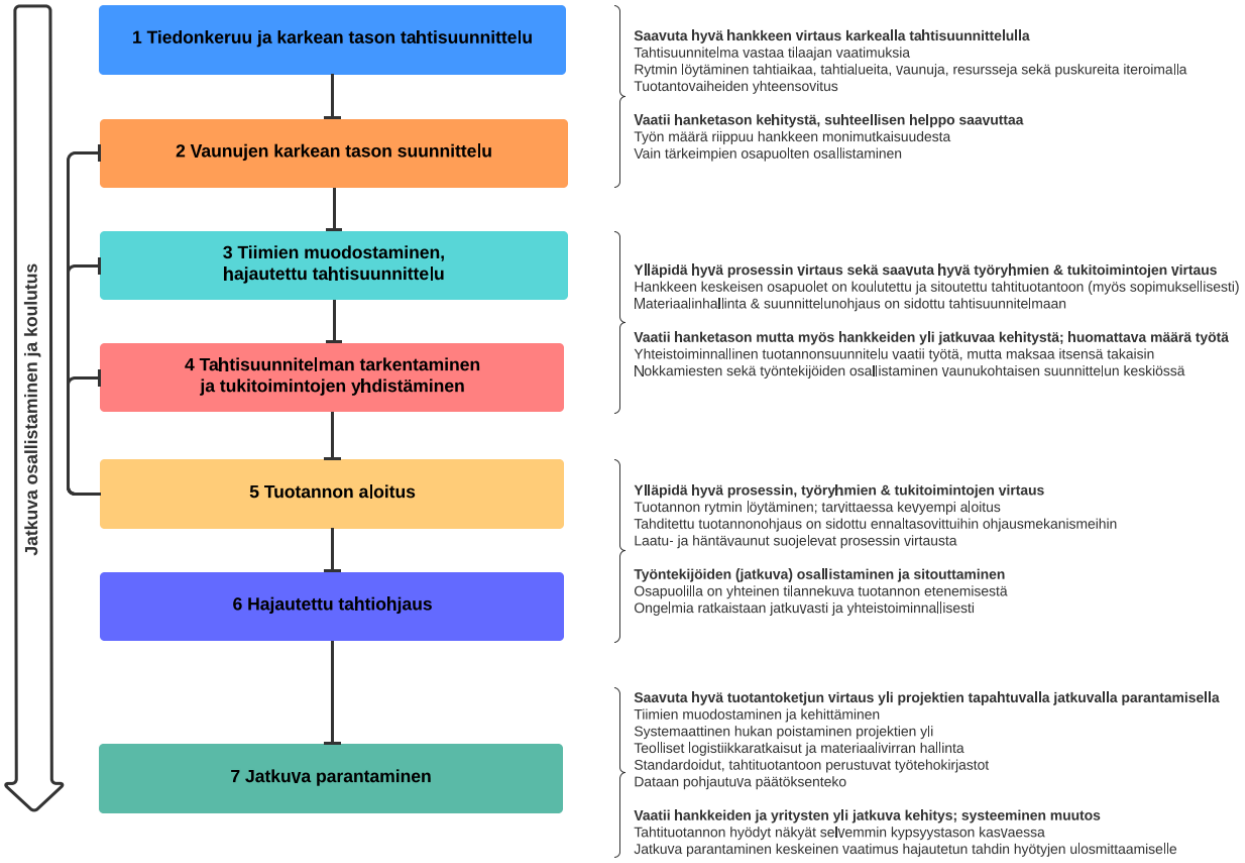
Vaiheet 5 & 6: Hajautettu tahtiohjaus pitää rytmin yllä tuotannon läpi

Hajautetun tahtiohjauksen keskeinen tehtävä on varmistaa, että luotu tahtisuunnitelma toteutetaan myös käytännössä. Kun tuotannon rytmi on löydetty ja isoimpien virheiden kumuloituminen estetty, tahtituotantoa voidaan ohjata rytmitetysti tiimi- tahtijuna- ja tuotantotasoilla.

