

Building 2030: Tahtiohjaus Loppuraportti

Kirjoittajat:

Aalto-yliopiston tutkijat: Olli Seppänen, Jaakko Riekk

Aalto-yliopiston opiskelijat: Sarianna Kaihlaniemi, Eemeli Inkala, Max Virtanen



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

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
1.1	Tutkimuksen tausta	3
1.2	Tutkimuksen tavoite	3
1.3	Tutkimusmenetelmät	3
2	Tahdin ohjauksen erot perinteiseen sijaintipohjaiseen ohjaukseen	4
3	Tahtiohjauksen tapaustutkimus	6
3.1	Monitapaustutkimuksen lähtökohdat ja kuvaus	6
3.2	Keskeiset tulokset	8
3.3	Esimerkkikuvaukset tapauksista 1 ja 4	14
4	Diplomitöissä dokumentoidut caset	21
4.1	Materiaalilogistiikan imuohjaus tahtituotannossa (Kaihlaniemi 2024).....	21
4.2	Data-avusteinen tahtituotannon ohjaus sairaalahankkeessa (Inkala 2025)	22
4.3	Tahtituotannon ohjaus infrahankkeessa (Virtanen 2025)	25
5	Maturiteettimallin päivitys.....	27
6	Ennusteet tahtituotannossa	30
7	Yhteenveto ja johtopäätökset	32
	Lähdeluettelo	34

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Tahtituotantoa rakentamisessa on tutkittu Building 2030 -konsortion tutkimushankkeissa ja kansainvälisesti jo vuosia mutta tutkimus on toistaiseksi vahvasti keskittynyt tahdin suunnitteluun. Aiempaa tutkimusta tuotannon ohjaukseen liittyen on tehty pääosin liittyen paikka-ai- kakaaviopohjaiseen tuotannonohjaukseen ja perinteiseen kriittisen polun menetelmään. Näiden menetelmien opit eivät suoraan sovellu tahtituotantoon, koska tahtituotannossa häiriöihin varaudutaan ja niihin reagoidaan eri tavalla. Building 2030 -konsortio on rahoittanut Jaakko Riekin väitöskirjaa, joka keskittyy tahdin ohjaukseen.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten tahtihankkeissa toimitaan, kun tuotannossa on poikkeamia. Tavoitteena oli ymmärtää, miten tahdin ohjauskeinot eroavat perinteisestä ja mitkä ohjauskeinot ovat eri tilanteissa tehokkaimpia.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Hankkeen budjetista rahoitettiin Jaakko Riekin tohtoritutkimusta ja Eemeli Inkalan diplomityö. Lisäksi samaan teemaan liittyi kaksi konsortion jäsenyritysten rahoittamaa diplomityötä. Tutkimusta tehtiin case-tutkimuksena. Jaakko Rieki analysoi hankkeita, joista oli saatavilla tietoja ohjaustoimenpiteiden analyysiin. Tutkittavaksi valikoitui erilaisia hankkeita, joista osa oli hyvin toistuvia ja toisissa toistuvuutta oli vähemmän. Lisäksi pyrittiin löytämään hankkeita, joissa oli valittu eri tahtiaika. Tutkijat analysoivat hankkeiden ohjausta sekä laadullisesti että määrällisesti erilaisten mittareiden avulla. Diplomityöntekijät keskittyivät yksittäisiin hankkeisiin ja niiden yksityiskohtaiseen kuvaukseen, ja Jaakko Rieki analysoi useita hankkeita ja vertaili niiden eroja. Tuloksia on esitelty kansainvälisissä konferensseissa ja konsortion kesäseminaarissa.

