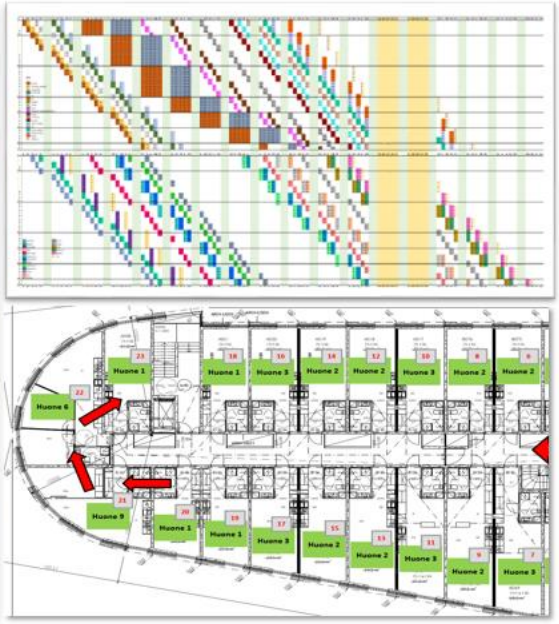
Building 2030 -
Tahti suunnittelussa ja tuotannossa loppuraportti

Kirjoittajat:
Aalto-yliopiston tutkijat: Joonas Lehtovaara, Olli Seppänen, Aleksi Heinonen
Saksalaisen tahtimallin dokumentointi: diplomityöntekijät Lauri Tomunen (YIT), Iiro Kulta (A-Insinöörit),
Kalifornialaisen tahtimallin dokumentointi: diplomityöntekijät Pekka Kujansuu (Skanska), Max Grönvall (SRV)



Sisällys

1. Johdanto 3

2. Tahtimallit muualla maailmassa 5

2.1 Saksan malli 5

2.2 Kalifornian malli 9

3. Hankkeen puitteissa tehdyt case-tutkimukset 13

3.1 Case Capella 13

3.2 Case Arcadahallen 20

3.3 Hankkeiden vertailu ja kehitysehdotukset 26

4 Kalifornian työmaat 29

4.1 Työmaa 1 29

4.2 Työmaa 2 35

4.3 Hankkeiden vertailu 36

4.4 Havainnot, opit ja haasteet 37

5. Tahti suunnittelussa 39

5.1 Tahtiin pohjautuva suunnittelunohjausprosessi 39

5.2. Tahti suunnittelijan työkaluna 40

6. Kohti yhteistoiminnallista tahtia 40

7. Johtopäätökset 42

Lähdeluettelo 44

1. Johdanto

Building 2030 -konsortio valitsi tahdin konsortion toisen toimintavuoden 2017-2018 painopisteeksi. Valinta tehtiin ensimmäisen vuoden kansainvälisen benchmarkkauksen perusteella. Benchmarkkauksessa etsittiin kansainvälisesti kohteita, joissa oli olennaisesti onnistuttu lyhentämään rakennusaikoja kustannuksista ja laadusta tinkimättä. Maailmalta löytyi useita esimerkkejä, joissa rakennusaika oli puolitettu tahtituotantoa hyödyntämällä. Suomessa oli jo tehty useita kokeiluja, joissa oli saavutettu hyviä tuloksia. Tutkimushankkeen tavoitteena oli lisätä ymmärrystä tahdista ja sen soveltamismahdollisuuksista suunnitteluun ja tuotantoon. Lisäksi tavoiteltiin ymmärrystä siitä, miten suunnittelun ja tuotannon tahdit voitaisiin yhdistää toimivaksi kokonaisuudeksi.

Tutkimus alkoi tutustumalla muissa maissa kehitettyihin prosesseihin. Tutustumisen kohteiksi valikoituivat BMW ja Weisenburger Saksassa ja tahtia hyödyntävät urakoitsijat Kaliforniassa. BMW:n Janosch Dlouhy kävi hankkeen aikana kahdesti sparraamassa Building 2030 ryhmää ja kaksi diplomityövaiheessa olevaa opiskelijaa kävi kahden viikon matkan sekä Saksassa että Kalifornissa dokumentoimassa siellä käytössä olevat prosessit. Tutkijat tukivat dokumentoivat kaksi hankkeen aikana tehtyä kokonaista case-projektia ja soveltuvuutta muuntyyppiseen rakentamiseen arvioitiin kahdella jälkikäteistarkastelulla maanalaiseen pysäköintitilaan ja Prisman rakentamiseen liittyen. Opit linkitettiin Aallon suunnittelunohjausta koskevaan väitöskirjatutkimukseen ja ehdotettiin suunnittelun ja tuotannon tahtien yhdistämistä perustuen systemaattiseen tarkkuustasojen hallintaan.

Hankkeen alkuvaiheessa prosesseja käytiin läpi työryhmätyöskentelyssä konsortion jäsenten kanssa. Suurimpana huolenaiheena nousivat esille tarvittavat uhraukset resurssitehokkuudessa. Sijaintipohjaisessa tuotannonohjauksessa (Kenley & Seppänen 2010), jonka juuret ovat professorien Kiiras (1989) ja Kankainen (1990, 1993) työssä, on korostettu aikapuskurien merkitystä tuotannon vaihtelevuuden hallinnassa. Aikapuskureita on ajateltu tarvittavan kasautuvien viiveiden estämiseen (Seppänen 2009). Huolena oli, että jos aikapuskurit otetaan kokonaan pois tehtävien välistä, tulee paljon häiriöitä, jotka johtavat joko resurssien lähtemiseen pois työmailta tai odotustunteihin. Tästä syystä mm. tutkimushankkeen vetäjä oli esittänyt aiemmin, että tahtituotanto on äärimmäisen riskialtis menetelmä ja johtaa valtavaan varatyökohteiden tarpeeseen, jos tuotannossa on vaihtelevuutta (Seppänen 2014).

Koska tarvetta valtavalle määrälle varatyökohteita tai suurta määrää odotustunteja ei kuitenkaan ollut Saksassa ja Kaliforniassa ilmennyt, oli selvää, että jotain oli jätetty ottamatta huomioon sijaintipohjaisessa ohjausteoriassa. Hankkeen aikana hahmottuikin selvästi se, että tahtituotannossa on myös puskureita mutta puskurit ovat kaikkien ymmärrettävissä ja kunkin toimijan omassa kontrollissa. Tehdyissä case-hankkeissa kasautuvia viiveitä ei ilmennyt vahvan päivittäisjohtamisen ansiosta. Tahtimenettelyn kapasiteettipuskurit toimivat paremmin kuin sijaintipohjaisen menettelyn aikapuskurit, koska niitä hyödynnetään vain silloin, kun niille on todellinen tarve. Aikapuskurit sen sijaan hyödynnetään myös silloin, kun niitä ei tarvita, mikä johtaa pitkittyneisiin rakennusaikoihin. Viime kädessä tahtituotannon ja sijaintipohjaisen

tuotannon ero onkin teknisellä tasolla vain siinä, miten puskureita käytetään. Teknistä menetelmää suurempi ero on päivittäisjohtamisessa, jonka rooli korostuu, kun kaikki tahdissa kulkevat työvaiheet ovat kriittisiä ja päivänkin viivästyminen tahdista vaikuttaa välittömästi seuraavaan tehtävään.

Suurimmat hankkeen opit liittyvät siihen, miten päivittäisjohtamista ja tukiprosesseja pitää jatkuvasti kehittää, jotta tahdista saadaan vielä enemmän irti. Case-hankkeissa rakennusaikoja saatiin lyhennettyä 30% ja laatu parani. Hankkeissa kuitenkin paljastui runsaasti kehitystarpeita jatkoa varten. Vielä parempiin lopputuloksiin päästään, kun aloitetaan jatkuva prosessin kehitys. Voidaan sanoa, että jo ensimmäisissä piloteissa on mahdollista päästä suuriin hyötyihin mutta silloin ollaan vasta pitkän tien alussa. Rakennushankkeiden kestojen puolittaminen laadun kärsimättä on selkeästi mahdollista, kunhan jatkuva kehitystyö pilottien pohjalta saadaan käyntiin.

Tässä loppuraportissa kuvataan hankkeen päätulokset. Raportin alussa kuvataan Saksan ja Kalifornian tahtimallit. Sitten kuvataan tutkimuksen aikana toteutetut case-hankkeet ja niihin liittyvät pääopit. Ehdotettu suunnittelunohjauksen kokonaisprosessi esitellään seuraavaksi. Lopuksi esitetään vielä avoimeksi jääviä tutkimuskysymyksiä ja ajatuksia siitä, miten tahti voitaisiin saada yhteistoiminnallisemmaksi siten, että myös toimitusketju pääsee osallistumaan tahdin suunnitteluun.

2. Tahtimallit muualla maailmassa

2.1 Saksan malli

Prosessin kuvaus

Rakentamisen yleinen ongelma on, että rakennukset nähdään yksilöllisinä kohteina eikä toistuvuutta havaita. Jos keskitytään pelkästään rakennuksen fyysisiin ominaisuuksiin ja niissä piilevien toistuvuuksien etsimiseen, toistuvuutta onkin vaikea nähdä. Tällöin eri projektit näyttävätkin varsin erilaisilta ja toistuvuutta voi olla vaikea havaita, lukuun ottamatta tiettyjä hanketyyppejä, kuten esimerkiksi täsmälleen samanlaisia hotellihuoneita. Prosessinäkökulmasta tarkasteltuna toistuvuuksia voidaan kuitenkin tunnistaa myös hyvinkin erilaisista tuotteista. Esimerkiksi väliseinäasennus on prosessina toistuva, vaikka väliseinää asennettaisiin hyvin erilaisiin rakennuksiin. Toistuvien osaprosessien tunnistaminen mahdollistaa asiakastarpeet huomioivan imuohjauksen sekä työsuorituksen optimoinnin ja virtaustehokkuuden parantamisen. Jos prosessien toistuvuutta ei tunnisteta, niiden kehittäminen jätetään usein toimitusketjun huoleksi. Tällöin osaoptimoidaan prosessia pyrkimällä hankkimaan kunkin prosessin hyvin hallitseva toimija esimerkiksi kilpailuttamalla urakoitsijoita kiinteähintaisilla tarjouksilla. Näin meneteltäessä prosessien väliset kytkökset unohtuvat ja informaation kulku häiriintyy. Asiakkaalle arvoa tuottava prosessi jää vajaaksi, koska kukaan ei huolehdi prosessien rajapinnoista. Tästä syystä BMW rakennuttajaorganisaationa koki, että ratkaisun pitää lähteä jo tilaajasta.

KIT:ssä (Karlsruhe Institute of Technology) kehitetty kolmen tason menetelmä (Dlouhy ym. 2016) esittää ratkaisua osittaisoptimoinnin ongelmaan jakamalla tahtisuunnittelun kolmeen toisiinsa linkittyvään tasoon; makrotasoon, normitasoon ja mikrotasoon (Kuva 1). Kolmen tason menetelmän tarkoituksena on suunnitella tahti systemaattisesti siten, että informaatiokatkoksia ei synny. Tasot rakentuvat aina edellisen tason tiedon varaan.

Kuva 1. Kolmen tason menetelmä (mukailtu Dlouhy ym. 2016)

Makrotaso - Prosessianalyysi

Prosessianalyysin tavoitteita ovat projektin jakaminen työalueisiin sekä ihanteellisen työjärjestyksen määrittäminen tilaajan tavoitteiden ja tarkoitusperien mukaisesti. Oleellista on myös riippuvuussuhteiden ja mahdollisten yhteentörmäysten tunnistaminen karkealla tasolla. Kohde jaetaan erilaisiin toiminnallisiin alueisiin, jotka priorisoidaan asiakkaan tilaajan tarpeiden mukaisesti. Tilaaja määrittää priorisoinnin perusteella tärkeimmät projektin välitavoitteet yhteistyössä muiden tärkeimpien projektin osapuolien kanssa. Kun tämä on tehty, projektitiimi hahmottelee projektin rakenteen yleisellä tasolla ja aloittaa projektilähtöisen tahtisuunnittelun. Rakennetta määriteltäessä pyritään tunnistamaan oleellisimmat työvaiheiden rajapinnat. Tällä tasolla ei vielä lasketa määriä tai määritetä yksityiskohtaisesti tahtien sisältöä, vaan yritetään hahmottaa tarvittavien prosessien lukumäärä ja arvioidaan tahtialuiden lukumäärää. Makrotason analyysin toteuttaminen on mahdollista vähäisillä suunnittelutiedoilla, sillä se voi perustua tietylle tuotteelle vakioituun tuotantoprosessiin. Analyysiä voidaan hyödyntää varhaisessa vaiheessa hanketta arvioitaessa rakentamisen kestoa sekä logistista toteutettavuutta (Tomunen 2018).

Normitaso - Tahtisuunnittelu

Normitasolla tunnistetaan jokaisen työalueen pienin mahdollinen toistuva rakenne ja lasketaan siihen liittyvien tehtävien työmäärät. Näistä pienistä kokonaisuuksista yhdistellään työpaketteja. Yhdelle työpaketille varataan tahtialue, joka pitää saada valmiiksi tietyssä tahtiajassa. Työpakettien eli vaunujen sisältö muodostetaan yhdessä toteuttavien osapuolten kanssa ja ne voivat sisältää usean eri ammattikunnan tehtäviä. Vaunuun varataan Saksan mallissa kokemusperäisen tiedon pohjalta noin 10-15% puskuria, jotta työpakettien valmistumisen todennäköisyyttä voidaan parantaa (Binninger ym. 2018, Dlouhy ym. 2018a). Toisin sanoen, kun kaikki menee suunnitelman mukaan, työryhmälle jää 10-15% aikaa ennen tahdin loppumista. Tämä mahdollistaa työntekijöille aikaa kehittää omia työskentelytapojaan (Dlouhy 2018b). Mikäli vaunun työt saadaan valmiiksi ennen tahtiajan päättymistä, työryhmä voi siirtyä muille alueille tekemään tuotantoprosessin ulkopuolisia työsuorituksia. Tahtimenettelyn olennaisena osana ovatkin tahdin ulkopuolelle jätettävät varatyökohteet, jotka eivät ole aikataulullisesti kriittisiä. Jälkitarkasteluna tehty case-tutkimus antaa viitteitä siitä, että tämän suuruusluokan kapasiteettipuskurit eivät hidasta yksittäisen vaunun tuotantonopeutta perinteiseen suunnitelmaan verrattuna, koska systeemissä olevan vaihtelun vaikutus on samaa suuruusluokkaa. Kapasiteettipuskureiden suuruus tuleekin määrittää tehtävien kestojen sisältämän vaihtelun pohjalta. (Tomunen 2018)

Normitason aikataulun pohjalta suunnitellaan viikkoaikataulut seuraaville viikoille. Viikoittaisissa palavereissa käydään läpi edellisen viikon toteutuneet vaunut ja normitason aikataulua päivitetään sen pohjalta. Viikkopalaverin tarkoituksena on tunnistaa työnteon esteitä ja ratkaista niitä yhteistoiminnallisesti. Normitason vaunujen sisältöjä muutetaan viikkopalavereissa, mikäli jotkut työpaketit myöhästyvät tavoitteista toistuvasti. Tällöin töitä voidaan esimerkiksi jakaa useaan vaunuun. Työjärjestys pysyy tyypillisesti samana, vaikka osa vaunun sisällöstä siirrettäisiin toiseen vaunuun. Myös työjärjestykseen voidaan tehdä muutoksia, jos viikkopalaverissa ilmenee tarve määrittää tuotantoprosessi uudelleen.

Mikrotaso - Päivittäisjohtaminen (Takt Control)
Mikrotasolla kuvataan vaunuihin liittyviä tehtäviä tyypillisesti päivätasolla. Kuvauksen tarkkuus riippuu määrätyn tahtiajan pituudesta. Tehtävien toteutumista ja työntekijöiden tarpeita seurataan päivittäisissä tuotantopalavereissa, joihin osallistuvat joko kaikki työmaan työntekijät tai yksi edustaja joka työpaketista. Palaverissa merkitään ylös kaikki toteutuneet tehtävät ja määritetään vakioiduista kategorioista juurisyyt kaikille tuotannon häiriöille. Tällä menettelyllä häiriöiden toistumista pyritään ehkäisemään jatkuvan reflektoinnin avulla. Mikrotaso yhdistää tuotannonsuunnittelun työmaan reaaliaikaiseen tilanteeseen, jolloin tuotannonohjauksen toimenpiteiden vaikutusta aikatauluun voidaan arvioida tehokkaasti.

Mikrotason tarkoituksena on luoda projektin henkilöstön välille avoin ja keskusteleva ilmapiiri, jotta kaikkien rakentamisen ammattilaisten kehitysideat ja havainnot voidaan hyödyntää toiminnan kehittämisessä. Tästä syystä mallissa mitataan organisaation tyytyväisyyttä, viihtyvyyttä ja mielipidettä laadusta sekä turvallisuudesta. Mittausta ja tiedonkulkua pyritään tehostamaan visuaalisilla työkaluilla ja helposti ymmärrettävällä tiedon jäsentelyllä. Esitystavat on pyritty hankkeissa standardoimaan, jotta tiedonkulku olisi mahdollisimman tehokasta.

Havainnot

Kolmen tason menetelmä hyödyntää tuotantoprosessin toistuvuutta tiedon jäsentelyssä ja sen teho perustuu perinteisen tehtävien aikataulutuksen sijasta prosessien suunnitteluun. Menetelmässä suunnitellaan työpakettien sisältöjen avulla yhtä kuormitettuja kokonaisuuksia ja pyritään täysin harmonisoituun tuotantoprosessiin. Suunnittelussa hyödynnetään parametreina ajan ja sijainnin lisäksi työtehtävien sisältöjä, mikä tekee menetelmän käytöstä haasteellisen urakoihin perustuvassa systeemissä. Rakennushankkeiden urakkapohjaisuus johtaa tyypillisesti tilanteeseen, jossa toimijat pyrkivät saavuttamaan omille resursseilleen korkean käyttöasteen. Asiakaslähtöisestä näkökulmasta optimaalisessa tilanteessa arvoa tuottavan prosessin virtaustehokkuus on keskeisemmässä roolissa kuin resurssitehokkuus, joten kolmen tason menetelmä on kehitetty ensisijaisesti asiakkaan tavoitteita ajatellen. Tomusen (2018) diplomityön case-tutkimuksen pohjalta voidaan olettaa, että korkean virtaustehokkuuden tavoittelulla saatu aikatauluhyöty voi olla perinteiseen rakentamiseen nähden paikallisesti jopa 50%.