Ennalta määritetyt ohjausmekanismit sekä laatu- ja häntävaunut luovat pohjan ohjata tuotantoa järjestelmällisesti ja läpinäkyvästi. Samalla tulisi pitää huolta siitä, että tuotantotiimiä osallistetaan ja sitoutetaan tekemiseen jatkuvasti, ongelmia ratkaistaan yhteistoiminnallisesti samalla kun osapuolilla on yhteinen tilannekuva tuotannon etenemisestä.

Vaihe 7: Jatkuva parantaminen hioo tahtituotannosta timantin

Alustavan mallin kuuden vaiheen lisäksi ehdotamme seitsemänneksi vaiheeksi hankkeen sisällä sekä hankkeiden yli tapahtuvaa jatkuvaa parantamista. Tahtituotannon koko potentiaalin saavuttaminen on ensiyrityksellä huomattavan haastavaa, joten oppien järjestelmällinen edistäminen hankkeiden ja organisaatioiden välillä on tahtituotannon kannalta keskeistä. Jatkuvan parantamisen tulisi käsittää ainakin tiimien muodostamista ja kehittämistä hankkeiden yli, systemaattista hukan poistoa, sekä dataan pohjautuvaa päätöksentekoa. Lisäksi tahtisuunnitelmien vakiointia auttavat työtehokirjastot sekä teolliset logistiikkaratkaisut ja materiaalinhallinta voivat edistää tahtituotannon toimintaa pitkällä aikavälillä. Kuvassa 11 on esitetty päivitetty hajautetun tahtituotannon malli sekä keskeisimmät huomioitavat elementit



Kuva 11. Hajautetun tahtituotannon päivitetty prosessi

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Hankkeessa saatiin kokonaisuudessaan hyvä ymmärrys hajautetun tahtituotannon edellytyksistä ja sen edellyttämistä kehitystarpeista. Hajautetun tahtituotannon prosessia kehitettiin eteenpäin case-hankkeiden pohjalta. Suunnittelun osalta todettiin tilannekuvan tärkeys suunnitteluprosessin ohjauksessa ja kehitettiin parhaita käytäntöjä työmaalähtöiseen suunnitteluun. Kaikkiin tutkittuihin teemoihin liittyy kuitenkin myös jatkokehitettävää ja tutkittavaa tulevissa tutkimushankkeissa ja diplomitöissä.

5.1 Miten nokkamiesten ja asentajien teknistä osaamista ja työnsuunnitteluosaamista voidaan parhaiten hyödyntää hukan minimoimiseksi?

Asentajan ja työmaan ääni pitäisi saada kuuluviin jo suunnitteluvaiheessa. Useimmissa toteutusmuodoissa suunnitelmia tehtäessä ei kuitenkaan ole vielä tietoa asentajasta. Olisi hyödyllistä kehittää eri suunnittelualoille ohjeistuksia asentajalähtöiseen suunnitteluun, koska nykyohjeistuksista löytyi runsaasti kehitettävää. Tätä voisi edistää esimerkiksi perustamalla suunnittelualoittain työryhmiä, joissa on mukana suunnittelijoita, pääurakoitsijoita sekä työntekijöiden edustajia. Työtä tehtiin esimerkiksi betonirakenteisiin liittyen jo 1980-luvulla mutta nyt olisi aika päivittää ohjeistus. Suunnittelun osalta olisi syytä päivittää myös toteutusmalleja ja pohtia, kuka on oikea maksaja toteutussuunnittelulle. Onko suunnittelijoilla halua kehittää osaamistaan työmaalähtöiseen suunnitteluun? Jos on, urakoitsija voisi tehdä sopimuksen lisäsuunnittelusta saman suunnitteluyrityksen kanssa. Jos ei, tarvitaan prosessit, joilla urakoitsijan hankkima tai toteuttama lisäsuunnittelu hyväksytetään tilaajan suunnittelijoilla. Selvää on, että nykyprosessista puuttuu tuottavuuden kannalta olennaisia suunnittelutehtäviä.