2 Tahdin ohjauksen erot perinteiseen sijaintipohjaiseen ohjaukseen

Sijaintipohjaisessa johtamisjärjestelmässä (Location-Based Management System, LBMS, Kenley & Seppänen 2010) ohjaus perustuu tuotantonopeuksien jatkuvaan valvontaan. Suunniteluvaiheessa tehtävien välille suunnitellaan aikapuskureita, jotka erottavat työvaiheet toisistaan. Häiriöitä ennustetaan perustuen toteutuneisiin tuotantonopeuksiin ja resurssimääriin. Ohjauksen käynnistäjänä on ennakoitu häiriö, jossa kaksi tilaa vaativaa tehtävää uhkaa törmätä edeltäjän liian hitaan tai seuraajan liian nopean tuotantonopeuden vuoksi. Aluksi ohjaustoimenpiteiden suunnittelu oli laskennallista eli selvitettiin, minkälaisilla resurssimäärillä tai työaikamuutoksilla saadaan estettyä häiriö olettaen, että tuotanto jatkuu samalla työmenekillä (Seppänen 2009). Lean-rakentamisen myötä ensisijaiseksi keinoksi ovat tulleet työmenekkiin vaikuttavat toimet poistamalla tuotannon esteitä ja varmistamalla aloitusedellytyksiä (Seppänen, Ballard & Pesonen 2010).

Koska toteutuneen menekin voi mitata vasta tapahtumien jälkeen, reagointi laskettua suurempaan menekkiin on jälkijättöistä. Lisäksi monet ohjaustoimenpiteistä, kuten resurssien lisääminen, vaativat aikaa, koska resursseja ei tyypillisesti saada työmaalle heti tarpeen ilmettyä. Näiden seikkojen vuoksi aikapuskurit ovat tärkeitä sijaintipohjaisen johtamisjärjestelmän ohjauksessa. Ilman aikapuskureita tuotantonopeuksien muutokset ovat liian hitaita ja vaikuttavat vasta, kun viiveet alkavat kasautua seuraaviin tehtäviin. Aikapuskurit ovat kuitenkin jo vuosikymmeniä pidentäneet suomalaisten rakennushankkeiden kestoa.

Miten tuotantoa voi ohjata, kun aikapuskureita ei ole? Jos LBMS:n oletukset pitäisivät paikaansa, tahtijuna lähtisi raiteiltaan. Seppänen (2014) osoitti simuloinneilla, että aikapuskurien poistaminen johtaa odotukseen, kasautuviin epäjatkuvuuksiin ja resurssien paluuviiveisiin. Odotustuntien maksaminen asentajille tulisi kalliiksi. Lopputulos voisi olla huonompi kuin perinteisessä paikka-aikakaaviossa. Building 2030 käynnisti kuitenkin tahtituotantoon liittyvän tutkimuksen vuonna 2016, koska sekä Saksassa että Kaliforniassa tahtituotannossa oli onnistuttu. Kävi ilmi, että tehdyissä oletamuksissa oli virheitä.

Virheet olivat pääosin ihmisten käyttäytymiseen liittyviä, ei laskennallisia. Tahtituotannon fokusointi siihen, että jokainen prosessi valmistuu tahtiajan sisällä ja kaikki ongelmat ratkaistaan tahdin sisällä, johtaa nopeampaan ohjaukseen. Aikapuskurit johtavatkin siihen, ettei tuotantoa ohjata jatkuvasti. Kaikki ymmärtävät tahtihankkeessa, että jokainen viive on tärkeä ja sillä on välitön vaikutus muihin. Aikapuskureita käytettäessä vaikutus muihin työvaiheisiin jää abstraktiksi. Miksi pienellä viiveellä on väliä, kun seuraava asentaja tulee vasta kerrosta alempana? Aikatauluviiveet hyväksyttiin normaaleina ilmiöinä ja todettiin, että kyllä hankkeet kuitenkin aina valmistuvat ajallaan.