Kolmen tason menetelmä on systemaattinen tapa tehdä tahtisuunnittelua ja -ohjausta. Systemaattisuus ja standardointi eivät kuitenkaan tarkoita sitä, että kolmen tason menetelmä tuottaisi ns. “kiveen hakattuja suunnitelmia”. Päinvastoin, kolmen tason menetelmä pohjautuu ajatukselle, että standardoitujen prosessien perusajatuksena tulee olla joustavuus. Tämä havainto on ehkä olennaisin Saksan mallin pohjalta syntynyt oivallus, koska tahti pelottaa siihen ensimmäistä kertaa tutustuvia juuri siksi, että se vaikuttaa jotenkin ehdottomalta ja joustamattomalta.

Tärkeimmät erot sijaintipohjaiseen tuotannonohjaukseen nähden ovat seuraavat:

1. **Kapasiteettipuskurien käyttö aikapuskurien sijaan**

Tahtisuunnittelussa ei suosita aikapuskureita, vaan kukin vaunu mitoitetaan työmäärältään siten, että se saadaan normaalissa tilanteessa valmiiksi 85-90% mitoitetusta ajasta. Yli jäävä aika käytetään prosessin kehittämiseen tai työskentelyyn tahtiin valittujen prosessien ulkopuolella. Tavoitteena on mahdollisimman luotettava valmistuminen tahtiajan sisällä. Tämä "alimitoitus" ei ole johtanut merkittävään määrään odotustunteja. Esimerkiksi BMW:n simulaatiopelissä odotustunteja syntyy tahtimenettelyllä vähemmän kuin perinteisillä menetelmillä. Saksan tahtimenettelyssä käytetään myös aikapuskureita mutta niitä lisätään mieluiten rakennusvaiheiden väliin tai projektin loppuun, jolloin niitä käytetään vain, jos niille on todellista tarvetta. Koska edellisen vaunun viive johtaa heti viiveeseen seuraavassa vaunussa, kaikki ymmärtävät oman vaunun töiden tärkeyden.

Sijaintipohjaisessa tuotannonohjauksessa sen sijaan korostetaan resurssitehokkuutta eli työvaiheet mitoitetaan 100% tuottavuudella ja tehtävien väliin varataan aikapuskureita. Tällä menettelyllä on tarkoitus varmistua resurssien tuottavuudesta ja tavallaan eristää yksittäisen urakoitsijan ongelmat muista urakoitsijoista. Tämän ratkaisun ongelmana on, että aikapuskurit käytetään, vaikka niille ei olisi tarvetta, mikä pidentää usein tarpeettomasti projektien suunniteltua kestoa. Päivittäisjohtamisen kannalta vaikutus on vielä suurempi. Jos jokaisen tehtävän jälkeen on aikapuskureita, viiveitä ei koeta kriittiseksi, koska ne eivät välittömästi vaikuta seuraavaan tehtävään. Aikataulut menettävätkin päivittäisjohtamisessa merkityksensä, koska aikataulun noudattaminen ei vaikuta kriittiseltä ja projektit valmistuvat aikataulussa, vaikka projektin aikana oltaisiin paljonkin myöhässä.

2. Suunnittelun tarkkuustaso

Vaikka sijaintipohjaisessakin suunnittelussa ohjeistetaan työkohteiden valinta siten, että vain yksi mestaa varaava työkohde voi olla työkohteessa yhtä aikaa, käytännössä aikatauluja suunnitellaan tällä tarkkuustasolla vain harvoin. Esimerkiksi suomalaisessa asuntotuotannossa suunnittelutasoksi on tyypillisesti jäänyt porras-kerros -taso. Yhdistettynä tehtävien väliin suunniteltuihin pelivaroihin tarkkuustaso on johtanut siihen, että tyypillisessä asuntokohteessa ei ole käynnissä yhtä aikaa montaa tehtävää ja yksittäisessä asunnossa työ ei etene.

Makrotason tahtisuunnittelussa valitaan prosessien ja tahtialueiden lukumäärä ja kokeillaan erikokoisten tahtialueiden ja eripituisten tahtiaikojen vaikutusta kokonaiskestoon. Tyypillisesti tuloksena on huomattavasti suurempi määrä tahtialueita kuin sijainteja sijaintipohjaisessa johtamisessa, koska tahtialueiden lukumäärän kasvatus johtaa olennaisesti lyhyempiin kokonaiskestoihin vaatimatta lisää resursseja. Alueiden lukumäärän kasvattaminen ja vastaava tahtiajan lyhennys mahdollistaa työvaiheiden limittämisen ja sitä kautta rakennusajan lyhentämisen.

Suomalaisista aikatauluista on tyypillisesti puuttunut iso määrä pieniä tehtäviä, jotka on ajateltu tehtäväksi "jossain vaiheessa" aikapuskurien sisällä. Tahtisuunnittelun normitasolla pyritään "lastaamaan" vaunuihin kaikki tarvittavat työpaketit.

3. Vaunujen joustavuus

Sijaintipohjaisessa suunnittelussa lähdetään liikkeelle määräluettelon suoritteista, joita niputetaan aikataulutehtäviksi, jotka vastaavat periaatteeltaan tahtisuunnittelun vaunuja. Aikataulutehtäviin voidaan niputtaa yhtä aikaa samalla työryhmällä tehtäviä suoritteita, joilla on samat ulkoiset riippuvuudet muihin tehtäviin. Aikatauluteoriassa korostetaan sitä, että yhdessä aikataulutehtävässä ei saisi olla useamman kuin yhden urakoitsijan suoritteita. Tyypillisesti pääurakoitsijan erikoisurakoitsijalle tarjoama aputyö on voitu kuitenkin ottaa mukaan. Lähtökohtana menettelyssä on ollut se, että työsisältö on joustava mutta yleisaikataulun mukaista "niputusta" hyödynnetään hankinnassa ja hankitaan koko tehtävän työsisältö yhdeltä toimijalta mahdollisesti aputyötä lukuunottamatta.

Saksan tahtisuunnittelu on sijaintipohjaista suunnittelua joustavampi. Samaan vaunuun voidaan lastata myös eri urakoitsijoiden työpaketteja. Esimerkiksi useita lyhyitä ja toisiaan häritsemättömiä työpaketteja voidaan kasata yhteen vaunuun. Toisaalta toteutusvaiheessa, jos urakoitsijan työt eivät valmistu tahdin puitteissa edes harjoittelun jälkeen, saman urakoitsijan työsisältöä voidaan jakaa useaan vaunuun. Tällöin mietitään tarkkaan, mitkä asiat pitää olla tehtynä ennen seuraavan vaunun alkamista ja mietitään lopputöille sopiva vaunu. Tällaista joustavuutta ei ole oppikirjan mukaisessa sijaintipohjaisessa tuotannonohjauksessa.

Yhteenveto

Saksan mallin merkitys tutkimuksen lähtökohtana oli suuri. BMW:n järjestämät simulaatiot ja vierailut osoittivat, että tahti oli monella tapaa lähtötilanteessa väärin ymmärretty. Olimme kuvitelleet, että sijaintipohjaisen suunnittelun ja tahdin pääero oli pieni ja liittyi erilaisiin puskureihin. Emme hahmottaneet puskurien tyypin muuttamisen vaikutusta prosessiin. Toisaalta tahti pelotti hankkeeseen osallistujia, koska emme tienneet, miten reagoidaan poikkeamiin. Pelkäsimme, että yksikin virhe johtaa junan raiteiltaan lähtemiseen. BMW:n esittämät case-hankkeet ja simulaatiot osoittivat, että tahti on huomattavasti joustavampi järjestelmä kuin olimme olettaneet. Tämä oppi antoi hyvän lähtökohdan toteuttamiimme case-hankkeisiin.

2.2 Kalifornian malli

Yhtä aikaa Saksan mallin kehittämisen kanssa Yhdysvalloissa Kalifornian osavaltiossa kehitettiin toinen tahtisuunnittelun malli. Frandson et al. (2013) esittelivät Takt-Time-Planning nimisen tuotannonohjausmenettelyn tuotannon virtauttamiseen. Tutustuimme menettelyyn aluksi kirjallisuuskatsauksen kautta ja hankkeen loppuvaiheessa kävimme paikan päällä tutustumassa menetelmään käynnissä olevilla työmailla.

Tuotannonohjausmenettely koostuu kuudesta osasta, jotka ovat (1) **datan/tiedon kerääminen**, (2) **tahtialueiden -ja ajan määritys**, (3) **työvaiheiden ja niiden järjestysten määritys**, (4) **yksittäisten työvaiheiden kestojen määritys**, (5) **työn virtauksen tasapainotus**, (6) **tuotantoaikataulun viimeistely**. Näistä kuudesta osasta koostuva prosessi on iteroituva vaiheissa 1-5, koska myöhemmissä vaiheissa tehdyt muutokset voivat vaikuttaa prosessin edeltäviin vaiheisiin.

(1) **Datan/tiedon kerääminen**
Tiedon keräysvaiheessa pyritään saamaan mahdollisimman tarkkaa tietoa kaikilta tuotanto-organisaatioon kuuluvilta jäseniltä työvaiheisiin, -menetelmiin, -menekkeihin ja kestoihin liittyen. Tietoa kerätään sekä toimijakohtaisesti että yhteisissä työpajoissa toimijoiden kesken, jotta tieto saataisiin mahdollisimman täydellisenä ja samalla myös välitettyä mahdollisimman laajalti koko tuotanto-organisaation tietoon. Yksittäisiin työvaiheisiin liittyvien tietojen ohella myös projektia koskevat välitavoitteet ja muut yhteiset tavoitteet ovat suuressa roolissa tietoa kerätessä. Tiedon kerääminen ja välittäminen on jatkuvaa koko projektin ajan ja se on ratkaisevassa roolissa prosessin muita vaiheita suunniteltaessa, jotta päätöksiä voitaisiin tehdä oikean tiedon pohjalta.

(2) **Tahtialueiden -ja ajan määritys**
Tahtialueen –ja ajan määritys tehdään edeltävän vaiheen tietojen perusteella määrittelemällä se työvaihe, joka toimii pullonkaulana prosessiin nähden. Pullonkaulana toimiva työvaihe määrää kaikille muille työvaiheille muodostuvan yksittäisen työalueen (tahtialue) ja työvaiheen kestoajan (tahtiaika).

(3) **Työvaiheiden ja niiden järjestysten määritys**
Kaikkien projektissa esiintyvien työvaiheiden määrittelyn jälkeen työvaiheet järjestetään mahdollisimman loogiseen ja kaikille osapuolille toimivimpaan järjestykseen.

(4) **Yksittäisten työvaiheiden kestojen määritys**
Yksittäisten työvaiheiden kestoja pyritään vielä määrittelemään mahdollisimman tarkasti, jotta työvaiheiden väliset vaihdot saataisiin sujuviksi.

(5) **Työn virtauksen tasapainotus**
Edeltävien kohtien pohjalta pyritään koko prosessi tasapainottamaan siten, että jokainen työvaihe etenisi virtaviivaisesti ja odottelu saataisiin minimoitua. Tämä tapahtuu mm. työvaiheiden resursseja säätämällä, työvaiheita yhteen niputtamalla ja työvaiheiden järjestystä hienosäätämällä sekä tahtialueita optimoimalla. Työn virtauksen tasapainotus pakottaa prosessin iteroitumaan, koska edeltävissä vaiheissa määriteltyihin kokonaisuuksiin tulee väkisin muutoksia.

(6) **Tuotantoaikataulun viimeistely**
Tuotantoaikataulu pystytään viimeistelemään ja hyväksymään vasta sitten kun jokainen tuotanto-organisaation jäsen on todennut suunnitelman olevan toteutettavissa ja organisaatio on hyväksynyt suunnitelman yksimielisesti.

Linnik et al. (2013) kokivat tutkimuksessaan, että tahtituotanto toi työvaiheiden välisiin rajapintoihin selkeyttä ja paransi erityisesti työvaiheiden välistä sopimista. Työvaiheiden rajapintojen selkeys paransi töiden ennakoitavuutta ja vähensi niiden yksittäistä koordinointia. Yksittäisten työvaiheiden koordinoinnin vähentyminen vapautti aikaa työnjohdolle kokonaisuuksien ennakkosuunnitteluun ja koordinointiin.

Kalifornian mallia on käytetty San Franciscon lahden alueella suurehkoissa sairaalahankkeissa. Näissä sairaalahankkeissa mallia käytettiin aluksi julkisivujen asennustöissä, jossa alkuperäisestä 11 kuukauden aikataulusta päästiin viiteen kuukauteen pienempien ja paremmin hallittavien työkokonaisuuksien avulla. Myöhemmin mallia on käytetty erityisesti erilaisten kohteiden sisävalmistusvaiheissa. Näissä kohteissa tahdilla pyrittiin ratkaisemaan paikalla tehtävien ja esivalmisteita hyödyntävien tehtävien yhteensovituksen haasteita. Tavoitteena oli parempi ennakoitavuus. Frandson & Tommelein (2016) korostivat strategisesti merkittävien työkokonaisuuksien ja työvaiheiden ennakointia ja näiden rajapintojen suunnitteluun allokoitavan ajan varaamista. Berghede (2018) nosti esiin tahtituotannon suunnittelussa työntekijöiden esimiesten eli “nokkamiesten” roolin. Yhteistyön lisääminen yli työlajirajojen ja erityisesti niin sanottujen “last plannereiden” mukaan ottaminen jo suunnittelunohjausvaiheessa paljastaa suurimmat yhteentörmäyksen vaarat jo ennakkoon.

Mallin käyttökokemuksia on myös Norjasta, jossa mallia käytettiin saman rakennusliikkeen toimesta kolmessa eri projektissa. (Vatne & Drevland 2016) Ensimmäisessä projektissa mallia kokeiltiin sairaalan yksittäisen siiven saneerauksessa. Ensimmäisen projektin aikana koettiin paljon haasteita ja lopulta vain noin 32 % suunnitelluista työpakettien aloituksista saatiin toteutettua aikataulussa. Toisessa projektissa sama rakennusliike rakensi rivitaloaluetta, jossa he pystyivät vertailemaan tahtituotannon ja perinteisen rakentamisen eroja samanlaisissa kohteissa. Tässä projektissa saatiin lopulta mittavia aika -ja kustannussäästöjä tahdistetuissa kohteissa. Kolmannessa projektissa mallia käytettiin silloin maailman korkeimman puukerrostalon sisävalmistusvaiheessa. Mallin koettiin tuovan järjestelmällisyyttä haastavaan hankkeeseen. Toistuvien työvaiheiden ja työpakettien järjestelmällinen ohjaus helpotti jo aluksi tiukkaa aikataulua. Kokonaisuudessaan Vatne & Drevland (2016) mainitsevat uuden tuotannonohjauksen suunnittelun ja ohjauksen olleen aluksi haastavaa jalkauttaa tuotantoon, mutta positiivisten kokemusten ja jatkuvan oppimisen myötä uudesta toimintatavasta saatiin paljon hyötyä.

Pääerona Saksan malliin nähden tässä tahtimallissa tahti suunnitellaan yhteistoiminnallisesti ja päätoteuttajavetoisesti. Pääpaino ei ole rakennusaikojen lyhentämisessä vaan tuotannon ennakoitavuudessa. Kaliforniassa esimerkiksi talotekniikka on pääosin esivalmistettua, joten tarkempi aikataulutieto mahdollistaa huomattavasti tuottavamman prosessin esivalmistajille. Voidaankin sanoa, että tahti yhdistettynä esivalmistukseen mahdollistaa teollisen rakentamisen (Chauhan et al. 2018). Kaliforniassa tahtia on hyödynnetty vaativissa sairaalakohteissa, joissa tahtia on hyödynnetty jo suunnittelunohjauksessa. Talotekniikan esivalmistus vaatii tarkkaa tietomallipohjaista esivalmisteiden koordinointia, jonka on valmistuttava alueittain ennen esivalmistuksen alkamista. Koordinointi ja esivalmistussuunnittelu onkin otettu mukaan tahtiin.

Tutkimuksen kannalta Kalifornian malli tarjosi hyviä lähtökohtia erityisesti suunnittelunohjausprosessin kehittämiseen. Mallin pohjalta lähdettiin kehittämään myös yhteistoiminnallisempaa tahtimenettelyä.

3. Hankkeen puitteissa tehdyt case-tutkimukset

Muualta saadut opit konkretisoituvat vain, jos niitä päästään soveltamaan case-hankkeissa. Konsortion yritykset lähtivät innolla mukaan ja case-hankkeiksi saatiin kaksi asuntokohdetta, joissa tahtia sovellettiin sisävalmistusvaiheessa sekä kaksi jälkikäteistarkastelua, joissa pohdittiin, miten tahti olisi voinut hyödyttää jo perinteisemmin toteutettuja hankkeita. Molemmista hankkeista, joissa tahtia sovellettiin, saatiin tuotettua uutta tietoa, joka auttaa myös kansainvälistä yhteisöä ymmärtämään tahtia paremmin. Opeista ollaan kirjoittamassa konferenssiartikkeleita ja tieteellisiä artikkeleita. Jälkikäteistarkasteluilla vahvistettiin uskoa siihen, että tahtia voidaan hyödyntää hyvin monenlaisessa rakentamisessa. Tässä luvussa kuvataan caset aluksi yksi kerrallaan ja lopuksi vertaillaan eri case-hankkeista saatuja oppeja.