Työmaan osalta havaittiin, että erikoisurakoitsijoiden työntekijöiden ja nokkamiesten osaaminen on olennaista. Esimerkiksi tahtituotanto onnistuu hyvin vain, jos kaikki sitoutuvat ja ymmärtävät aikataulun. Perinteisessä hankkeessa aikatauluun sitoudutaan sopimuksella mutta kullekin urakoitsijalle jää runsaasti tilaa improvisoinnille alku- ja loppupäivän välillä. Tahtituotannossa kaikkien pitää edetä systemaattisesti samaan tahtiin, mikä edellyttää huomattavasti suurempaa sitoutumista. Case-hankkeissa työkohteita ei saatu kaikilta osin kokonaan valmiiksi ja työskenneltiin monella alueella yhtä aikaa. Asiat, jotka aiheuttavat ”häntiä”, pitäisi käydä etukäteen asentajien kanssa läpi, jotta “hännät” eivät tule yllätyksenä.

5.2 Miten tahtituotantoa voidaan kehittää osallistamalla paremmin arvoa luovat tekijät?

Hajautettu tahtituotanto paljastui hankkeissa aika haastavaksi toteuttaa käytännössä. Valtran hankkeessa tässä onnistuttiin aika hyvin mutta muut caset toteutettiin normaaleina tahtihankkeina, joissa oli jonkun verran yhteistoiminnallisia elementtejä. Työryhmien vetäjät (etu-,

kärki- ja nokkamiehet) ovat avainroolissa tahtivaunujen koordinaattoreina. Yleensä työryhmät eivät ole tottuneet muodolliseen rooliin työnsuunnittelussa, vaikka ovatkin joutuneet tekemään päivittäistä työnsuunnittelua työmaalla. Hajautettu tahtituotanto vaatii yleensä jo edeltävää kokemusta tahtituotannosta tai intensiivistä koulutusta.

Valtran hankkeessa havaittiin, että työryhmät osasivat arvioida työmenekit huomattavasti tarkemmin kuin normaalisti aikataulutukseen osallistuvat tahot (esim. projektipäälliköt). Karkeassa suunnittelussa arvioidut työmenekit olivat hankkeissa ylimitoitettuja eli resursseja ei tarvittu läheskään yhtä paljon kuin alun perin arvioitu. Asentajilla oli siis hyvä näkemys oikeasti tarvittavasta työmäärästä ja näyttää siltä, että alustaviin arvioihin on sisällytetty paljon riskivarauksia. Todennäköisesti normaali lähtökohta onkin hyödyntää aiempiin vastaaviin hankkeisiin käytettyjä tunteja, jotka sisältävät normaalin hankkeen hukkatason. Asentajien kanssa tehdyt tarkentavat arviot ja mallityöt ovat hyviä tapoja varmistaa oikeasti tarvittavat resurssit.

5.3 Minkälaiset tekniset ja työsuunnitelmat parhaiten tukevat asentajan työtä?

Teknisten suunnitelmien pitäisi olla helposti asennettavissa. Parhaiten asennettavuuden voi todeta mallintamalla yksityiskohtaisesti rakenne. Jos rakenne on vaikea mallintaa, se on todennäköisesti myös vaikea rakentaa. Lisäksi suunnittelufilosofiaa pitäisi muuttaa ja pyrkiä mahdollisimman suureen toistuvuuteen kaikissa rakenteissa sen sijaan, että yksilöllisesti optimoidaan jokaisen rakenteen kantavuutta. Asennusjärjestykset pitäisi ottaa huomioon suunnittelussa erityisesti tiukoissa paikoissa. Suunnitelmien visuaalisuuteen ja loogisuuteen pitäisi panostaa. Esimerkiksi standardoidut värikoodaukset suunnitelmiin, loogisuus numeroinneissa ja 3D-havainnollistukset vaikeista paikoista auttaisivat huomattavasti asennuksissa.