Ohjaus ei kuitenkaan ole tahtituotannossa jäänyt tarpeettomaksi. Monet ovat luopuneet tahtituotannosta kesken hankkeen, kun tehtävät eivät menekään suunnitelman mukaan. Sen sijaan kokeneemmat tahtituotannon harjoittajat ymmärtävät, että tahtituotanto vaatii jatkuvaa ohjausta. Ohjaukseen liittyvää tietoa on kuitenkin paljon vähemmän kuin suunnitteluun. Binniger ym. (2017) julkaisi listan tahtiohjauksen keinoista ilman yksityiskohtia. Empiiriset case-tutkimukset (mm. Lehtovaara ym. 2020, Lehtovaara ym. 2021) ovat osoittaneet, että hyvin onnistuneetkaan projektit eivät koskaan pysty tarkalleen noudattamaan alkuperäistä tahtiaikataulua.

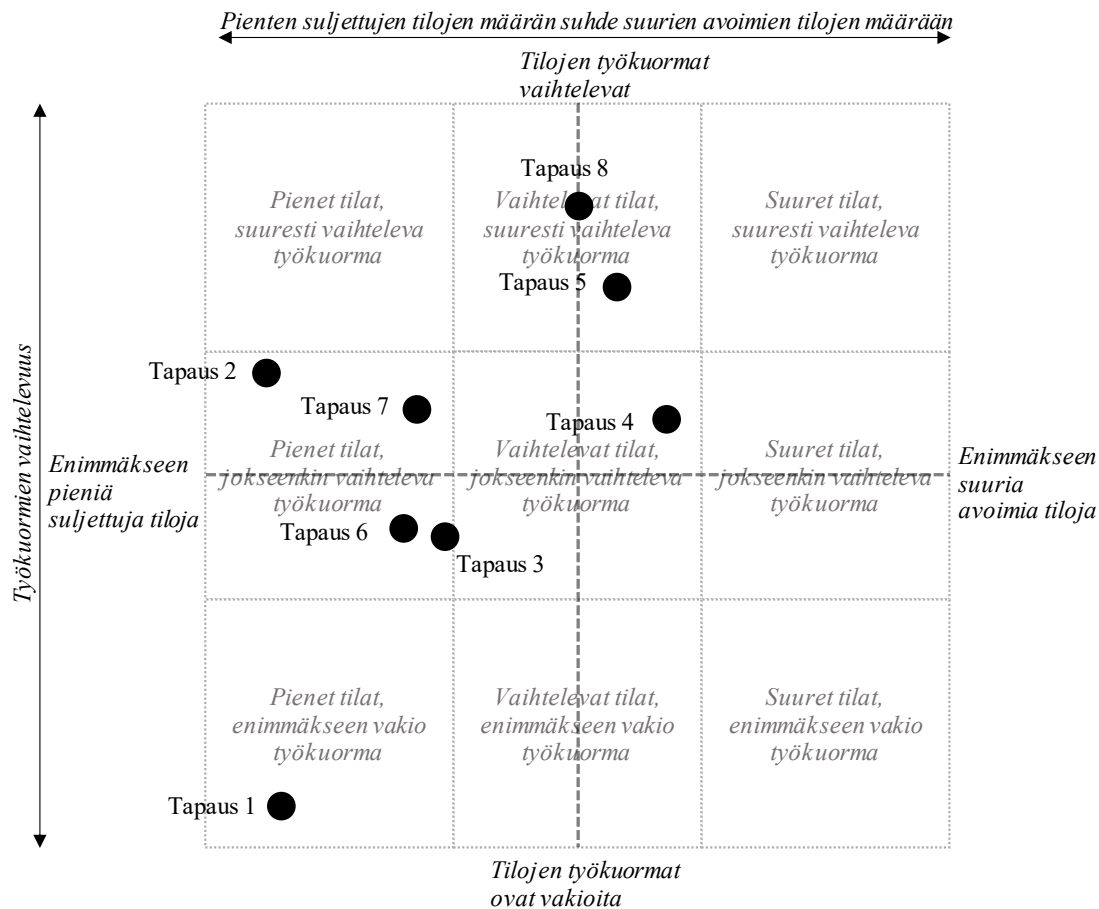
Tarvitaan siis uusia suosituksia ja työkaluja tahdin ohjaukseen. Mitkä toimenpiteet ovat hyödyllisimpiä tahdin ohjauksessa? Milloin kannattaa nollata tilanne ja päivittää suunnitelma ja milloin on syytä pyrkiä ohjauksella palaamaan alkuperäiseen aikatauluun? Onko tilannetta, jossa kannattaa luopua tahtituotannosta ja palata paikka-aikakaaviopohjaiseen ohjaukseen? Mitä asioita paikka-aikakaaviopohjaisesta ohjauksesta kannattaa tuoda tahtituotantoon? Tutkimushankkeessa pyrittiin vastaamaan näihin kysymyksiin seuraamalla yksityiskohtaisesti tahdin toteutumista case-hankkeissa.