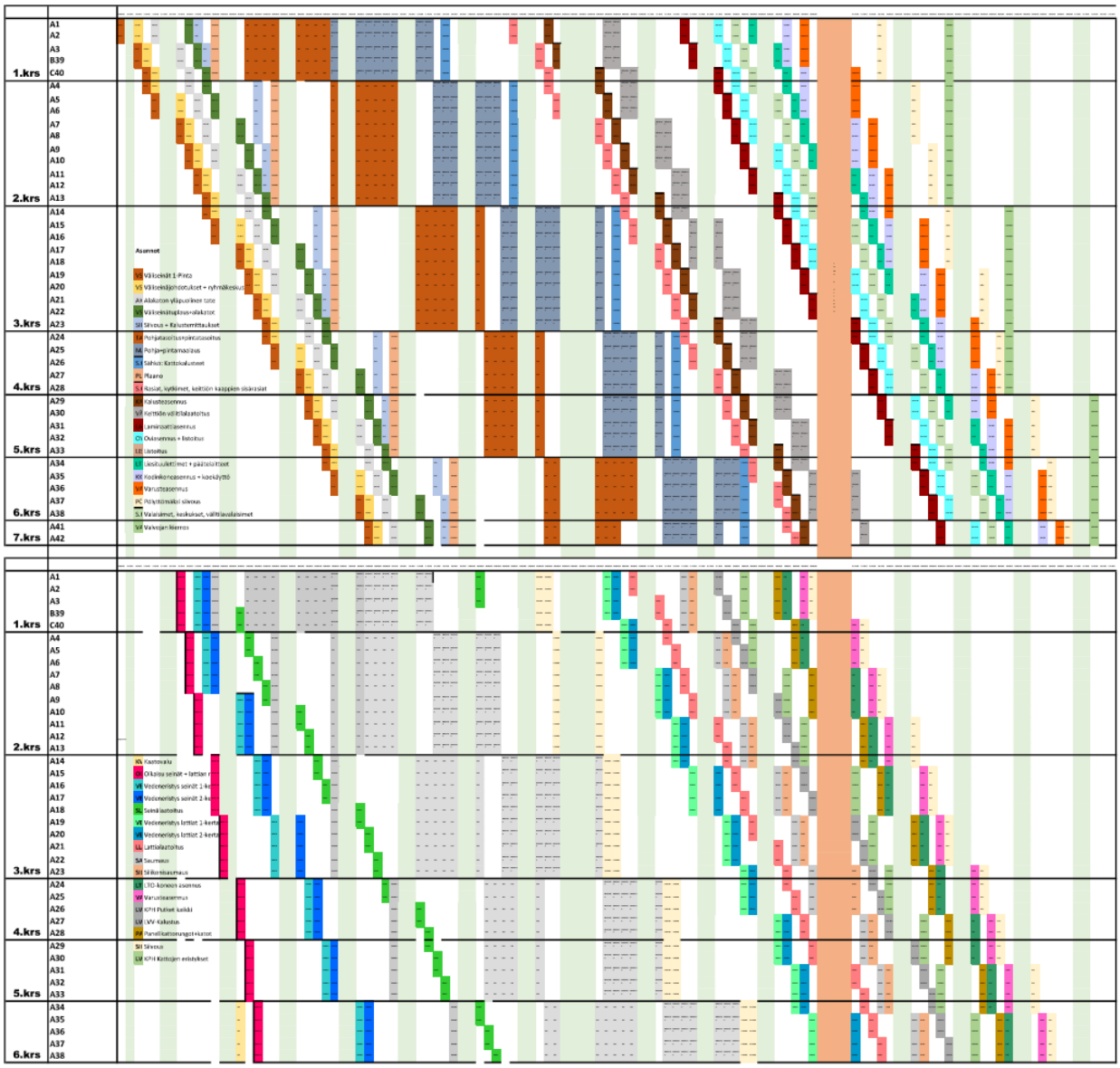
3.1 Case Capella

Capella on KVR-hankkeena toteutettava seitsemänkerroksinen, Helsingin Kalasatamassa sijaitseva asuinkerrostalokohde, jonka pääurakoitsijana toimii Fira Oy (kuva 2). Kohde sisältää 42 huoneistoa, joista kahteen katutason huoneistoon liittyy liiketila. Huoneistojen pohjat ovat muodoiltaan vaihtelevia, joten ne ovat tahtituotannon näkökulmasta verrattain haastavia. Huoneistojen koko vaihtelee 31 m2 yksiöistä 83 m2 neliöihin. Capellan rakennusajan pituudeksi arvioitiin suunnitteluvaiheessa 15 kuukautta, joka pohjautui yleisaikatauluun, joka oli laadittu viikkotasolla kerroskohtaisesti ilman tahtisuunnittelua. Sisävaiheen pituudeksi oli yleisaikataulussa arvioitu 32 viikkoa eli noin 7,5 kuukautta, jonka pohjalta tahtituotannon suunnittelu aloitettiin.

Suunnitteluvaiheessa havaittiin, että paikka-aikakaavioon perustuvat suunnitteluohjelmistot Vico Schedule Planner ja TCM Planner eivät soveltuneet helposti tahdin suunnitteluun, koska tahdissa vakiona pidetään kesto ja resurssit ja puskurit voivat muuttua. Nykyisissä aikatauluohjelmissa tehtävän kesto lasketaan määrien ja resurssien kautta ja tahdin sisällä olevaa puskuria ei ole helppo ottaa huomioon. Aikatauluohjelmissa ei ole tällä hetkellä “tahtinäkymää”, vaikka paikka-aikakaavio onkin logiikaltaan sitä lähellä. Siksi tahti saatiin parhaiten suunniteltua käyttämällä Exceliä, jolla tahti saatiin myös parhaiten visualisoitua (kuva 3). Tahtiajan pituudeksi valittiin yksi päivä ja tahtialueeksi määriteltiin läpi kohteen yksi asunto, jossa kuivatilat ja märkätilat oli jaettu omiksi toistuviksi kokonaisuuksikseen. Poikkeus tehtiin tasoite- ja maalaustöille, joille varattiin töiden ajaksi koko kerros. Lisäksi yleisten tilojen aikataulu määritettiin erikseen. Aikataulussa työkokonaisuuksien välille jätettiin jonkin verran myös aikapuskureita, joilla pyrittiin hallitsemaan mahdollisia häiriöitä, joita ensimmäisessä tahtiaikataulutetussa kohteessa ei oltu mahdollisesti pystytty ennakoimaan.

Kuva 2 Kalasataman Capellan havainnekuva

Tahtialueen valinta on asuntokohteessa looginen. Työryhmät jäsentävät luonnollisesti työnsä asunnoittain ja aliurakoitsijoiden on helppo arvioida, kuinka kauan tehtävät kestävät yhdessä asunnossa. Märkätilojen erottelu kuivatiloista on tarpeen, koska tehtävät poikkeavat toisistaan ja työt voivat muutamia poikkeuksia lukuunottamatta edetä rinnakkain sekä kuivissa tiloissa että märkätiloissa. Suunnittelussa havaittiin, että märkätilojen aikataulu määritti osittain sisävalmistuksen keston pitkien kuivumisaikojen vuoksi. Aikataulun tiivistämisen kannalta esivalmistetusta kylpyhuoneesta olisi ollut olennaista etua (katso myös Chauhan ym. 2018).



Kuva 3 Sisävaiheen alkuperäinen tahtiaikataulu

Kokonaisuudessaan tahtisuunnitteluprosessi mukaili Frandsonin ym. (2013) esittämää kuusiosaista mallia, jota iteroitiin myös aliurakoitsijoiden kanssa. Vaikka päätös toteuttaa sisävaihe tahtimenettelyllä ei ollut tiedossa kaikkia aliurakkaneuvotteluja tehdessä, pyrittiin aliurakoitsijat kuitenkin sitouttamaan tahtiaikatauluun osallistamalla heidät suunnitteluun. Ensimmäinen versio aikataulusta laadittiin teoreettisten ratu-menekkien perusteella, jonka jälkeen teoreettista aikataulua jatkokehitettiin kysymällä aliurakoitsijoiden mielipiteitä sekä varmistamalla, että suunniteltu aikataulu on toteutuskelpoinen. Aliurakoitsijoiden kanssa keskustelua auttoi huoneiston valitseminen tahtialueeksi. Aliurakoitsijoiden oli helppo hahmottaa, oliko realistista saada huoneisto valmiiksi päivässä.

Tahtisuunnitelmassa sisävaiheen pituudeksi saatiin 18 viikkoa, ja samalla tavoitelluksi aikataulusäästöksi arvioitiin n. 2,5 kuukautta, jolloin tahtituotannon implementoinnin oletettiin lyhentävän läpimenoaikaa n. 35%. Vaikka alkuperäistä yleisaikataulua saatiin lyhennettyä huomattavasti enemmän, otettiin arvioissa huomioon myös se, että alkuperäinen aikataulu oli tehty väljäksi ja sitä olisi joka tapauksessa hieman pystytty kiristämään tuotannonsuunnitteluvaiheen edetessä.

Tahtiin liittyvät havainnot on alla jaettu tahtituotannon valmisteluun sekä tahtituotannon toteutukseen liityviin oppeihin.

<u>Tahtituotannon valmisteluun liittyvät opit</u>

Suunnittelunohjaus:
Suunnittelunohjauksen näkökulmasta tahtituotannon toteutuksen haasteiksi muodostuivat erityisesti epätavalliset, toteutuksen kannalta haastavat suunnitteluratkaisut. Esimerkiksi rakennuksen haastavista pohjaratkaisuista johtuen osa ontelolaatoista päätettiin korvata paikallavaluina, mikä johti tahtituotannon kannalta kriittisesti hitaampaan rungon kuivumiseen. Suunnittelussa ei siis pystytty painottamaan tarpeeksi tuotannon kannalta potentiaalisiksi pullonkauloiksi muodostuvien ratkaisuiden eliminointia tai huomioimista, mikä johtui siitä, että tahtituotannon vaatimuksista ei suunnitteluvaiheessa oltu tietoisia. Vaikka riskiratkaisut tulisi pyrkiä eliminoimaan tai ratkaisemaan viimeistään toteutussuunnitteluvaiheessa, juurisyy tahtituotannon kannalta huonolle suunnitteluratkaisulle löytyi usein kuitenkin jo yleissuunnittelussa tehdystä, lukkoon lyödystä perusratkaisusta. Lisäksi tuotantovaiheessa huomattiin, että detaljisuunnittelun ja suunnitelmien yhteensovitus esimerkiksi talotekniikan ja arkkitehtisuunnittelun osalta ennen tuotannon aloitusta on keskeisessä roolissa tahtiaikataulussa pysymisen kannalta.

Tuotannon ennakkosuunnittelu:
Jälikäteen ajateltuna tuotannonsuunnittelulle olisi pitänyt varata enemmän aikaa. Ensimmäiset tahtisuunnitelmat saatiin valmiiksi hyvissä ajoin ennen tahtituotannon alkamista mutta tehtävien yksityiskohtaiseen tuotannonsuunnitteluun ei ehditty käyttää riittävästi aikaa. Ne aloitettiin aika perinteisesti kiinnittämättä huomiota etukäteen esimerkiksi logistiikkaan ja materiaalinhallintaan. Jotta tahti saadaan “rullaamaan”, ensimmäiset työvaiheet ovat kriittisessä asemassa. Työvaiheet on huolellisesti ennakkosuunniteltava, jotta voidaan välttää ongelmat. Tahtiin pääsemisessä oli olennaisia haasteita ensimmäisten tehtävien osalta. Tulevissa hankkeissa logistiikka- ja materiaalinhallinta ja olosuhteiden hallinta on huolella suunniteltava ennen tuotannon aloittamista. Pelkkä pitkälle mietitty tahtisuunnitelma ei ole riittävä. Optimaalisesti tahdin vaatimuksia pitäisi voida ottaa huomioon jo hankinnassa ja suunnittelunohjauksessa.

Hankinta:
Hankintaprosessin näkökulmasta tieto tahtituotannon pilotoinnista kohteessa tuli liian myöhään. Hankinnan näkökulmasta esteiksi tehokkaalle tahtituotannolle havaittiin erityisesti se, ettei aliurakoitsijoita oltu sitoutettu ja osallistettu tahtituotantoon tarpeeksi. Vaikka heidän mielipidettään olikin kysytty aikataulua laadittaessa, ei hankintavaiheessa oltu kuitenkaan

varmistettu aliurakoitsijoiden todellista kykyä sitoutua tahtituotantoon resurssien, päivittäisen kommunikaation tai kannustimien näkökulmasta. Tietyissä työvaiheissa vaatimukset tiukkaan, päivittäistasolla kontrolloitavaan tuotantoon yllättivätkin aliurakoitsijan, joka ei pystynyt vastaamaan tahtituotannon tarpeisiin. Samalla hankintavaiheessa määritetty ansaintalogiikka ei motivoinut suorittamaan tehtäviä tahtijärjestyksessä, sillä useassa tilanteessa aliurakoitsijalle oli edullisempaa suorittaa tehtäviä eri järjestyksessä sekä jättää tehtäviä osittain kesken. Esimerkiksi kipsilevyseinien asentajille maksettiin valmiista seinäneliöistä. Heidän oli kannattavaa aloittaa mahdollisimman monta seinää, jotta toiset asentajat eivät saaneet seinää vallattua. Hitaat mutta sähköurakoitsijan kannalta merkitykselliset osat tehtiin viimeiseksi, joten sähköurakoitsija ei voinut seurata heti väliseinämiehen perässä tahtisuunnitelman edellyttämällä tavalla. Toimijoiden kannustimet täytyykin olla määritettynä tahdin kannalta oikein asentajatasolle saakka.

Digitaaliset johtamistyökalut:
Tahtituotannon lisäksi Capellassa hyödynnettiin useita digitaalisia projektinhallintatyökaluja, joista merkittävimpinä SiteDrive-aikataulutusohjelma sekä laatupoikkeamien havainnoinnissa hyödynnettävä Congrid. Perehdytyksen sekä käyttöönoton merkitys korostuivat tilanteessa, jossa tahdin lisäksi sekä pääurakoitsijan että aliurakoitsijoiden työntekijät joutuivat nopealla aikataululla omaksumaan paljon uutta tietoa, työkaluja ja prosesseja. Johtamistyökalujen käyttöönotossa huomattiin, että kiireessä halu siirtyä käyttämään perinteisempiä menetelmiä kasvaa, jolloin työkalujen hyötyjen konkreettinen osoittaminen etukäteen on implementoinnissa avainasemassa. Digityökaluihin liittyvä potentiaali kuitenkin tunnistettiin tärkeäksi tulevaisuuden kehityksen kannalta: tahti tuo työvaiheiden sisällä tapahtuvat virheet ja poikkeamat huomattavasti aiempaa tarkemmin esille, eikä tämän kaiken tiedon hyödyntäminen seuraavissa hankkeissa täysimääräisesti ole mahdollista, jollei tietoa ole tallennettu järjestelmällisesti.

Edelliset työvaiheet:
Tahtisuunnitelmaa edeltäviä työvaiheita, eli käytännössä katsoen runkovaihetta, ei oltu sidottu sisävaiheen tahtituotantoon. Tämä johti siihen, että normaalisti ei-kriittiset tekijät, kuten rungon kuivumisen hallinta sekä etuputsin mittatarkkuus eivät olleet tahtituotannon vaatimusten mukaisia. Vaikka tahtituotanto siis kohdistuisikin vain tiettyyn rakennusvaiheeseen, tulisi sen vaatimukset ottaa huomioon myös edellisten työvaiheiden suunnittelussa ja ohjauksessa. Kuivumisajat tulevat tahtituotannossa kriittiselle polulle ja niihin pitäisi vaikuttaa runkovaiheen paremmalla hallinnalla sisävaiheen olosuhdehallinnan lisäksi.

Tahtituotannon ohjaukseen liittyvät opit

Sisävaiheen tuotantoa ohjattiin viikkotasolla kolmessa työmaakokouksessa: tahti-, aliurakoitsija- sekä työnjohtokokouksissa. Maanantaina järjestetyissä *tahtikokouksissa* aikataulua käsiteltiin pääurakoitsijan sekä aliurakoitsijoiden kesken, jonka aikana muodostettiin yleiskuva aikataulun etenemisestä sekä tehtiin tarvittavat muutokset tahtiaikatauluun. Keskustelussa toteumaa seurattiin ja ohjattiin käyttäen apuna seinälle tulostettua aikataulua (kuva 4) sekä SiteDrive-aikatauluohjelman merkintöjä. Myös keskiviikon *aliurakoitsijakokouksissa* aikatauluun liittyviä

asioita sivuttiin, mutta kokouksen pääpaino oli kuitenkin enemmän työn suunnittelussa sekä muihin tuotantoon liittyvissä käytännön asioissa. Lisäksi perjantain *työnjohtokokouksissa* tuotannon tilannetta tarkasteltiin pääurakoitsijan työnjohdon kesken sisäisesti. Kolmen viikottaisen kokouksen lisäksi tahtituotannon toteutumista seurattiin päivittäin digitaalisten työkalujen avulla, josta saatiin tietoa työvaiheiden etenemisestä (SiteDrive), laatupoikkeamista (Congrid) sekä kuivumisen ja olosuhteiden hallinnasta (sensoridata, kuva 5).