Työnsuunnittelun osalta huomattiin, että suunnitelman pitäisi olla mahdollisimman visuaalinen, yksinkertainen ja ymmärrettävä. Jo aiemmissa hankkeissa on todettu, että asentajalle annettavien aikataulujen pitää olla ajan tasalla. Ei ole hyötyä antaa aikataulua, josta ollaan myöhässä, vaan tarvitaan aikataulu, jonka mukaan aiotaan todellisuudessa toimia. Aikataulusta tulee ilmetä, mitä oikeasti on tehtävä juuri tänään. Näitä teemoja jatkotutkitaan visuaalisen johtamisen hankkeessa.

5.4 Miten eri työlajien asentajat hahmottavat työnsä?

Tutkimusta jouduttiin supistamaan koronavirusepidemian takia, joten tähän tutkimuskysymykseen ei saatu vastausta.

5.5 Jatkotutkimusaiheet

Hajautetun tahtituotannon osalta jatkossa tutkitaan erityisesti materiaalivirtojen, suunnittelun ja sopimusten integrointia tahtituotantoon. Tilannekuva ja visuaalinen johtaminen nousivat esille case-hankkeista ja konsortio päätti jo rahoittaa niitä koskevan jatkotutkimushankkeen.

Samassa hankkeessa tutkitaan myös suunnitteluprosessin tilannekuvan saavuttamista. Tahti-hankkeet mahdollistavat systemaattisen datan keruun. Jatkuva parantaminen voisi mahdollistua datan pohjalta, joten jatkossa tutkitaan myöskin tahtituotannon jatkuvaa dataan perustuvaa kehittämistä.

Lähdeluettelo

Aalto, T., Saari, A., & Junnonen, J-M. 2017. Vaativien korjaushankkeiden ongelmat ja niiden torjunta: Vaativien korjaushankkeiden johtaminen -tutkimuksen osaraportti 1. (Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laboratorio. Rakennustuotanto ja -talous. Raportti; Vuosikerta 22). Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laboratorio.

Bertelsen, S., & Koskela, L. (2004). Construction beyond lean: a new understanding of construction management. 12th annual conference in the International Group for Lean Construction.

Bertelsen, S., and Koskela, L., (2005). Approaches to managing complexity in project production. 13th annual conference of the international group for lean construction.

Binninger, M., et al., (2017). Adjustment Mechanisms for Demandoriented Optimisation in Takt Planning and Takt Control. 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.

Chinowsky, P., Diekmann, J., & Galotti, V. (2008). Social network model of construction. Journal of construction engineering and management, 134(10), 804-812.

Dlouhy, J., Binninger, M., Oprach, S., & Haghsheno, S. (2016). Three-level method of Takt planning and Takt control–A new approach for designing production systems in construction. Annual Conference of the International Group for Lean Construction.

Dlouhy, J., Binninger, M. , Oprach, S. & Haghsheno, S. (2018). Mastering Complexity in Takt Planning and Takt Control - Using the Three Level Model to Increase Efficiency and Performance in Construction Projects. 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.

Dlouhy, J., Binninger, M., and Haghsheno, S., 2019. Buffer Management in Takt Planning – An Overview of Buffers in Takt Systems. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 3–5 July 2019 Dublin, Ireland, 429–440.

Duggan, K. J., & Healey, T. (2016). Operational Excellence in Your Office: A Guide to Achieving Autonomous Value Stream Flow with Lean Techniques. CRC Press.

Frandson, A.G., 2019. Takt time planning as a work structuring method to improve construction work flow. Doctoral dissertation. UC Berkeley.

Frandson, A., Berghede, K., & Tommelein, I. D. (2014). Takt-time planning and the last planner. 22nd annual conference in the International Group for Lean Construction.