3 Tahtiohjauksen tapaustutkimus

3.1 Monitapaustutkimuksen lähtökohdat ja kuvaus

Tahtiohjauksen tutkimus on perustunut laadullisiin haastattelututkimuksiin tai yksittäisten tapauksen karkean tason kuvauksiin. Toistaiseksi ei ole julkaistu syvempää empiiristä tutkimusta siitä, miten tahtituotantoa käytännössä ohjataan työmailla.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli syventyä tahtiohjaukseen yksityiskohtaisemmin laajalla monitapaustutkimuksella. Pyrimme tavoittamaan erilaisia tapauksia, jotta tahtiohjauksesta ilmiönä saataisiin uutta tietoa eri näkökulmista. Havaintomme konsortion tilaisuuksista osoittivat, että tahtituotanto on erilaista hyvin toistuvissa hankkeissa ja hankkeissa, joissa toisto ei ole yhtä selvää. Määrittelimme tapausten olennaisiksi erottautumisperitteiksi rakennuksen tilojen kokojen ja työkuormien vaihtelevuuden kuvan 1 akseleiden mukaisesti. Tavoitteenamme oli löytää tapauksia edustamaan kaikkia yhdeksää kuvan 1 kentän aluetta, jotta voisimme vertailla näiden piirteiden vaikutusta tahtituotannon ohjaukseen.



Kuva 1: Tapausten sijoittuminen erottautumisperitteiden mukaiseen kenttään

Pyrimme saamaan mahdollisimman objektiivisen kuvan tuotantoon liittyvien tapahtumien kuluista, jotta ohjaustoimenpiteiden luonnetta, syitä ja seurauksia voitaisiin päätellä. Tärkein tietolähde oli mahdollisimman tarkka aikataulujen valvontatieto. Aikatauluvalvonnasta piirtyvää kuvaa täydennettiin työmaavierailuilla ja mahdollisilla muilla kirjallisilla saatavilla olevilla lähteillä, kuten laatujärjestelmillä, materiaalinhallintajärjestelmillä, poikkeamalistoilla tai muilla muistioilla. Vähimmäisvaatimuksena caseille oli aikatauluseurantadata ja mahdollisuus vierailla työmaalla.

Building 2030 -konsortion jäsenet ilmoittivat tutkimukseen yhteensä kahdeksan työmaata, joiden yleiskuvaukset on esitetty taulukossa 1. Tapaukset on myös sijoitettu kuvaan 1 erottautumisperusteiden mukaisesti.