Kuva 4 Tahtikokouksissa aikataulua tarkasteltiin viikoittain

Capella Olosuhdeseuranta 21.8.2018 17:39:27

Asunto	12.8.2018	13.8.2018	14.8.2018	15.8.2018	16.8.2018	17.8.2018	18.8.2018	19.8.2018	20.8.2018	21.8.2018
A27	21,14	28,56	27,26	28,19	26,49	27,70		28,54	26,85	26,00
A28	30,04	27,67	29,25	29,23	29,46	29,38	29,31	28,96	28,20	27,83
A29	26,43	25,12	24,89	24,95	25,27	24,79	24,91	24,86	24,05	22,51
A30					26,69	26,99	27,00	26,51	26,08	25,88
A31		27,88	28,15	27,36	27,29	27,40	27,36	26,85	26,05	26,02
A32		28,87	29,90	28,67	29,77	28,73	28,48	27,58	26,85	25,75
A34	26,91	25,86	25,45	25,18	25,38	25,45	25,57	25,27	24,48	23,41
A35	28,23	28,27	28,34	27,75	27,87	27,93			26,77	27,24
A36		27,66	27,80	27,73	27,62	27,52				
A37		29,74	29,99	28,64	29,29	28,85	27,76	25,08	26,00	25,77
A38	30,17	28,16	29,40	29,88	29,39	29,90	28,85	27,33	25,42	25,04
A41					26,49	25,72			24,62	23,87
A42	28,60	28,76	28,88	27,93	27,85	27,91	28,35	26,90	27,11	
B39	26,53	26,31	26,05	25,73	25,88	25,99	25,89	25,28	24,55	23,69
C40	24,36	23,56	23,19	22,82	22,62	22,92	23,04	22,67	21,60	21,40

Kuva 5 Reaaliaikainen huonekohtainen lämpötilanseuranta

Aliurakoiden johtaminen

Aliurakoiden johtamisen näkökulmasta tehokkaan tahtituotannon haasteiksi muodostuivat erityisesti samalle aliurakoitsijalle ketjutetut työvaiheet, visuaalisen ohjauksen haasteet sekä ohjaustoimien suorittaminen pääasiassa viikkotasolla. Tilanteessa, jossa samalla aliurakoitsijalla on monta työvaihetta, tulisi aliurakan ohjaukseen kiinnittää erityistä huomiota. Vaikka joissain tilanteissa useat työvaiheet voivat toimia urakoitsijalle lisää puskureita, muodostaa usean työvaiheen samanaikainen hallinta tilanteen, jossa aliurakoitsija mahdollisesti optimoi omia resurssejaan virtaustehokkuuden kustannuksella esimerkiksi poikkeamalla tahdissa sovitusta työjärjestyksestä (esim. helpoimmat työt ensin). Toisaalta visuaalinen ohjaus tulisi tuoda mahdollisimman selkeästi näkyväksi kaikille työmaalla toimiville henkilöille. Jos vain työnjohto ja nokkamiehet ymmärtävät tahtisuunnitelman, tahtiohjauksen tärkeät hyödyt kuten läpinäkyvyys ja itseohjautuvuus estyvät. Jos tahtiaika on päivä, myös johtaminen tulisi viedä päivätasolle eikä esimerkiksi viikoittainen kommunikointi riitä tehokkaaseen aliurakoiden johtamiseen.

Tuotannonohjaus

Tuotannonohjauksen näkökulmasta tahtituotanto selkeytti työmaan toimintaa, mutta samalla haastoi johtoa ohjaamaan tuotantoa entistä aggressiivisemmin sekä läpinäkyvämmin. Epäselvyyttä esiintyi erityisesti tilanteissa, jotka olisivat vaatineet radikaaleja, perinteiselle rakentamiselle epätyypillisiä ohjaustoimenpiteitä: voiko tuotantoa oikeasti pysäyttää useaksi päiväksi, jos pullonkauloja esiintyy? Halu siirtyä hyödyntämään perinteistä tuotannonohjausta nousi aika ajoin esiin. Poikkeamiin reagointi ja aikataulun päivitys tulisi myös tehdä mahdollisimman kevyeksi prosessiksi: raskas muutosten dokumentointi johtaa edelleen haluun siirtyä päiväkohtaisesta seurannasta väljempään kontrolliin. Excel on hyvä työkalu ensimmäisen suunnitelman tekemiseen mutta sitä on liian työlästä päivittää. Tuotannonohjauksen haastavuus kiteytyi siihen tosiasiaan, että lukuiset ennakkovalmistelun esteet eivät mahdollistaneet proaktiivista tuotannonohjausta, vaan poikkeamia käsiteltiin lähinnä reaktiivisesti. Myös tuotannonohjauksen prosesseja tarkastellessa siis huomattiin, että yksittäisen työvaiheen lisäksi tuotantoa tulisi tarkastella enemmän kokonaisvaltaisesti, koko projektin näkökulmasta. Tämä edellyttää digitaalisten työkalujen kehitystä tahtia tukeviksi.

Logistiikka

Vaikka materiaalivirtojen hallinta nähdään usein tuotannonaikaisena toimintona, tulisi se kuitenkin suunnitella järjestelmällisesti jo hyvissä ajoin ennen tahtituotantovaiheen aloitusta. Päiväpohjainen tahtisuunnitelma vaatii kykyä hallita myös materiaalivirtoja päiväkohtaisesti, eikä tämä ole mahdollista logistiikan ollessa erillinen prosessi suunnittelunohjauksesta, tuotannonsuunnittelusta sekä hankinnasta. Capellassa tämä näkyi mm. myöhässä olevina toimituksina, haalauksen epäselvänä koordinointina, sekä materiaalien liian aikaisella siirtämisellä mestalle, mikä aiheutti esteitä muille työvaiheille. Tämän tyyliset esteet eivät perinteisellä tuotantomenetelmällä aiheuta ongelmia, mutta päiväpohjaisessa tahtituotannossa nämä logistiikkaan liittyvät haasteet korostuivat. Esimerkiksi kipsilevyjen nostaminen holville johti liian suureen haalaamiseen liittyvään ajanhukkaan ja haalausta jouduttiin tekemään työnjohdon toimesta työajan ulkopuolella, jotta asennukset voivat edetä halutussa tahdissa.

Yhteenveto
Kokonaisuutena tahtituotannon pilotoinnissa onnistuttiin kiitettävästi, vaikka edellä esitetyt havainnot liittyvät lähinnä havaittuihin kehityskohtiin ja poikkeamiin. Sisävaiheen läpimenoaikaa pystyttiin lyhentämään hankkeessa noin kaksi kuukautta eli noin 30%, ja erityisesti läpinäkyvyyden parantuminen aliurakoiden johtamisessa sekä digitaalisten johtamistyökalujen potentiaalin tunnistaminen koettiin positiivisina asioina. Tämä on loistava tulos ensimmäisestä pilottihankkeesta.

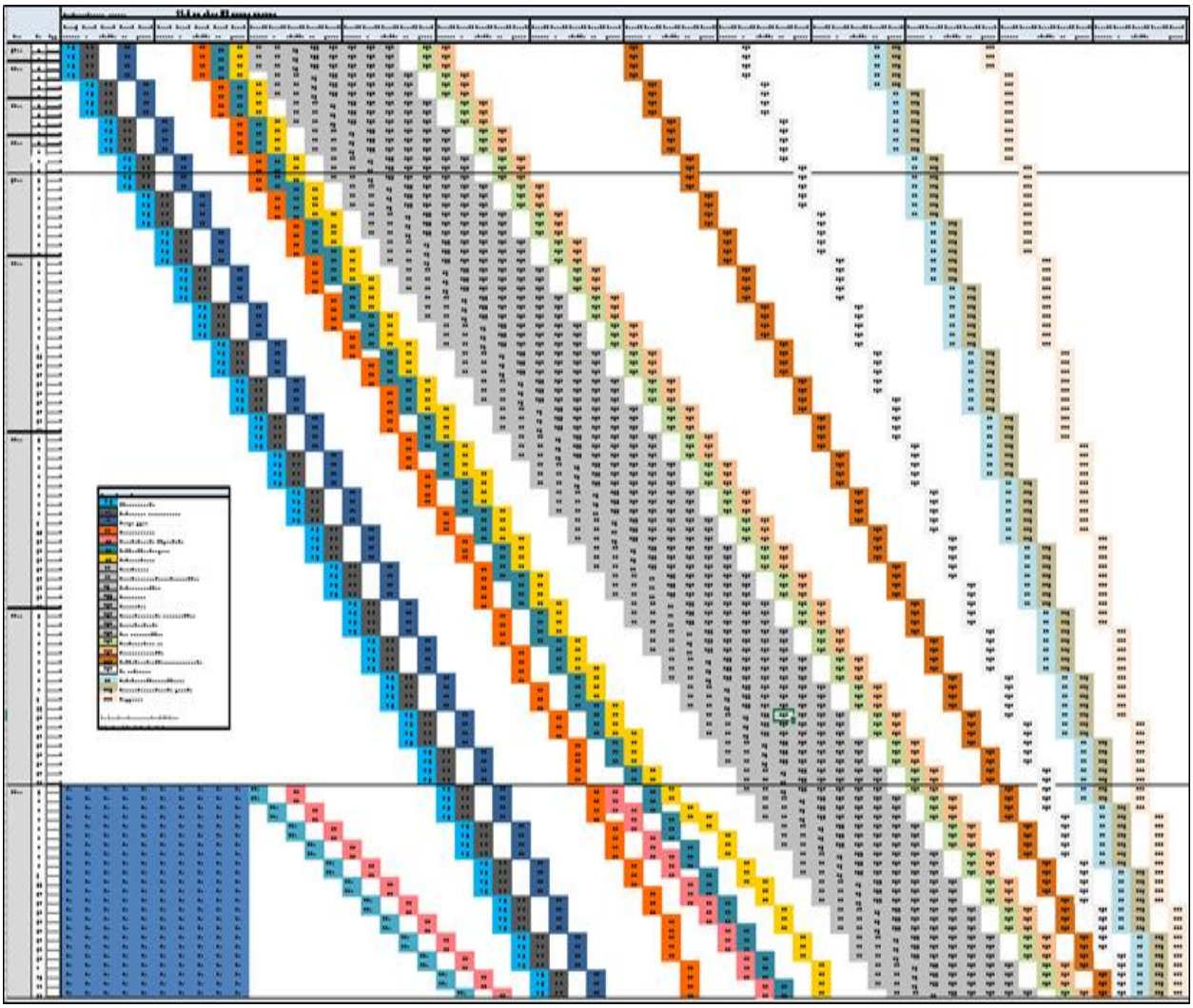
Samalla sisävaihe tarjosi huomattavan määrän oppeja seuraaviin hankkeisiin, joissa tuotantoa pyritään tehostamaan entisestään. Oppimiskäyrä myös sisävaiheen aikana oli huomattava: tuotannonohjausta pystyttiin parantamaan koko sisävaiheen ajan sitä mukaa, kun tahtituotannon ymmärrystä siirrettiin teoriasta käytäntöön. Ennakkosuunnitteluun ja logistiikan suunnitteluun voitiin satsata huomattavasti enemmän myöhemmissä työvaiheissa, kun havaittiin, että niillä on merkittävä vaikutus tahdin onnistumiseen. Tunnistamalla näiden asioiden tärkeys etukäteen mahdollistaa sisävalmistusvaiheiden keston puolittamisen tulevissa hankkeissa.

3.2 Case Arcadahallen

Arcadahallen on Helsingin Arabianrantaan toteutettava kerrostalorakennus (kuva 6), jonka kokonaisuuteen kuuluu 103 opiskelija-asuntoa (kerrokset 1-5) sekä ylimmissä kerroksissa sijaitseva urheiluhalli (kerrokset 6-8). Ammattikorkeakoulu Arcadalle rakennettavan kerrostalon rakennuttajakonsulttina toimii Haahtela Oy, ja hankkeen budjetti on 19 miljoonaa euroa. Opiskelija-asunnot ovat pääosin yksiöitä, jotka alustavan arvion mukaan ovat muuttovalmiita vuoden 2019 tammikuussa. Tahtituotannon suunnittelun teki Haahtela, jolle konsultointipalveluja tuottava Vison Oy tarjosi valmennusta tahtituotannon käyttöönotossa sekä omatoimisen kehittämisen aloittamisessa. Tavoitteena tahtituotannon implementoinnissa oli tuottaa n. 1.5kk aikataulusäästö suhteessa alkuperäiseen yleisaikatauluun, sekä samalla mahdollistaa tahtituotannon soveltaminen omatoimisesti myös seuraaviin hankkeisiin. Lisäksi oletettiin, että tahtituotanto parantaisi työmaan ohjattavuutta sekä kehittäisi merkittävästi laatua sekä tuottavuutta.

Kuva 6 Arcadahallenin havainnekuva

Tahtituotannon suunnittelun alkaessa tuotanto oli edennyt runkovaiheeseen. Alustavasti tahtituotantoa kaavailtiin myös runkoon, mutta materiaalitoimitusten aikataulut eivät mahdollistaneet merkittäviä muutoksia runkotöiden virtauttamiseen. Runkotöitä havainnoimalla pystyttiin kuitenkin tuottamaan kehitysehdotuksia seuraaviin vastaaviin asuinkerrostalohankkeisiin. Sisävaiheen tahtituotannon suunnittelussa keskityttiin aluksi tarkastelemaan pelkästään huoneistojen sisäisiä töitä, ja myöhemmässä vaiheessa tarkasteluun otettiin myös yleiset tilat. Suunnittelua aloitettaessa sisätöiden hankintaa ei oltu vielä viety loppuun, mikä mahdollisti tiettyjen aliurakoitsioiden sitouttamisen tahtituotantoon alusta asti. Alustavaan tahtiaikatauluun sisällytettiin kaikkien 103 huoneiston sisätyöt alkaen ikkuna-asennuksesta, ja tahtiajaksi määriteltiin yksi päivä. Yleisiä tiloja sekä muita osia tarkasteltiin myöhemmin sisävaiheen edetessä. Kuvassa 7 on esitetty kohteen alkuperäinen tahtisuunnitelma.



Kuva 7 Arcadahallenin tahtisuunnitelma

Tahtituotannon valmisteluun liittyvät opit

Suunnittelunohjaus

Koska tieto tahtituotannosta saatiin suunnittelun kannalta myöhään, ei perusratkaisuihin voitu enää tahtisuunnittelua tehdessä juurikaan ottaa kantaa. Toisaalta, pohjaratkaisuiltaan suhteellisen yksinkertaiset ja samankokoiset huoneistot helpottivat tuotannonsuunnittelua, kun toistettavuus huoneistojen ja kerrosten välillä oli suuri. Vaikka tahtituotantoa voidaan toteuttaa tehokkaasti myös kohteisiin, jossa huoneistot ovat selkeästi eri kokoisia sekä pohjaratkaisut tavanomaisesta poikkeavia, ovat yksinkertaiset ja samankokoiset huoneet kuitenkin helpompia toteuttaa tahtituotannon pilotointivaiheessa.

Tuotannonsuunnittelu
Tuotannonsuunnittelun näkökulmasta haasteiksi muodostuivat erityisesti tuotannonsuunnittelun myöhäinen aloitus suhteessa muihin valmisteleviin toimintoihin, vasta tuotannon aikana toteutettu logistiikkasuunnittelu sekä reaktiivisesti toteutettu kuivumisen hallinta. Kuten Capellassakin, nämä seikat johtuivat pääosin siitä, että tahtituotannon vaatimuksia ei voitu viedä hankinta- ja suunnitteluprosesseihin. Lisäksi huoneistojen jälkeen tahtiin lisättyjä osia, kuten IV-konehuonetta sekä yleisiä tiloja, ei suunniteltu tahtisuunnittelussa yhtä tarkasti kuin huoneistoja. Tekniikan asennukset tulisikin liittää tahtisuunnitteluun tarkemmin, jotta sisävaiheen läpimenoaika olisi paremmin hallittavissa. Samoin loppuvaiheen työt, kuten säädöt ja siivous tulisi sisällyttää tahtiaikatauluun. Toistuvien alueiden tahtia on turha nopeuttaa, jos kohteen kriittinen polku on toistuvien alueiden ulkopuolella.

Hankinta
Vaikka osa aliurakoitsijoista saatiin sitoutettua tahtituotantoon heti hankintavaiheessa, osa hankinnoista oli kuitenkin tehty jo ennen tuotannonsuunnittelua, jolloin tahtiohjauksen vaatimuksia ei pystytty täysin tarkastelemaan vielä hankintavaiheessa. Putkiurakoitsijan kohdalla resurssivaatimukset muuttuivat selkeästi tiukkaa tahtisuunnitelmaa toteutettaessa, mikä vaati toimittajalta huomattavaa määrää joustavuutta, kun tämä oli määritellyt omat työnsä tarkasti tietyillä resursseilla etukäteen jo tarjouspyynnön pohjalta. Lisäksi esimerkiksi maalausurakoitsijalla resurssit eivät alun perinkään olleet urakkaan riittävät, mihin osittain vaikutti myös töiden aloitus kesäloma-aikaan. Aliurakoitsijoiden kytkentä tahtituotantoon sekä erillisten urakoiden määritys tulisikin resurssien saatavuuden sekä logistiikan vaatimusten näkökulmasta kuvata jo hankintavaiheessa.

Edelliset työvaiheet
Kuten Capellassakin, myös Ardacahallenissa rungon kuivuminen muodostui sisävaiheen tahtituotannon pullonkaulaksi. Arcadahallenissa rungon kuivumisen hitauden syyksi tunnistettiin erityisesti betonin liian suuri vesi-sementtisuhde sekä erityisen lämmin ja kostea kesä. Huoneistojen lattioiden kuivumista jouduttiin odottamaan useita viikkoja, mikä materiaalien toimitusongelmien lisäksi viivästytti lattia- ja listoitustöitä huomattavasti. Toisaalta viivästys koski vain lattiatöitä ja listoitusta, ja odotusta voitiin osittain paikata siirtämällä lattiatöistä riippumattomat työt tehtäväksi aikaisemmin.

Vaikka runkovaihe pyrittiin alun perin ottamaan mukaan tahtituotantoon, se ei kuitenkaan tahtisuunnittelun myöhäisestä aloituksesta johtuen ollut mahdollista täysin mahdollista. Turhia varastointinostoja poistamalla runkovaiheen osittainen virtautus säästi läpimenoaikaa kuitenkin n. 12 päivällä, ja koko runkovaiheen tahdittamisella koettiin seuraavissa kohteissa olevan suuri potentiaali läpimenoajan lyhentämisessä.

Runkovaiheen virtautuksen suunnittelussa tunnistettiin kolme tärkeää oppia, jotka seuraavien hankkeiden rungon virtautusta suunnitellessa tulisi ottaa huomioon:

- Runkotöiden virtauksen parantaminen vaatii tiivistä yhteistyötä elementtitoimittajan kanssa. Esimerkiksi asennusaikojen lyhentäminen asennuksen resurssien lisäämisellä ei hyödytä, mikäli toimituksia ei ole tahdistettu asennusten kanssa. Virtautus ei

kuitenkaan elementtitehtaiden resurssipulan vuoksi ole tällä hetkellä kaikissa tapauksissa edes mahdollista.