Frandson, A., Berghede, K., & Tommelein, I. D. (2013). Takt time planning for construction of exterior cladding. 21st annual conference in the International Group for Lean Construction.

Haghsheno, S., et al., 2016. History and theoretical foundations of takt planning and Takt control. 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 20–22 July 2016 Boston, USA, 53–62.

Heinonen, A. and Seppänen, O., 2016. Takt time planning in cruise ship cabin refurbishment: Lessons for lean construction. 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 20–22 July 2016 Boston, USA, 23–32.

Hiitola, T., (valmisteilla). Diplomityö, Aalto-yliopisto.

Hossain, M. A., Chua, D. K. H. 2014. Overlapping design and construction activities and anoptimization approach to minimize rework. International Journal of Project Management Vol. 32 (2014), pp. 983-994

Järvinen, T., (2019). Talonrakennushankkeen tuotannon edellytysten luominen rakennussuunnittelun ohjauksessa. Diplomityö, Aalto-yliopisto

Kemmer, S., Koskela, L., Nykänen, V. 2013. Towards a lean model for production manage-ment of refurbishment projects. ApRemodel Project. VTT Technology: 94.

Kujansuu, P. Lehtovaara, J. Salerto, S. Seppänen, O., and Peltokorpi, P. 2020. How doesTakt Production contribute to Trade Flow in Construction? International Group for Lean Construction(IGLC28), Berkeley, California, USA.

Lehtovaara, J., Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (valmisteilla).

Lehtovaara, J., Heinonen, A., Lavikka, R., Ronkainen, M., Kujansuu, P., Ruohomäki, A., ... and Peltokorpi, A., (2020 a). Takt maturity model: from individual successes towards systemic change in Finland. 28th annual conference of the international group for lean construction.

Lehtovaara, J., Seppänen, O., Peltokorpi, A., Kujansuu, P., and Grönvall, M., (2020 b). How takt production contributes to construction production flow: a theoretical model. Construction Management and Economics, 1–23.

Lehtovaara, J., Mustonen, I., Peuronen, P., Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2019). Implementing Takt Planning and Takt Control Into Residential Construction. 27th annual conference in the International Group for Lean Construction.

Miranda, P. M. C. (2020). Lean Forecasting In Software Projects. Väitöstyö, Universidade do Porto.

Priven, V., & Sacks, R. (2016). Impacts of the social subcontract and last planner system interventions on the trade-crew workflows of multistory residential construction projects. Journal of Construction Engineering and Management, 142(7), 04016013.

Rakennustieto Oy. Ratu S-1231. Korjausrakentamisen tuotannonsuunnittelu. Toukokuu2012. Suunnitteluohje. Saatavilla https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%20S-1231?page=1

Ruohomäki, A., (2020). Hukan mittaaminen tahtituotannossa. Diplomityö, Aalto-yliopisto.

Salerto, S., (2020). Hukan mittaaminen tahtihankkeessa. Diplomityö, Aalto-yliopisto.

Saurin, T. A., Rooke, J., & Koskela, L. (2013). A complex systems theory perspective of lean production. International Journal of Production Research, 51(19), 5824-5838.

Sutherland, J., & Schwaber, K. (2007). The Scrum Papers. Nuts, Bolts and Origins of an Agile Process.

Tommelein, I. D. (2017). Collaborative takt time planning of non-repetitive work. 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.

Uusitalo, P., Seppänen, O., Lappalainen, E., Peltokorpi, A. and Olivieri, H. (2019). Applying Level of Detail in a BIM-Based Project: An Overall Process for Lean Design Management. Buildings 2019, (9), 109.

Uusitalo, P. , Lehtovaara, J. , Seppänen, O. and Peltokorpi, A. (2020). Waste in Design Management Operations From the Viewpoint of Project Needs. 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.

Zábojník, J., (2002). Centralized and decentralized decision-making in organizations. Journal of Labor Economics, 20 (1), 1–22.