Taulukko 1: Yleistietoa tutkimuksen tapauksista

	Koko [m ²]	Tahtiaika	Uudis / Korj.	Työmaan johdon kokemus	Ohj.	MH
1	5 000	2 t	Uudis	Vähän	T	K
2	3 400	4 t	Korj.	Vähän; valmennusta	TO	E
3	9 900	1 p	Uudis	Vähän	TO	E
4	8 600	1 p	Uudis	Vähän	T	K
5	95 000	1 p	Uudis	Kokenut	T+	K
6	15 000	2.5 p	Uudis	Ei; hieman koulutusta	TO	O
7	5 500	2.5 p	Korj.	Ei; hieman koulutusta	T	E
8	65 000	5 p	Uudis	Hieman	TO	O

Merkinnät: Ohj: ohjelmiston tyyppi; T: Taulukkolaskenta; T+: Taulukkolaskenta erityisillä synkronointitoiminnoilla; TO: Tahtiohjaukseen tarkoitettu pilvipohjainen ohjelmisto; MH: Materiaalihallintaurakoitsija; K: Kyllä; O: Osittain; E: Ei

Kaikki tapaukset olivat sisävalmistusvaiheista, vaikka rajoitetta rakennusvaiheelle ei asetettu tapausten haussa. Samoin kaikki tapaukset olivat tilojensa luonteelta joko vaihtelevia tai vain pieniä tiloja sisältäviä, mutta yhtään vain suuria avoimia tiloja sisältävää tapausta emme saaneet osaksi tutkimusta. Sen sijaan tapauksissa on sekä uudis- että korjausrakentamista, useita eri tahtiaikoja ja mukana on laajuudeltaan pieniä ja suuria hankkeita. Osa työmaiden organisaatioista toteutti tahtituotantoa ensimmäistä kertaa tai vähäisellä kokemuksella. Työmailla 2, 6 ja 7 tiimeille tarjottiin vähintään jonkin verran koulutusta tai valmennusta. Muilla työmailla oli useita henkilöitä, joilla oli jo vähintään jonkin verran aikaisempaa kokemusta tahtituotannosta. Tapauksissa käytettiin myös useita eri ohjelmistotyökaluja, joiden joukossa oli sekä pilvipohjaisia tahtituotanto-ohjelmistoja että Excel-aikatauluja. Tapauksissa erottui myös se, että osassa käytettiin ulkoista materiaalihallintaurakoitsijaa. Osassa hankkeista materiaali- ja laivastot hankittiin perinteisin menetelmin.

Kaikista tapauksista kerättiin aikatauluvalvontatietoja. Niiden laatu ja muoto vaihtelivat tapauksittain. Kaikissa tapauksissa tiedot olivat riittävän kattavia tulkintojen tekemiseksi ohjaus-

toimenpiteistä tahtituotannon aikana. Valvontatiedot koostuivat suunnitellusta tahtiaikataulusta ja sen päivitysversiona sekä tahtivaunukohtaisista töiden aloituksen, lopetuksen ja pysäytysten ajankohdista. Näistä aikatauluvalvontatiedoista koostettiin visualisointeja, joiden pohjalta aikataulun etenemää analysoitiin ja tulkittiin.

Useimmissa tapauksissa valvontakirjaukset olivat ajoittain virheellisiä tai puutteellisia, koska jotkin kirjausten mukaiset tapahtumat vaikuttivat epäuskottavilta. Näitä datan laatuongelmia oli kuitenkin mahdollista paikata päättelämällä, mistä puutteet todennäköisesti johtuivat. Usein puutteita aiheuttivat sairastumiset, lomat tai kirjausten unohtumiset, jotka aiheuttavat myöhemmin kerralla tehtyjä suurempia toteuman kirjauseriä. Näistä paikallisista laatupuutteista huolimatta jokaisesta tapauksesta piirtyi kuitenkin selkeä kokonaiskuva aikataulun etenemisestä.