- Ensisijaisena kehitysehdotuksena esitetään runkotöiden lohkotusta useampaan osaan sekä pienempiä eräkokoja. Tämä lisäisi läpimenoajan luotettavuutta sekä voisi lyhentää kokonaisläpimenoaikaa, mikäli virtautus on suunniteltu myös elementtitoimittajan kanssa. Kokonaisläpimenoajan lyhennys johtuu elementtiasennuksen ja paikallavaluryhmien välisen puskurin vähentämisestä. Tällä hetkellä kerralla asennettavat alueet ovat liian suuria, jolloin tehtävien välille tulee pitkä aikapuskuri.
- Runkotöiden virtautuksella on myös potentiaalia edesauttaa sisävaiheen tahtituotannon aloitusta sekä poistaa kuivumisajoista aiheutuvia esteitä.

Johtamisen työkalut

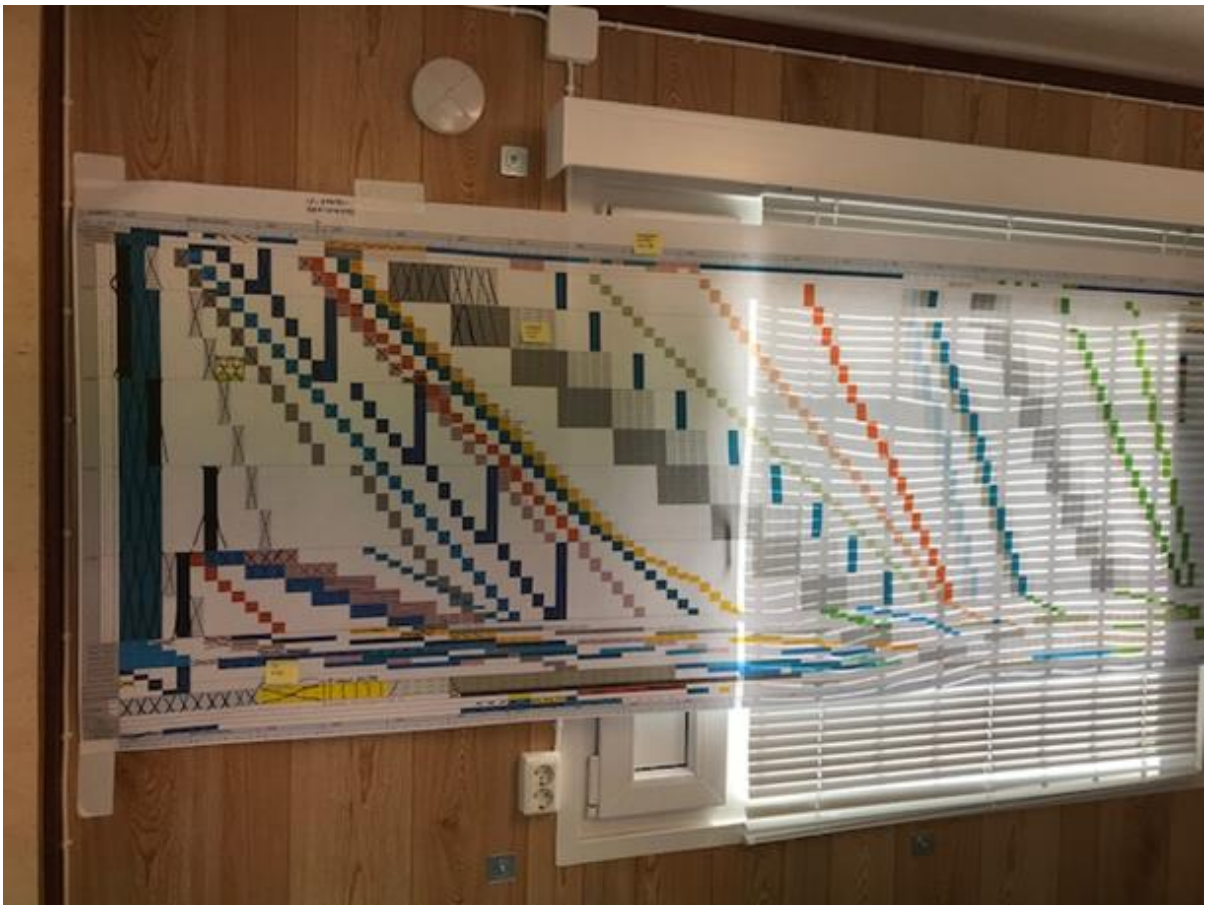
Ardacahallenissa tahtisuunnittelu toteutettiin perinteisten työkalujen, kuten Excelin sekä fyysisten aikataululakanoiden muodossa. Tuotannon suunnittelussa ja ohjauksessa käytettiin tarkoituksenmukaisesti yksinkertaisinta mahdollista teknologiaa, jonka koettiin siirtävän fokus oikeisiin päivittäisjohtamisen keskusteluihin uuden teknologian implementoinnin sijasta. Manuaalinen ohjaus koettiinkin hyväksi tavaksi harjoitella tahtia pilottikohteessa. Tahdin luoma sosiaalinen paine auttoi kommunikointia ja sai aikaan halun suorittaa omat työt mahdollisimman hyvin.

<u>Tahtituotannon ohjaukseen liittyvät opit</u>

Arcadahallenissa tehokkaasti valmisteltu ja toteutettu päivittäisjohtaminen auttoi motivoimaan urakoitsijoita tahtituotantoon hankkeen aikana samalla, kun tahtituotannon hyödyt realisoituivat käytännössä. Aikataulua käsiteltiin joka aamu päivittäisjohtamisen palaverissa (kuva 8), jossa vastaava mestari, valvoja sekä aliurakoitsijat merkitsivät aloitetut ja valmistuneet tahtialueet samalla poikkeamista keskustellen.

Aliurakoiden johtaminen

Aliurakoitsijoiden johtamisen näkökulmasta suurimmat haasteet syntyivät urakoitsijoiden motivoinnista tahtituotannon vaatimuksiin. Tämä muodostui haasteeksi erityisesti työvaiheissa, joissa urakkasopimus oli jo laadittu ennen tuotannonsuunnitteluvaihetta. Vaikka aliurakoitsijat kokivat tahtisuunnitelmaan sitotumisen tarjonneen parempaa läpinäkyvyyttä sekä tuotannon ennakoitavuutta, vaatii se aliurakoitsijalta myös vastavuoroisesti esimerkiksi kärsivällisyyttä pysyä työmaalla tilanteissa, joissa tahtituotannossa syntyy taukoja (esimerkiksi aikaisemmin mainituissa lattia- ja listoitustöissä).



Kuva 8 Päivittäisjohtamisen aamupalaveri

Logistiikka

Logistiikassa ja materiaalinhallinnassa havaittiin samoja haasteita kuin Capellassa: selkeät logistiikkasuunnitelmat sekä materiaalin varastoinnin hallinta puuttuivat ennen sisävaiheen aloitusta, mikä aiheutti materiaalien turhaa siirtelyä niiden ollessa tiellä tai väärässä paikassa. Materiaalitoimitusten pelisäännöt, sitoutuminen ja poikkeamien hallinta tulisi suunnitella jo ennen sisävaihetta, eikä jättää ongelmia ratkaistavaksi tilanteeseen, jossa häiriö on jo syntynyt. Erityisesti tavaran varastointi sekä päivittäistasolla toteutettavat materiaalisiirrot vaativat huomattavasti enemmän yhteistoiminnallista suunnittelua kuin mihin normaalissa tuotannossa on totuttu. Tämä vaatii entistä parempaa sitoutumista myös aliurakoitsijoilta sekä materiaalintoimittajilta. Vaikka reaktiivisesti toteutettu logistiikkasuunnittelu ei väljemmin ohjatussa tuotannossa aiheuta suuria näkyviä ongelmia, tiukasti kontrolloidussa tahtituotannossa syntyvä hukka nousee huomattavasti helpommin esiin.

Yhteenveto

Esitetyistä haasteista huolimatta myös Arcadahallenin tahtituotantopilotin koettiin onnistuneen kiitettävästi. Sisävaiheen alkupuolen haasteiden jälkeen tahtituotanto saatiin toimimaan tehokkaasti. Onnistumista auttoivat tehokas päivittäisjohtaminen ja tahdin ohjaamiseen panostaminen. Tämä auttoi sitouttamaan myös aliurakoitsijoita tahtituotannon vaatimuksiin. Sisävaiheen loppupuolella osapuolet olivatkin pääosin sitä mieltä, että haasteistaan huolimatta

tahtituotannolla on suuri potentiaali parantaa tuottavuutta kuormittamatta yhtään perinteistä mallia enempää.

3.3 Hankkeiden vertailu ja kehitysehdotukset

Tahtituotannon vaikutukset molempiin hankkeisiin olivat hyvin samansuuntaisia: samalla kun läpimenoaikaa pystyttiin lyhentämään, laatu sekä pilotin vaatimat resurssit pysyivät jotakuinkin samoina (taulukko 1). Laadun parantamisessa on jatkossa selkeä potentiaali, kunhan sisäisiä esteitä poistamalla esimerkiksi huoneiden yksittäisluovutukset saadaan tahtituotannon vaatimalle tasolle. Samoin potentiaali pienentää kustannuksia korostuu tahtituotannon hyötyjen viemisellä valmisteleviin työvaiheisiin, kun esimerkiksi aliurakat voidaan hinnoitella tahtituotannon mukaisesti. Läpimenoajan lyhentyessä myös aikasidonnaiset kustannukset luonnollisesti pienenevät ja projektien vaatima tuki on suurimmillaan pilotointivaiheessa. Myös läpimenoajan tuomat epäsuorat kustannussäästöt pitkällä aikavälillä ovat merkittävät (esim. pääoman ja työvoiman lyhyempi sitoutuminen, parempi tuotto omalle pääomalle), mutta näitä kustannussäästöjä on pelkästään pilottien perusteella vaikea arvioida.

Taulukko 1 tahtituotannon vaikutus hankkeisiin

	Capella	Ardacahallen
Tahdin vaikutus läpimenoaikaan	Lyhensi huomattavasti	Lyhensi jonkin verran
Tahdin vaikutus kustannuksiin	Ei merkittävää vaikutusta	Ei merkittävää vaikutusta
Tahdin vaikutus laatuun	Paransi hieman	Paransi hieman
Tahdin vaikutus työturvallisuuteen	Ei merkittävää vaikutusta	Ei merkittävää vaikutusta

Tahtituotannon suunnitteluun ja valmisteluun liittyvät kehitysehdotukset

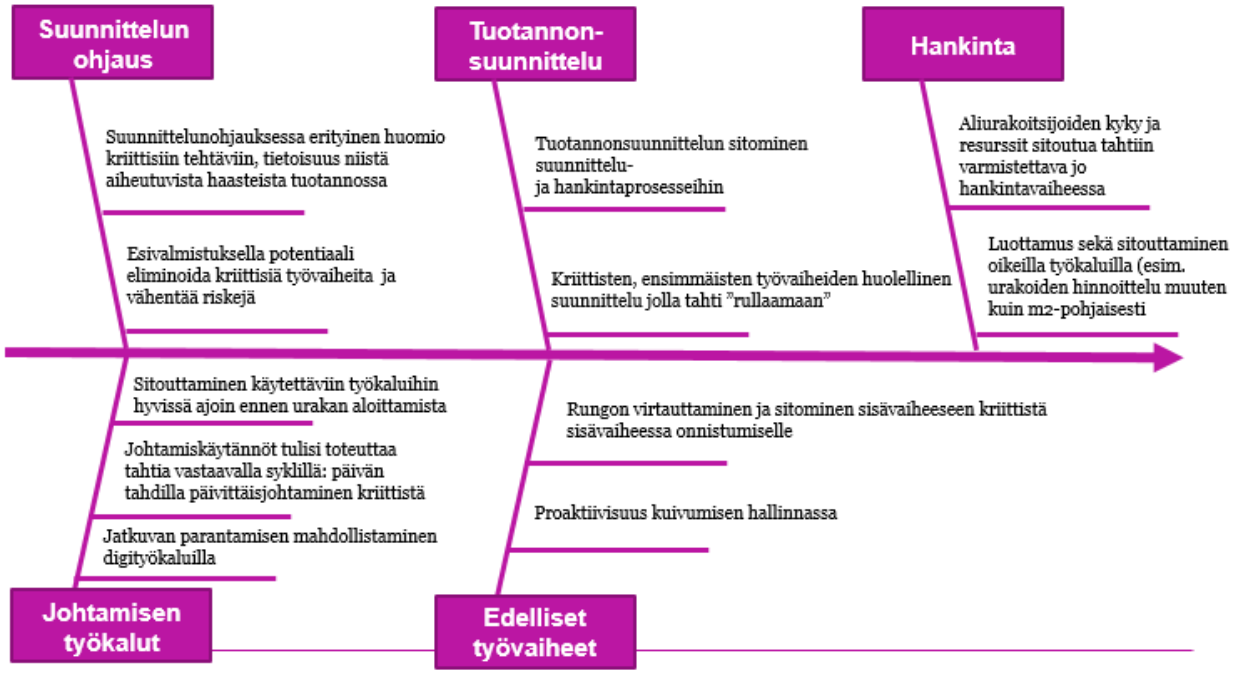
Erityisesti rungon kuivuminen osoittautui pullonkaulaksi molemmissa hankkeissa, johon toisaalta vaikutti myös epätavallisen kuuma ja kostea kesä. Pilottikohteissa tahtituotannolla läpimenoaikaa saatiin lyhennettyä merkittävästi, mutta tavoiteltaessa läpimenoajan puolittamista merkittävimmäksi esteeksi muodostuu juuri rungon kuivuminen. Sisävaiheen läpimenoajan minimoiminen edellyttää siis runkovaiheen suunnittelun yhdistämistä sisävaiheen tuotannonsuunnitteluun sekä huolellisesti laadittua ja toteutettua kuivumisen hallintaa.

Pelkkien riskiratkaisuiden eliminoimisen lisäksi suunnittelunohjauksen tulisi työstää tehokkaampia ratkaisuja proaktiivisesti tuotannonsuunnittelusta vastaavien henkilöiden kanssa. Esimerkiksi esivalmistus ja erityisesti modulaariset kylpyhuoneratkaisut nähtiin potentiaalisena mahdollisuutena pienentää riskejä ja samalla parantaa sisävaiheen virtaavuutta (kts myös Chauhan ym. 2018).

Tuotannonsuunnittelulle tulisi varmistaa riittävästi resursseja ja aikaa, jotta huolellinen, työvaihekohtainen ennakkosuunnittelu olisi mahdollista. Samalla tuotannonsuunnittelu tulisi tehdä tiiviissä yhteistyössä muiden tukitoimien, työmaahenkilöstön sekä aliurakoitsijoiden kanssa.

Vaikka aliurakoitsijat näkivät tahtituotannon pääasiassa positiivisena asiana, ei heillä ensimmäisissä kohteissa ollut vielä kykyä arvioida omia resurssejaan toteuttaa tahtituotantoa. Aliurakoitsijan valmiudet sitoutua tahtituotantoon tulisikin varmistaa jo hankintavaiheessa, samalla pitäen hankinta- ja tuotannonsuunnitteluvaihe läpinäkyvänä ja kaikkia osapuolia hyödyttävänä prosessina. Tahtituotanto tarjoaa suurta etua myös aliurakoitsijoille, kunhan nämä hyödyt tuodaan kaikille osapuolille selvästi esille. Tahtituotanto muuttaa tuotantotyyliä verrattuna totuttuun tapaan huomattavasti. Tahdissa keskeistä on kyky sitoutua sovittuihin päiväaikatauluihin ja tämä voi tuntua alussa epämukavalta verrattuna normaalitilanteeseen, jossa tarkastellaan lähinnä etenemistä suhteessa sopimukseen kirjattuihin välitavoitteisiin.

Tahtituotannon suunnitteluun ja valmisteluun liittyvien kehitysehdotusten koonti on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9 Tahtituotannon suunnitteluun ja valmisteluun liittyvien kehitysehdotusten koonti

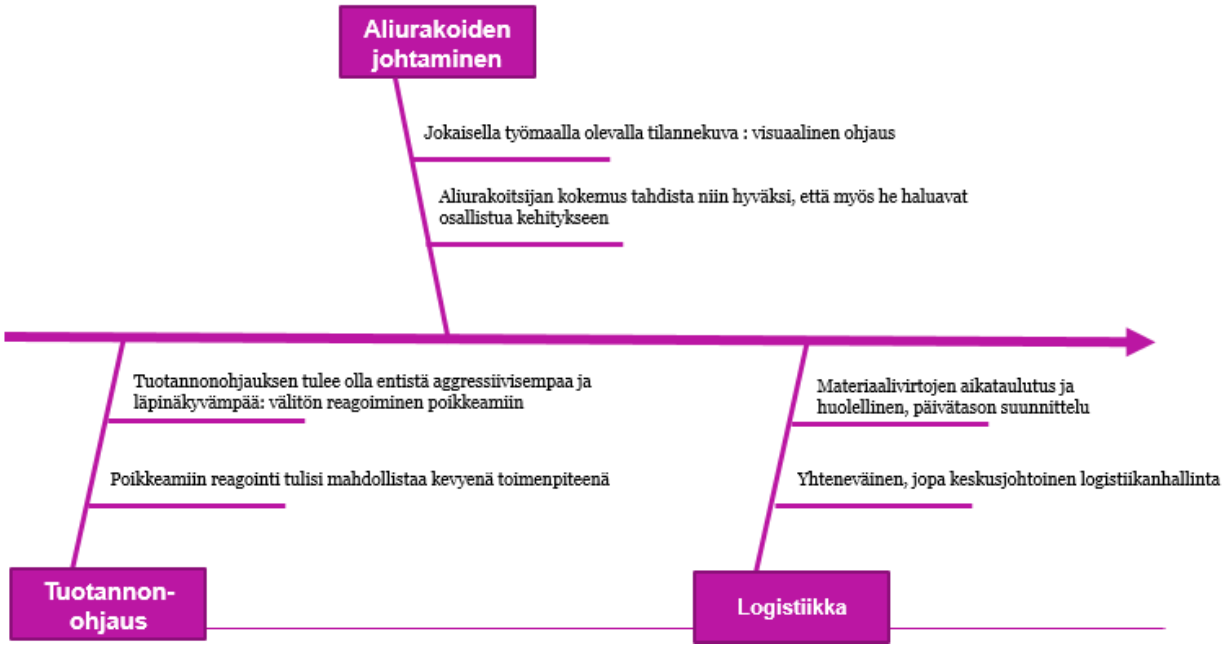
Tahtituotannon ohjaukseen liittyvät kehitysehdotukset

Digitaalisten työkalujen hyödyntäminen tahdin toteutusvaiheessa jakoi mielipiteitä. Yksinkertaisimpien mahdollisten työkalujen, kuten Excelin ja paperin, hyödyntäminen edesauttoi visuaalista johtamista työmaalla sekä siirsi fokuksen keskusteluun oikeista päivittäisjohtamisen asioista. Aikataulujen suunnitteluun ja ohjaukseen liittyvät ohjelmistot eivät vielä tue tahtia, mikä tekee niiden hyödyntämisestä huomattavasti Exceliä työläämpää. Toisaalta digitaalisen työkalujen käyttöönottoon liittyvistä haasteista huolimatta niiden potentiaali pitkällä aikavälillä

tunnistettiin. Toteutusvaiheessa manuaaliset työkalut tarjosivat suoraviivaisemman tavan lähestyä tahtituotantoa, mutta tehokkaan datan hyödyntämisen ja tiedolla johtamisen mahdollistamiseksi digitaalisia johtamistyökaluja tulisi pitkällä aikavälillä ottaa käyttöön. Tämä vaatii ohjelmistokehittäjien kouluttautumista tahtiin.

Sekä Capellassa että Arcadahallenissa havaittiin, että logistiikan ja materiaalivirtojen paremmalla hallinnalla on suuri potentiaali hukan pienentämisessä. Työmaan sisäisten materiaalivirtojen hallinnan sekä hankinnan yhteispelin tulisi ylettyä päivätason suunnitelmiin, jossa edellytykset tahtien etenemiselle on varmistettu. Kehitysehdotuksena materiaalivirtojen voitaisiin mahdollisesti siirtää aliurakoitsijoilta keskusjohtoiseksi, jossa aliurakoitsijoista erillinen toimija huolehtii logistiikan yhteensovittamisesta. Tämän löydöksen vuoksi konsortio päättikin aloittaa logistiikan kehittämiseen liittyvät tutkimushankkeen.

Tahtituotannon ohjaukseen liittyvien kehitysehdotusten koonti on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10 Tahtituotannon ohjaukseen liittyvät kehitysehdotukset

Yhteenvetona tahti todettiin hyvin soveltuvaksi asuntokohteiden sisävalmistuksen suunnitteluun ja ohjaukseen. Runkovaiheessa menetelmää ei näissä piloteissa varsinaisesti testattu, mutta tahti soveltunee hyvin siihenkin. Piloteissa tahtituotanto lyhensi läpimenoaikaa ja osittain selkeytti toimintaa, mutta samalla haastoi työnjohtoa ja aliurakoitsijoita toimimaan täysin uudella tuotantomallilla. Runsaasti kehitettävää löytyi tuleviin hankkeisiin. Onkin mielenkiintoista, että aiemmissa tutkimuksissa ei ole kiinnitetty huomiota tahtituotannon haasteisiin. Esimerkiksi suuri määrä tuotannon valmisteluun liittyviä ulkoisia esteitä vaikeutti tahdin toteuttamista sisävaiheessa. Tahtituotantoa voidaan huomattavasti tehostaa systemaattisesti poistamalla löydettyjä esteitä. Tämä vaatii erityisesti suunnittelunohjauksen, hankinnan sekä tuotannonsuunnittelun tiivistä yhteistyötä. Ratkaisuja ei pitäisi tarkastella pelkästään näkyvien,

vaan myös epäsuorien, tuotantoon negatiivisesti vaikuttavien kustannusten kautta. Ulkoisten esteiden poistamisen sekä virtauksen toimivaksi saamisen jälkeen voidaan tahtituotannossa keskittyä tahdiin ohjaamiseen tarvittavien resurssien ja puskureiden vähentämiseen. Näin tuottavuutta voidaan edelleen parantaa. Tahti tarjoaakin huomattavasti potentiaalia jatkuvaan kehittämiseen. Tuloksien voidaan odottaa parantuvan hanke hankkeelta jatkuvan kehityksen käynnistyttyä.

4 Kalifornian työmaat

Hanke rahoitti kahden konsortioon kuuluvan yrityksen diplomityöntekijän matkat Kaliforniaan San Franciscon lahden alueelle. Matkalla tutustuttiin DPR Construction Inc. nimisen rakennusalan yrityksen toimintaan ja alan asiantuntijoiden näkemyksiin tahtituotannosta. Havainnointia ja haastatteluita suoritettiin yhteensä kahden viikon aikana kahdella työmaalla.

4.1 Työmaa 1

Ensimmäinen työmaa oli suuren yhdysvaltalaisen lääketeollisuuden yrityksen toimitilahanke, jossa rakennetaan tutkimus-, laboratorio- ja toimistotiloja (kuva 11). Kohde sijaitsee eteläisessä San Franciscossa teollisuusalueen kupeessa. Kohde on arvoltaan noin $ 300 miljoonaa ja sen alkuperäinen rakennusaika oli 36 kk. Tahtituotannon ja tarkan ennakkosuunnittelun jälkeen rakennusajaksi arvioitiin 24 kk. Runkovaihe oli suunniteltu siten, että rakennuksen osa, jossa oli lyhin runkovaihe tehtiin ensin, jotta sisävaihe voitiin aloittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa (Hossin sääntö). Sisävaihe itsessään saatiin supistettua alkuperäisestä 24 kuukaudesta 18 kuukauteen. Vierailun aikana projektilla tehtiin osissa kerroksia jo viimeistelytöitä.

Kuva 11 Työmaa numero yksi

Työmaalla käytettiin tahtituotantoa kaikissa rakennusvaiheissa. Tahtituotannon suunnittelu oli saatu työmaalla valmiiksi ja loppuviimeistelyiden ja luovutusvaiheen aikataulutus oli hienosäätövaiheessa. Työmaalla tehtiin pääsääntöisesti sisä -ja viimeistelyvaiheen töitä.

Työmaalla käytettiin viiden päivän tahtia, joka oli sovittu yhteisesti kaikkien yhteistyökumppaneiden kanssa. Tahti ei perustunut suoraan laskelmiin. Lähtökohtana viiden päivän tahdissa oli se, että työt mitoitettiin sen pituiseksi, että ne saataisiin neljässä päivässä valmiiksi. Tällöin vastaanottokatselmus pidettäisiin torstaina ja perjantai sekä viikonloppu jäisivät tarvittaessa puskuriksi. Viiden päivän eli kokonaisen työviikon pituinen tahti koettiin rutiininomaiseksi ja vastaanottokatselmuksien ajoittaminen to-pe akselille koettiin toimivaksi.

Tahtisuunnitelma oli suunniteltu yhdessä aliurakoitsijoiden kanssa käyttäen edellä kuvattua Kalifornian mallia. Tahtialueet muodostuivat lopulta erimuotoisiksi ja hieman eri kokoisiksi. Pullonkaulaksi osoittautuivat usealla alueella talotekniset asennukset ja niiden määrä alakaton

yläpuolella. Taloteknisten asennusten suurta määrää oltiin saatu jo supistettua esivalmistamalla talotekniikkaa. Esivalmistus ja siihen panostaminen oli myös tilaajan intresseissä ja urakkasopimuksessa pyrittiinkin lähtökohtaisesti siihen, että 60% kaikista asennuksista ja rakentamisesta perustuisi esivalmistukseen. Tällä nähtiin olevan positiivisia vaikutuksia tahtituotannon toteutukseen.

Tahtiaikataulu koostui tahdeista eli vaunuista, jotka sisälsivät useita työtehtäviä. Itse aikatauluun on merkittynä vain vaunu, esimerkiksi ”viimeistely”. Koska vaunuja oli useita, ne oli numeroitu. Aikataulu saatiin esitettyä helpommin ja lyhyemmin näiden vaunujen avulla. Tahtiaikataulun lisäksi oli tehty vaunulista, jossa kuvattiin yksityiskohtaisesti, mitä työtehtäviä vaunut pitävät sisällään. “Kaksiosaisen” aikataulun hyöty on siinä, että kun tapahtuu muutoksia tai ongelmakohtia, jotka viivästyttävät joitain töitä, voi työjärjestystä vielä muuttaa vaunun sisällä. Itse aikataulua ei tarvitse muuttaa, jolloin mennään koko ajan eteenpäin alkuperäisen aikataulun mukaisesti vaikka muutoksia ja ongelmia tulee eteen. Työtehtävien järjestystä katsottiin läpi urakoitsijapalaverissa ja tarvittavista muutoksista sovittiin siellä. Palaverin jälkeen kaikille osallisille toimitettiin päivitetty vaunulista.

Työmaa jaettiin vielä neljään eri junaan, joilla oli tahtialueita 3-4 kerroksessa. Pystysuuntaiset työt kuten portaat ja tekniikkakuilut jätettiin tahtialueiden ulkopuolelle. Jokaista junaa ohjasi pääurakoitsijan työnjohtaja. Neljälle junalle jaettu työmaa tarkoitti sitä, että neljässä eri osalohkossa tehtiin yhtäaikaisesti alusta loppuun valmista pintaa. Neljälle junalle jaettu työmaa mahdollisti yksittäisten urakoitsijoiden työntekijöiden resurssien lisäämisen verrattuna normaaliin yhden junan tahtituotantoon. Tämä mahdollisti myös junasta toiseen siirtymisen vaunujen välillä tilanteissa, joissa jokin junista kohtasi haasteita tai meinasi jäädä aikataulusta. Hyppiminen junasta toiseen koettiin toisaalta myös haasteena silloin kun se, joka koviten huutaa sai tahtonsa läpi. Haastatteluissa tosin tuli esille, että useamman junan käyttö tuo vaikeuksia tahdissa pysymiseen. Useamman junan käyttö nähtiin työmaalla vain tapana kiirehtiä aikataulua. Aikataulun kiirehtiminen useammalla junalla lisäsi tarvetta tarkemmalle riskienhallinnalle.

Tuotannon etenemistä valvottiin päivittäisillä aamupalavereilla, joissa käytiin junan työnjohtajan johdolla läpi vaunujen edustamien työvaiheiden päivän tavoitteet ja mahdolliset ongelmakohdat sekä haasteet. Työmaalla oli myös jokaisella tahtialueella näkyvillä kyseiselle aluekokonaisuudelle tehty tahtiaikataulu sekä työvaiheiden sisällöt työmaataululla, joka on nähtävissä kuvassa 12. Aliurakoitsijan haastattelussa tuli esille, että tahtiaikataulun esittäminen kaikkien nähtäville edesauttaa kaikkia ymmärtämään tahtia. Kaikki työntekijät voivat helposti seurata tahtia ja osaltaan noudattaa aikataulua.

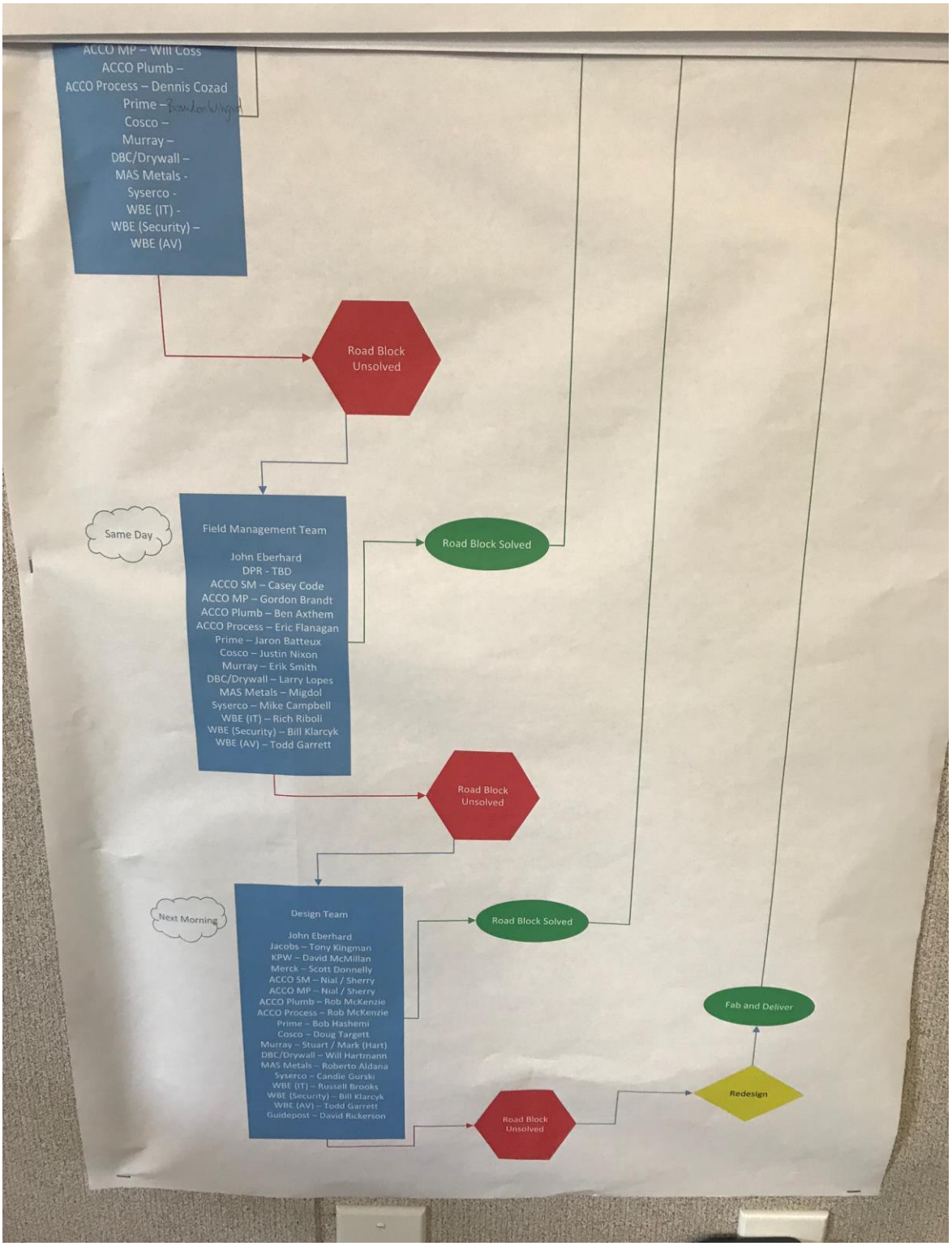
Kuva 12 Tahtialueen infotaulu

Tuotantoa valvottiin kokonaisuutena keskiviikkoisin järjestetyssä urakoitsijapalaverissa. Urakoitsijapalavereissa mukana olivat pääurakoitsijan edustajina työmaapäällikkö, projekti-insinöörit ja työnjohtajat. Urakoitsijoiden edustajina olivat työvaiheiden nokkamiehet/työnjohtajat, jotka olivat olleet mukana myös tahdin suunnittelussa. Urakoitsijapalaverissa käytiin läpi tuotannon etenemistä työmaapäällikön johdolla. Tuotannon etenemistä käytiin läpi juna kerrallaan alimmista kerroksista ylöspäin tahtialue ja työvaihe kerrallaan. Fokuksena olivat kyseisen viikon ja seuraavan viikon työt. Eteneminen oli hyvin loogista ja jokaisen työvaiheen edustaja sai puheenvuoron monta kertaa palaverin aikana. Positiivisena huomiona nähtiin myös puheenvuorojen täsmällisyys liittyen juuri sillä hetkellä käsillä olevan tahtialueen tapahtumiin. Työmaapäällikkö kommentoi, että harvemmin ehtii vajaassa puolessatoista tunnissa käymään koko talon työt läpi, mutta tällainen käytäntö antaa siihen mahdollisuuden. Palaverin aikana esille nousseiden haasteiden ratkaisu aloitettiin heti palaverin jälkeen. Ratkaistavaan haasteeseen liittyvät osapuolet kasattiin yhteen palaverin aikana, ja asian ratkaisu alkoi heti palaverin jälkeen. Palaverissa myös selkeästi nimettiin osapuolet, joiden täytyy ratkaista ongelma.

Tahtivalvonnassa oli käytössä ongelmanratkaisumalli, joka on esitetty kuvassa 13. Malli oli kaikkien projektiorganisaation edustajien kesken sovittu ja kaikki osalliset olivat siihen

sitoutuneet. Mikäli ongelma esiintyy, se tulisi ensisijaisesti ratkaista työmaalla. Mikäli ongelma ei ratkea, selvitetään saman päivän aikana ongelma aliurakoitsijoiden ja pääurakoitsijoiden työnjohtajien kesken. Jos ei silloinkaan saada ongelmaa ratkaistua, niin viimeistään seuraavana aamuna tulee olla suunnittelijoiden ja työmaan kesken ratkaistu ongelma. Jos ongelmaa ei saatu työmaalla selvitettyä, kyseinen asia piti suunnitella uudestaan ja laittaa tuotantoon. Työmaatoimistossa oli käytössä Big Room, johon osallistuivat päivittäin kaikki projektiin osallistujat kuten tilaaja, pääurakoitsija, aliurakoitsijat ja suunnittelijat. Tämä helpotti ongelmanratkaisumallin käyttöä ja nopeutti suunnitteluun liittyvien kysymysten vastausta. Big Room käytäntö myös lisäsi projektin osapuolten yhteistyötä.