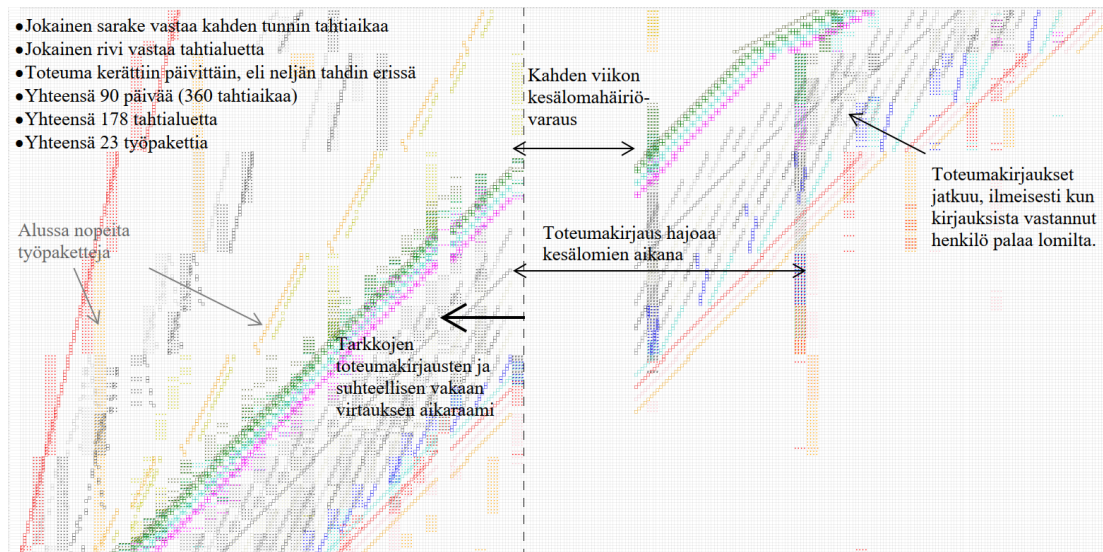
Kaikilla työmailla vierailtiin vähintään kerran, ja vierailujen yhteydessä tehtyjä havaintoja ja keskusteluita kirjattiin muistiin aikatauluanalyysiä tukeväksi aineistoksi. Työmaavierailujen yhteydessä perehdyttiin myös työmaan valvontatietojen kirjauskäytäntöihin, mikä tuki aikatauluvalvontatietojen uskottavuuden arviointia ja laatupuutteiden syiden päättelyä.

Osa tapauksista oli tämän raportin kirjoitushetkellä vielä käynnissä, joten aineistot ja analyysit eivät kokonaan valmistuneet hankkeen aikana. Huolimatta aineistojen ja analyysin keskeneräisyydestä, niistä voitiin kuitenkin koostaa useita alustavia tuloksia.

3.2 Keskeiset tulokset

Vain tapauksien 1, 3 ja 4 aikatauluvalvontatietoja ehdittiin analysoida tutkimuksen keston aikana, joten seuraavassa esitettävät tulokset perustuvat vain näihin aikatauluanalyysihin. Työmaavierailuja tehtiin kuitenkin kaikilla työmailla, joten niissä tehdyt havainnot täydentävät tuloksia muidenkin tapausten osalta.

Esimerkki aikatauluvalvonnan perusteella tehdyistä visualisoinneista tapauksessa 1 on esitetty kuvassa 2. Visualisoidun aikataulun ja tahtivaunujen valvontakirjausten perusteella voidaan hahmottaa, miten tahtivaunut etenivät ja valmistuivat. Aikataulun lopputilannetta kuvaavan hetkellisen tilannekuvan lisäksi vastaava visualisointi tehtiin kullekin aikatauluvalvonnan ajan hetkelle, mikä teki myös aikataulusuunnitelman muutokset näkyväksi. Tämä on olennainen näkökulma, kun aikataulun päivittämistä tuotannon aikana käytetään osana tuotannon ohjausta.



Kuva 2: Havainnekuva aikatauluseurannoista tehdyistä visualisoinneista. Kesäloma aiheuttaa puutteita kirjauksissa ja ison kirjauserän kesälomajakson päätyttyä.