Tuotannonohjaukseen oli käytössä myös useampia työkaluja. Projektissa oli käytössä eräänlainen tahtiaikataulu materiaalien toimituksille, jolla ennakoitiin ja varmistettiin, että tarvittavat tavarat ovat työmaalla kun asennukset alkavat. Työmaalla oli kokeilussa Doxel yrityksen valmistama robotti, joka skannasi työmaalla valmistuvia taloteknisiä asennuksia. Doxel toimitti skannauksesta raportin, jossa kävi ilmi tietyn tahtialueen toteutumisprosentti. Robottia käytettiin yhdessä BIM-mallin kanssa ja se tarkasti mallin avulla, oliko asennus tehty oikein.



Kuva 13 Ongelmanratkaisumalli

4.2 Työmaa 2

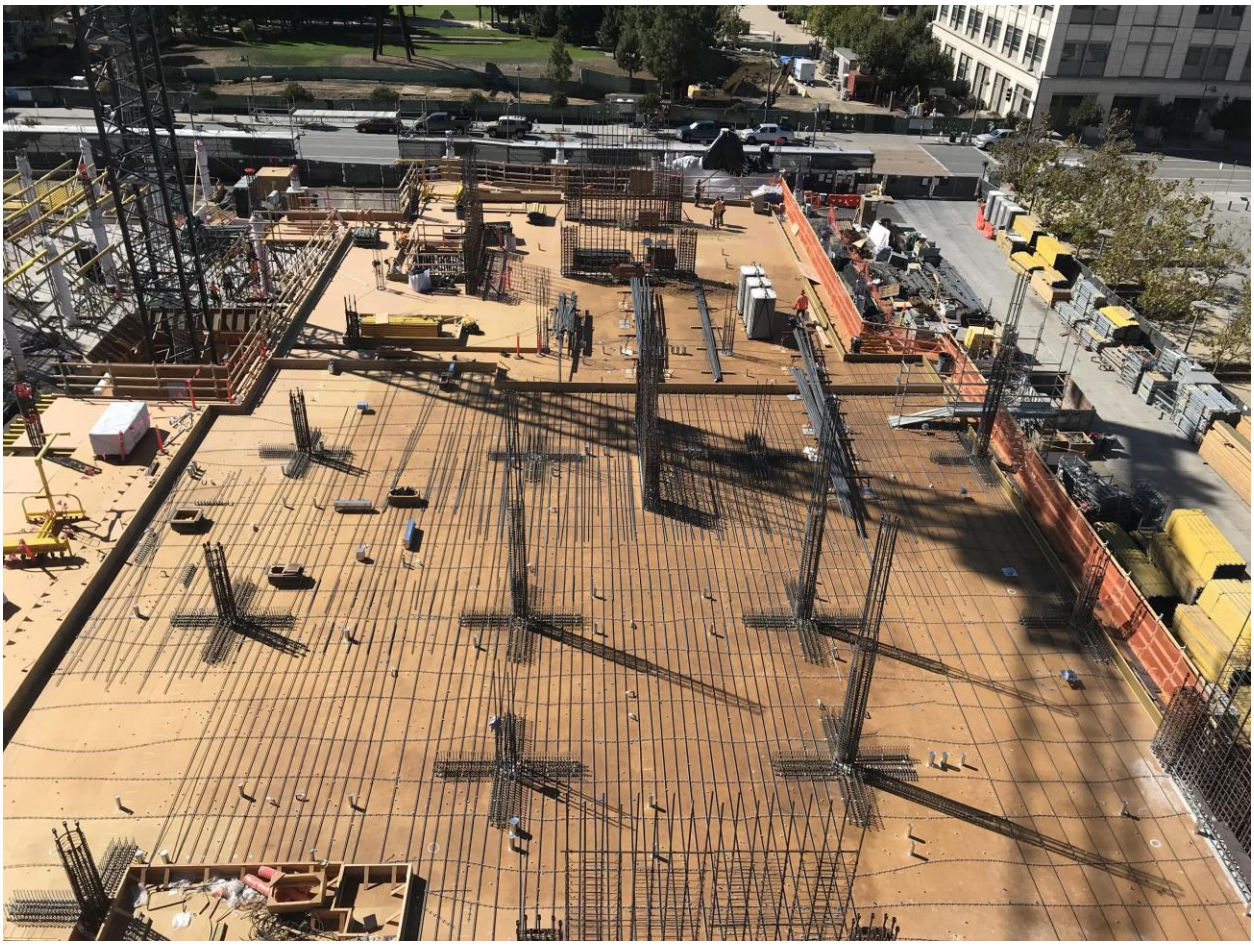
Toinen tarkasteltava työmaa oli UCSF (University of California San Francisco) yliopistollisen sairaalan laboratorio ja tutkimuslaitos, joka oli osa UCSF:n kehityshanketta San Franciscon Mission Bay alueella (kuva 14). Projektin toteutusmuoto on Integrated Project Delivery eli integroitu projektitoimitus. Pinta-alaltaan rakennus on noin 25 000 m2 ja rakentaminen on aloitettu syksyllä 2018 ja tarkoitus valmistua keväällä 2020.

Haasteena oli jo aluksi tiukka aikataulu, jota jouduttiin miettimään tahtisuunnittelussa ja tahtiajan määrittämisessä. Projektissa lähdettiin 5 päivän tahdilla runkovaiheeseen, mutta todettiin, että sillä menee työt aikataulullisesti liian pitkäksi. Tämän jälkeen lähdettiin hakemaan optimaalisinta tahtiaikaa ja lopuksi päästiin hybridimalliin, jossa ensimmäinen kerros tehdään 5 päivän tahdilla ja ylemmät kerrokset 4 päivän tahdilla. Tahtialueet määriteltiin valujen suhteen, jotka olivat kriittisimpiä töitä ja näin ollen myös pullonkaula. Työmaalla keskusteltiin myös siitä, että runkovaihe itsessään menee jo luonnollisesti joten kuten tahdissa.

Sisävaiheen suunnitelmat olivat puutteelliset ja muuttuivat kesken kaiken, mikä johti tuotannon uudelleen suunnitteluun. Tämä äkkiseltään vaikutti suomalaisin silmin normaalilta toiminnalta rakennusprojektissa. Toisaalta olimme työmaalla tilanteessa, jossa runkotyöt olivat vasta alkaneet ja sisävaiheen työt alkoivat vasta keväällä 2019, joten meidän on vaikea ottaa tarkempaa kantaa asiaan. DPR:llä kuitenkin pyrittiin siihen, että sisävaiheen tuotantosuunnitelma saataisiin aloitettua 6 kk ennen töiden aloitusta, ja että se tulisi olla tehtynä viimeistään 3 kk ennen töiden aloitusta. Todennäköisesti ero johtui siitä, että talotekniikka esivalmistetaan, joten ajoitukset on tiedettävä hyvissä ajoin etukäteen ja myös suunnitelmien pitää olla yhteesovitetut hyvissä ajoin ennen asennusta.

Lean -ja tahtikoulutusta sekä työpajoja pidettiin yhteistyökumppaneille työmaan aikana ennakkoluulojen pois kitkemiseksi ja positiivisen asenteen nostamiseksi. Koulutuksissa oli mukana myös nuoria toimihenkilöitä niin kouluttamassa kuin myös kouluttautumassa. Tahtituotantoa käytettäessä nuorien toimihenkilöiden perehtyneisyys ja ymmärrys rakentamisen prosessista karttuu työmaan mukaan merkittävästi.

Projektin sisäisessä palaverissa tuli esille, että aliurakoitsijoille oli epäselvää, mitä aikataulua tulee seurata. Alunperin hankkeelle oli tehty yleisaikataulu, jonka jälkeen myös tahtiaikataulu. Useampi aikataulu aiheutti siis sekaannusta ja palaverissa huomautettiinkin, että työmaan tulee seurata tahtiaikataulua.



Kuva 14 Työmaa numero 2

4.3 Hankkeiden vertailu

Hankkeet olivat kummatkin terveysalaan liittyviä rakennuksia, joihin on tulossa tutkimustiloja. Suoranaista vertailua kohteiden tahtituotannosta on hankalaa tehdä, sillä projektit ovat eri vaiheissa. Tutkimusajankohtana toisessa projektissa oli menossa sisävalmistusvaihe ja toisessa runkovaihe. Kummassakin projektissa oli havaittavissa Lean-ajattelun tärkeys ja perusta tekemiseen. Lean-ajattelu on siis yritykselle tärkeää ja helpottaa tahtituotannon käyttöönottoa. DPR:n henkilökunta on kummassakin projektissa pääsääntöisesti ensikertalaisia tahtituotannon suhteen. Kokemusta ei tahtituotannosta ollut aiemmista projekteista ja joillekin nuorille työntekijöille tahtia oli sivuttu koulussa.

Tahtisuunnittelussa oli havaittavissa samoja piirteitä kummassakin projektissa. Tämä johtuu siitä, että Lean-filosofiaan ja tahtiajatteluun tarkemmin vihkiytyneet henkilöt kiersivät molemmissa projekteissa tukemassa ja auttamassa tahtituotannon kanssa. Työmaa 2 DPR:n työntekijä kävikin vierailun aika Työmaa 1:lla hakemassa oppia ja kehitystä toimintatapoihin

omalle työmaalleen. Yhteistyötä tehdään siis eri projektien kesken ja oppimisessa tuetaan toisia hankkeita, jolloin saadaan käytännön ongelmiin vinkkejä edellisiltä työmailta.

Näissä kahdessa projektissa oli hyvin samanlaiset tahtiaikataulut. Kummassakin käytettiin aikataulua ja erillistä vaunulistaa kertomaan tahdin tarkemmat työtehtävät. Tahtituotannon ajattelumalli oli hankkeissa hyvin samanlainen. Voidaankin todeta, että yrityksessä on todennäköisesti jokin yhtenäinen tahtituotannon prosessi. Projektin osalliset hienosäätävät kuitenkin yksittäisen projektin tahtituontantomallin henkilöstölle sopivaksi.

Tahtivalvonnan suhteen urakoitsijapalaverikäytäntö oli erilainen projekteissa, mutta sama lähestymistapa ei olisi sopinutkaan runkovaiheessa olevalle työmaalle. Siellä töitä ei vielä ollut tehty kuin muutama viikko ja alueita ei ollut monta, eikä lähestymistapa olisi sen takia kyseiseen projektin vaiheeseen sopinut. Tahtivalvontaa ja suoritusta mitattiin kuitenkin molemmilla työmailla suunnitellun tuotannon toteumaprosenttilukeman avulla (PPC).

4.4 Havainnot, opit ja haasteet

Kalifornialaisesta prosessista voidaan oppia useita asioita, kun tahtia lähdetään Suomessa kehittämään eteenpäin. Erityisesti erikoisurakoitsijoiden osallistaminen suunnitteluun, päivittäisjohtamisen käytännöt sekä visuaalinen johtaminen olivat hankkeessa suomalaisia käytäntöjä pidemmällä. Lisäksi eri tyyppisten ongelmien ratkaisuun oli kehitetty systemaattinen prosessi, jossa myös tilaaja ja suunnittelijat olivat mukana. Tällaiset prosessit sopivat tietysti parhaiten allianssihankkeisiin mutta niistä voidaan ottaa oppia myös muihin urakkamuotoihin. Mielenkiintoista caseissa oli se, että kumpikaan hanke ei ollut erityisen toistuva ja DPR näki suurimman hyödyn nimenomaan haastavammissa hankkeissa.

Suurimmat erikoisurakoitsijat kuten LVISA-urakoitsijat tekivät oman detaljisuunnittelunsa ja myös esivalmistivat kuten esimerkiksi yritykset Acco Engineered Systems ja Southland Industries. Näillä suurimmilla erikoisurakoitsijoilla oli omaa kokemusta Lean-rakentamisen toimintatavoista yritystasolla, mutta haastatellut yksittäiset tekijät olivat ensimmäistä kertaa tahtityömaalla. Urakoitsijoiden nokkamiesten ja työnjohtajien rooli korostui tahtituontannon suunnittelussa.

Erikoisurakoitsijoiden edustajat näkivät tahtituotannon tuovan eniten hyötyä suurissa ja haastavissa kohteissa muun muassa tuotannon tasaisuuden, ennakoitavuuden, yhteistyön lisääntymisen ja läpinäkyvyyden vuoksi. Isoilla työmailla haasteeksi tuleva päällekkäinen tekeminen samalla työalueella saatiin kuriin tahtituotannon avulla, mikä edisti työntekijöiden tuottavuutta. Urakoitsijat totesivat aikataulun sisäistämisen olevan helpompaa ja samalla myös hankintatoimi helpottui, kun tiedettiin paremmin milloin mitäkin tavaraa tarvitaan milläkin alueella. Haasteeksi urakoitsijat mainitsivat työnaikaiset muutokset työvoiman määrässä, joka vaihteli riippuen työvaiheesta ja tahtialueesta, koska alueiden työmäärät eivät olleet samanlaiset. Samoin haasteita aiheuttivat “verkostomaiset” työvaiheet kuten palohälytin -ja

muut tekniset järjestelmät ja näiden “pilkkominen” tahtialueille. Osa taloteknisistä asennuksista tehdään järjestelmittäin eikä alueittain.

Suurimpina haasteina tahtituotannossa nykyisillä kokemuksilla kuvattiin ihmisten kanssa toimiminen, tuotantosuunnitelman suunnittelu toteutuskelpoiseksi, työn vaihtelun hallinta ja logistiikka. Näistä suurimpana haasteena pidettiin ihmisten kanssa toimimista ja ihmisten välistä vuorovaikutusta sekä yhteistoimintaa. Ihmisten johtaminen nousi suureen rooliin niin kovien kuin myös pehmeiden arvojen nojalla. Haastateltava totesikin, että: “*Se mitä työmaalla suvaitset niin siitä tulee standardi.”,* joka pätee hyvin rakennustyömaaolosuhteisiin. Ihmisten kanssa toimiminen jaettiin vielä kahteen osaan, jossa toinen oli työmaaolosuhteissa toiminen ja toinen taas tilaajatahon ja pääurakoitsijan välinen rajapinta.

Työn vaihtelun hallinta nähtiin haasteena varsinkin vaativissa hankkeissa, joissa samaa työtä tehdään eri laajuisena, eri materiaaleilla tai muuten eri tavalla soveltaen eri alueilla. Tähän haasteeseen ratkaisuksi nähtiin tahtialueiden suunnittelu aluksi “liian” isoksi. Suunnitelmien sekä tehtäväsuunnittelun tarkentuessa näitä alueita voidaan rajata pienemmiksi. Logistiikka nähtiin työmaalla haasteena siinä vaiheessa kun materiaalivirtaus ei pysynyt tuotannon virtauksen mukana, eli ongelma oli niin sanotusti positiivinen.

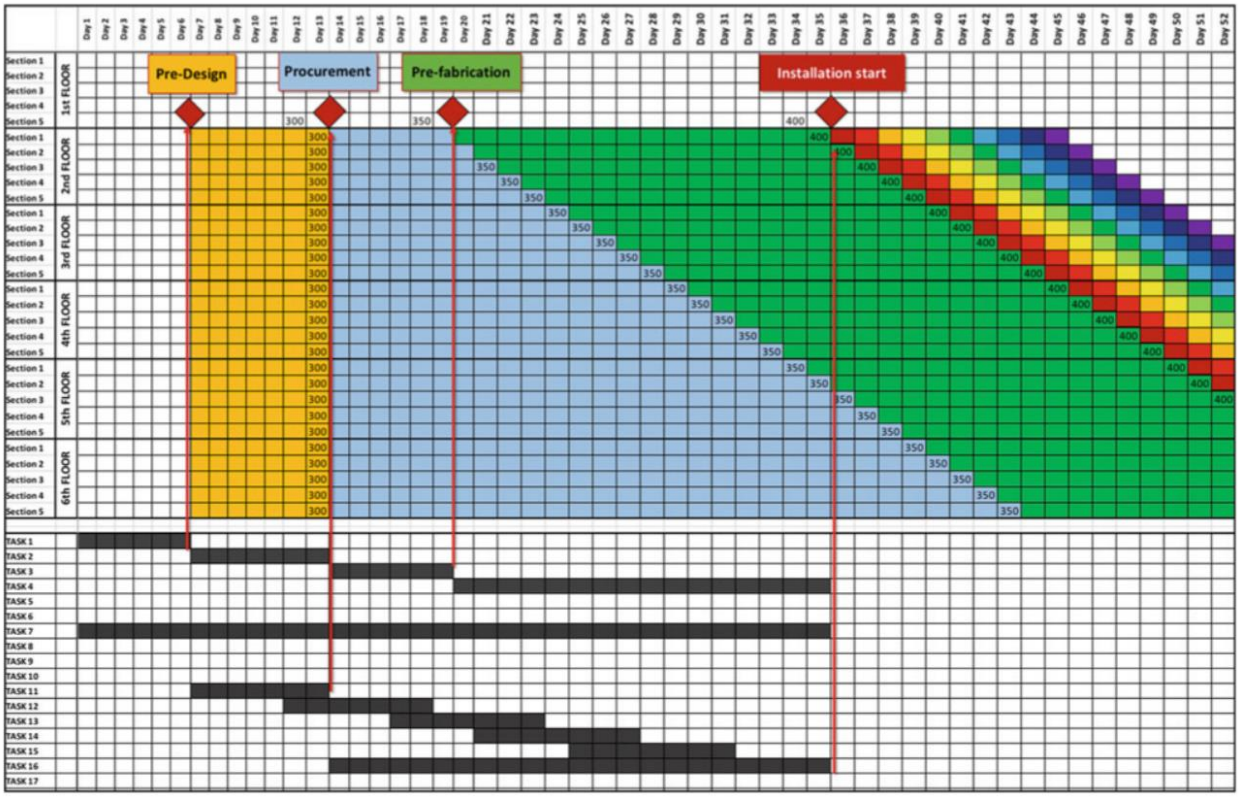
DPR:llä oli oma Lean Leadership koulutus, joka oli toiminut kokemusten mukaan erittäin hyvin. Lean-kulttuuri oli nähtävissä molemmilla työmailla. Koulutusohjelmasta on myös tehty artikkeli Orlandon 2018 LCI-päiville. Lean Leadership -koulutuksesta olisi syytä ottaa oppia myös Suomeen, koska siinä on kyse toimihenkilöiden kouluttamisesta lean-periaatteisiin isossa mittakaavassa. Koulutus on ennakkoedellytys koko kulttuurin muutokselle.

5. Tahti suunnittelussa

5.1 Tahtiin pohjautuva suunnittelunohjausprosessi

Yksi hankkeen tutkimuskysymyksistä koski suunnittelunohjauksen linkittämistä tuotannon tahtiin. Hankkeen aikana työryhmätyöskentelyn tuloksena kehitettiin systemaattiseen tarkkuustasojen hallintaan perustuva suunnittelun aikataulutuksen malli, jossa detaljisuunnittelu voidaan saattaa osittain samaan tahtiin. Koko malli on esitetty lähteessä Uusitalo et al. (2019).

Pääperiaatteina on suunnittelun tietosisällön määritys erikseen hankintaa, esivalmistusta ja asennusta varten. Jokainen tietosisältövaatimus (esim. Mallin tarkkuustaso) toimii välitavoitteena suunnittelulle. Suunnitteluaikataulu tehdään Last Plannerilla lähtien liikkeelle näistä tahdin mukaan määrittyvistä välitavoitteista. Tuotantoon ja esivalmistukseen liittyvä suunnittelu voi itsekin edetä tahdissa mutta esimerkiksi hankintaan liittyvä suunnittelu ja aiemmat suunnitteluvaiheet toteutetaan karkeammalla tarkkuustasolla järjestelmittäin (Kuva 15). Suunnitteluaikataulussa hyödynnetään tahdin lisäksi Last Planneria. (Uusitalo et al 2019).



Kuva 15: Lean suunnittelunohjauksen linkitys tahtiin

Tarkkuustasoihin pohjautuvaa suunnittelunohjausta ei päästy hankkeen aikana testaamaan Suomessa. Pullonkaulana on muun muassa yksityiskohtaisen tarkkuustasomäärittelyn puuttuminen Suomesta. Hankkeen aikana kehitettiin tarkkuustasomäärittelyä muutamalle

rakennusosalle mutta jatkokehitys jäi konsortion työn ulkopuolelle. Building Smart lienee oikea taho viemään asiaa eteenpäin. Suunnittelunohjausmalli oli pääpiirteissään jo käytössä Suffolk Constructionilla Kaliforniassa ja siellä oli päästy menettelyllä hyviin tuloksiin. Suffolkilla ei ollut tahti käytössä, joten tahdin yhdistäminen tarkkuustasoihin on toistaiseksi vielä testaamatta.

5.2. Tahti suunnittelijan työkaluna

Rakennesuunnittelu ja monet muut suunnittelutyöt ovat luonteeltaan iteratiivisia ja poikkeavat näin ollen rakennustuotannosta monin tavoin. Toisin kuin rakennustuotannon prosessit, suunnitteluprosessit eivät tyypillisesti ole suoraviivaisia, ja niissä keskitytään pikemminkin saamaan informaatio virtaamaan. Suunnittelun ja tuotannon ketjuttaminen erillisiksi rakennushankkeen vaiheiksi voi johtaa epäideaaleihin ratkaisuihin, vaikeasti toteutettaviin suunnitelmiin, suureen muutostyötarpeeseen sekä jatkuvien parannusten puutokseen. Lisäksi ongelmat suunnittelussa johtavat tyypillisesti vahingollisiin seurauksiin operatiivisella tasolla. Näin ollen suunnitteluprosessin äärimmäisen optimoinnin ei tulisi olla tärkein tavoite implementoitaessa tahtia rakennesuunnitteluun. Oleellisempaa on oman työn hyvä suunnittelu ja johtaminen eli toimeksiannon aikataulutus ja resursointi, sisäinen päivittäisjohtaminen sekä tavoitteiden saavuttamisen edellyttämät korjaavat toimenpiteet (eng. adjustment mechanisms). Tahtisuunnittelun käyttöönotto rakennesuunnittelussa, tai missä tahansa muussa suunnitteluprosessissa, vaikuttaa olevan mahdollista, mutta haastavaa. (Kulta 2018)

Mikäli rakennushankkeeseen ryhtyvä päättää jo hankkeen alkuvaiheessa hyödyntää tahtisuunnittelua, tulee kyseinen päätös toimimaan perusedellytyksenä monille tuleville päätöksille, sopimuksille ja työmenetelmille. Näin ollen kokonaisvaltaiset rakennuttamis- ja projektinjohtotoimeksiannot mahdollistavat tahtisuunnittelun tehokkaan käytön sekä rakennustuotannossa että -suunnittelussa. Implementointia ei kuitenkaan tule tehdä ehdoitta, vaan ennemminkin laadukkaan lähtötietojen hallinnan, rakennustuotannosta kumpuavan imuohjauksen sekä asiakkaan tarpeisiin perustuvien projektikäytäntöjen avulla. Tällä hetkellä olennaisin tavoite onkin kohentaa ja kannustaa organisaatioita ymmärtämään lean-filosofian ja tahtisuunnittelun hyödyt laajamittaisesti. (Kulta 2018)

6. Kohti yhteistoiminnallista tahtia

Tällä hetkellä tahtituotannon tutkimus ja pilotit ovat keskittyneet vahvasti itse tuotannon suunnitteluun sekä ohjaukseen, jotka ovat luonnollisia ensimmäisiä kehityskohtia tuotantotapaa uudistettaessa. Tässä raportissa tarkastelluissa kohteissa sekä viimeisimmässä tutkimuksessa (mm. Dlouhy ym. 2018a, Binninger ym. 2018, Frandson ja Tommelein 2016) on kuitenkin havaittu, että useiden tuotannossa havaittujen esteiden juurisyiden takana olivat jo paljon ennen tuotantoa tehdyt päätökset. Useassa hankkeessa on havaittu, että vaikka tahtituotantoa on mahdollista toteuttaa hyvinkin tehokkaasti optimoimalla keskitetysti vain tuotantovaihe, parhaisiin lopputuloksiin voidaan päästä kehittämällä yhteispeliä tuotantoa valmistelevien ja

tuotantoa toteuttavien toimintojen välillä. Jotta tahtituotannon koko potentiaali siis pystyttäisiin hyödyntämään, tulisi prosessia tarkastella koko hankkeen tasolla pitkälle projektin valmisteluvaiheeseen yltävänä kokonaisvaltaisena kokonaisuutena. Tämän kokonaisuuden tarkastelussa keskiössä on koko projektiverkon tietotaidon hyödyntäminen, joka vaatii toteutuakseen *yhteistoiminnallisuutta*.

Termillä *yhteistoiminnallinen tahtituotanto* tarkoitetaan toteutustapaa, jossa kaikki, myös tuotantoon epäsuorasti liittyvät osapuolet, ovat mukana tahtituotannon valmistelussa sekä toteutuksessa. Valmisteluvaiheessa tämä tarkoittaa pääurakoitsijan lisäksi myös tilaajan, suunnittelijoiden, erikoisurakoitsijoiden sekä materiaalitoimittajien osallistamista niin, että tehtävät päätökset eivät nojaudu pelkästään kustannustehokkaimpaan vaan myös virtaustehokkaimpaan, tuotannon kannalta optimaaliseen ratkaisuun. Suunittelijoita tulisi haastaa sekä palkita rakennettavuudeltaan toimivista ratkaisuista eikä tuntien minimoimisesta. Urakoitsijoiden sekä materiaalitoimittajien valinnassa tulisi painottaa kykyä sopeutua vaativaan tahtituotannon rytmiin. Hankkeen kustannusseurannassa epäsuoria virtaustehokkuuden mahdollistamia hyötyjä, kuten uudelleen tekemisen vähentämistä ja läpimenoajan lyhenemistä, tulisi arvottaa huomattavasti nykyistä enemmän. Materiaalitoimittajien tulisi osallistua tuotekehityksellä virtaustehokkuudeltaan parempien tuotteiden, kuten esimerkiksi esivalmisteiden tai nopeasti kuivuvien tuotteiden kehittelyyn.

Jotta esitetty kokonaisvaltainen lähestymistapa olisi mahdollinen, tulee projektin osapuolille mahdollistaa hankkeen kokonaisvaltainen tarkastelu sekä ymmärrys, jossa kokonaiskuva on osaoptimointia tärkeämpää. Valmistavasta teollisuudesta käytettyä *Design for assembly* - termiä tulisi soveltaa myös rakentamisessa entistä aggressiivisemmin. Yhteistoiminnallisesssa tahtituotannossa keskeistä on kokonaiskuvan hahmottaminen siten, että kaikki rakentamista valmistelevat toimenpiteet tarkastelevat ensisijaisesti sitä, miten tahtituotantoa voitaisiin toteuttaa mahdollisimman tehokkaasti. Voidaankin siis puhua *Design for takt* - ajattelusta, jossa osaoptimoinnin sijasta virtaustehokkuuden kasvattaminen on keskiössä. Yhteisen kokonaisvaltaisen ymmärryksen avulla myös koko projektiverkon jatkuva oppiminen toteutuu huomattavasti tehokkaammin, jolloin eri osapuolet pystyvät näkemään omien päätöstensä vaikutusta laajemmin.

Vaikka tahtituotannossa fokus on erityisesti tuotannon valmistelussa sekä toteutuksessa, tulisi tulevaisuuden kehityksessä ottaa huomioon myös asiakkaan ja loppukäyttäjän tarpeet virtaustehokkaan tuotannon näkökulmasta. Hukkaa minimoiva ja virtaustehokas tuotanto luo suoraa arvoa myös asiakkaalle, ja ymmärrys näiden epäsuorien hyötyjen kasvattamisesta on tärkeää viestiä myös toteuttavan projektiorganisaation toimijoiden ulkopuolelle.

Yhteenvetona, ensimmäiset askeleet kohti yhteistoiminnallista ja kokonaisvaltaista tahtituotantoa ovat 1) koko projektiverkon ymmärryksen kasvattaminen tahtituotannon hyödyistä, 2) näiden hyötyjen tehokkaampi jakaminen yhteistoiminnallisuutta paremmin tukevilla sopimusmalleilla, 3) epäsuorien kustannusten kokonaisuuden parempi ymmärtäminen sekä 4) paremman projektinaikaisen tilannekuvan luominen projektiverkon osapuolille.

7. Johtopäätökset

Hankkeen aikana tehdyt pilotit osoittivat, että 30% aikasäästö sisävalmistuksella on mahdollista jo ensimmäisissä pilottihankkeissa. Kun puskurit poistetaan tehtävien välistä ja koko tuotantotiimi ymmärtää aikataulun ja sitoutuu siihen, voidaan aikataulua lyhentää teoreettisesti mutta myös ohjata niin, että lyhyempi kesto saavutetaan. Tämä onnistui molemmissa asuntotuotannon pilottihankkeissa. Molemmissa hankkeissa huomattiin, että tahtituotantoa voidaan merkittävästi kehittää jatkossa poistamalla tahdin toteuttamisen esteitä. Tahti pitäisi ottaa huomioon koko prosessissa suunnittelusta hankintaan, esivalmistukseen ja tuotantoon saakka. Tavallaan kyse on rakennushankkeen “käyttöjärjestelmän” muutoksesta, joka asettaa ihan erilaisia vaatimuksia tukitoiminnoille kuin aiemmat mallit.

Kumpikaan hanke ei mennyt täysin alkuperäisen suunnitelman mukaan, vaan molemmissa jouduttiin tekemään jatkuvaa uudelleensuunnittelua. Tämä uudelleensuunnittelu ei kuitenkaan poistanut tahtituotannon hyötyjä. Vaikka kestoa ei saatu kummassakaan hankkeessa lyhennettyä täysin alkuperäisen suunnitelman mukaisesti, lopputulos oli huomattavasti perinteistä mallia parempi. Tahti osoittautui joustavaksi malliksi, jossa voidaan ottaa huomioon poikkeamat. Päivittäisjohtamisen rooli ja välitön poikkeamiin reagointi korostui hankkeissa mutta toisaalta työmaat olivat valmiit tarkempaan johtamiseen, koska kaikki hahmottivat, että tahdista jälkeen jääminen aiheuttaa välittömästi vaikutuksia muihin työvaiheisiin. Myös toimitusketju muutamia poikkeuksia lukuunottamatta suhtautui pilotteihin positiivisesti.

Hankkeen opit ja havaitut tahtituotannon esteet tarjoavat pohjan jatkuvalle parantamiselle. Jos perustukset ja runkovaihe otetaan mukaan tahtiin, suunnittelu ja hankinta mietitään uudestaan tahdin vaatimusten pohjalta, sekä tuottavuutta että läpimenoaikoja voidaan parantaa huomattavasti enemmän. Läpimenoajan puolitus pitäisi olla mahdollisuuksien rajoissa ilman merkittävää teknisten ratkaisujen kehitystä.

Toistuvan asuntotuotannon lisäksi Kalifornian dokumentoidut caset luovat uskoa menetelmän soveltuvuuteen myös vaativissa toimitilakohteissa. Niissäkin DPR kykeni merkittävästi lyhentämään aikatauluja ja parantamaan urakoitsijoiden tuottavuutta tahtimenettelyllä. Vaativissa kohteissa yhteistoiminnan merkitys tuntuu korostuvan. Jatkokehityksessä pitääkin keskittyä yhteistoiminnalliseen tahdin kokonaisvaltaiseen kehitykseen, johon parhaita pilottityömaita voisivat olla allianssihankkeet.

Tahtituotantoa tukevia työkaluja voidaan vielä olennaisesti kehittää. Olemassa olevat työkalut ovat puutteellisia. Aikatauluohjelmat laskevat kestoja määrien ja resurssien pohjalta, joten keston pakottaminen tahdin mittaiseksi on liian työlästä. Excelillä on helppo tehdä ensimmäinen suunnitelma mutta muutosten hallinta on työlästä. SiteDrive ja muut työntekijän ohjauksen työkalut eivät vielä tunnista tahdin periaatteita. Tietomallinnuksen yhdistämistä tahtiin ei ole vielä tutkittu. Useita muissa konteksteissa määriteltyjä hyödyllisiä laskutoimituksia, kuten LBMS:ssä mukana olevaa kriittisen polun menetelmää sekä ennustamista toteutuneen

tuotannon perusteella, ei ole vielä yhdistetty tahtiin. Tahtimenettely hyötyisi jatkossa esim. LBMS:n teknisen menetelmän jatkokehittämisestä tahdin tekniseksi menetelmäksi. Tällöin ohjelmistotoimittajillekin olisi selvää, miten tahti pitäisi toteuttaa digitaalisesti.

Johtopäätöksenä tahtia voidaan suositella käyttöönotettavaksi laajamittaisesti Suomessa. Ensimmäiset pilottihankkeet vaativat tukea tahtiin perehtyneiltä henkilöiltä (esim. Konsultit tai tahtiin aiemmin tutustuneet omasta yrityksestä). Pilottihankkeiden pohjalta jo ensimmäisissä hankkeissa voidaan tavoitella läpimenoaikojen lyhennystä mutta toteutunut säästö ei välttämättä vastaa tavoiteltua tahdin ulkoisten esteiden vuoksi. Suurimman hyödyn ja kilpailuedun saavuttavat yritykset, jotka kykenevät nopeiten poistamaan tahdin esteitä ja kehittämään tuotannon tukitoiminnot tukemaan tahtituotantoa.

Lähdeluettelo

Berghede, K (2018). Vierailun aikaiset keskustelut ja haastattelut.

Binninger, M. , Dlouhy, J. , Müller, M. , Schattmann, M. & Haghsheno, S. (2018), 'Short Takt Time in Construction – a Practical Study. Proceedings (IGLC 26). Chennai, India

Chauhan, K. , Peltokorpi, A. , Seppänen, O. & Berghede, K. 2018, 'Combining Takt Planning With Prefabrication for Industrialized Construction. Proceedings (IGLC 26). Chennai, India

Dlouhy, J. , Binninger, M. , Oprach, S. & Haghsheno, S. (2018a), 'Mastering Complexity in Takt Planning and Takt Control - Using the Three Level Model to Increase Efficiency and Performance in Construction Projects. Proceedings (IGLC 26). Chennai, India

Dlouhy, J. , Ricalde, M. , Cossio, B. & Januncio, C. (2018b), 'Large Scale Project Using Takt Planning and Takt Control-Creating and Sustaining Multitasking Flow. Proceedings (IGLC 26). Chennai, India

Dlouhy, J., Binninger, M., Oprach, S., & Haghsheno, S. (2016). Three-Level Method of Takt Planning and Takt Control – A New Approach for Designing Production System in Construction. Proceedings (IGLC 24). Boston, MA, USA

Frandson, A. G., & Tommelein, I. D. (2016). Takt time planning of interiors on a Pre-Cast hospital project. Proceedings (IGLC 24). Boston, MA, USA

Frandson, A.G, Berghede, K., & Tommelein, I.D (2013). Takt-time Planning for Construction of Exterior Cladding. Proceedings (IGLC 21). Fortaleza, Brazil.

Kenley, R., & Seppänen, O. (2010). Location-based management for construction: Planning, scheduling and control. Routledge.

Kulta, I. (2018). Implementing takt planning in structural design. Diplomityö, Rakennustekniikan laboratorio, Tampereen teknillinen yliopisto.

Linnik, M., Berghede, K. & Ballard, G. (2013) An Experiment in Takt Time Planning Applied to Non-Repetetive Work. (IGLC-21) Proceedings. Fortaleza, Brazil

Seppänen, O. (2009). Empirical research on the success of production control in building construction projects. A PhD thesis, Department of Structural Engineering and Building Technology, Helsinki University of Technology, Finland.

Seppänen, O. (2014). A comparison of takt time and LBMS planning methods. Proceedings (IGLC 22). Oslo, Norway

Tomunen, L. (2018). Tahti tuotannossa - Case Töölönkadun pysäköintilaitos. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo.

Uusitalo, P., Seppänen, O., Peltokorpi, A., & Olivieri, H. (2019). A Lean Design Management Process Based on Planning the Level of Detail in BIM-Based Design. In Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering (pp. 147-152). Springer, Cham

Vatne, E. M. & Drevland, F. (2016). Practical Benefits of Using Takt Time Planning:
A Case Study. Proceedings (IGLC 24). Boston, MA, USA