3.2.1 Yleisiä havaintoja

Tapaustutkimuksen perusteella tahdin ohjauskeinot päätetään pääsääntöisesti intuitiivisesti ja tapauskohtaisesti hyödyntäen aikataulun näkyviä puskureita tai muita tuotantojärjestelmässä olevia pelivaroja (engl. slack). Pelivaran käsite kattaa perinteisemmät puskurit, mutta tarkoittaa lisäksi mitä tahansa muita mahdollisesti hyödynnettävissä olevia resursseja, jotka voidaan ohjata uudelleen tuotannon tavoitteiden saavuttamiseksi. Näin ollen kaikki ohjauskeinot eivät aina välttämättä käytä tai tarvitse puskureita, mutta ne voivat silti auttaa ohjaamaan tuotantoa kohti tavoitteita poikkeamien ilmetessä. Yleisiä tutkituissa tapauksissa käytettyjä tällaisia pelivaroja hyödyntäviä ohjauskeinoja ovat ainakin seuraavat:

1. aikataulun muokkaus siirtämällä koko junaa tai osaa vaunuista myöhemmäksi
2. yksittäisten vaunujen työsisältöjen ja työtapojen tarkennus ja kehitys
3. vaunujen järjestyksien vaihtaminen
4. poikkeamien tai kesken jääneiden vaunujen sisäisten osittaisten töiden siirtäminen jälkityöksi tahtijunan loppuun
5. perättäisten vaunujen limityksen lisääminen ja yhteensovituksen tarkentaminen
6. tahtialueiden ja vaunujen sisältöjen muokkaaminen
7. työntekijämäärän muuttaminen
8. aputyön tarjoaminen ulkoisilla resursseilla
9. yksittäisen vaunun tahtialuejärjestyksen vaihtaminen
10. tahtijunan tuotantonopeutta nopeampien vaunujen sovittaminen suurempiin eräkokoihin muun tuotannon ehdoilla.

Tapauksissa havaittiin kahta erilaista suhtautumistapaa aikataulun päivittämiseen: 1) aikataulua pidetään tuotantoennusteena, jota päivitetään jatkuvasti sekä ennakoivasti että reagoivasti,

ja 2) aikataulua ei päivitetä, vaan sitä käytetään sopimusaikatauluna, jonka viiveitä seurataan ja käytetään tarvittaessa vinjettimäisesti toteuman kirjauksiin. Kummassakin suhtautumisavassa oli nähtävissä etunsa ja ne todennäköisesti sopivat paremmin eri tilanteisiin.

Jatkuvasti päivittyvä aikataulu antoi tarkemman kuvan siitä, mitä tulevaisuudessa tapahtuu. Muuttumaton aikataulu piti sovitut tavoitteet selkeämmin näkyvillä. Jatkuva aikataulun päivittäminen aiheutti myös merkittävästi lisätyötä aikataulujen tekniseen päivitykseen erityisesti, jos käytettiin Excel-aikataulua. Toisaalta pitkään päivittämättä jäänyt aikataulu, josta oli poikettu paljon, menetti merkitystään. Tämän jälkeen tuotannon ohjaaminen perustui enemmän aikataulun ohittaviin muihin viestintäkanaviin ja hiljaiseen tietoon. Kuitenkin niissäkin tapauksissa, joissa aikataulua pyrittiin päivittämään jatkuvasti, päivitysten määrä väheni sisävalmistusvaiheen loppua kohden.

Tapauksissa näkyi loppua kohti vähenevän aikataulun päivittämisen lisäksi muutoinkin eräänlainen tahtiohjauksen elinkaari. Tahtiohjaus sisävalmistusvaiheessa jakautuu selkeästi alkuvaiheeseen, keskivaiheeseen ja loppuvaiheeseen.

Alkuvaiheessa tahtijunan ensimmäiset vaunut usein etenivät nopeammin kuin tahtiaikataulun tuotantonopeus edellytti. Riskit laatuongelmien kertaantumisesta tai tuotannon hajaantumisesta laajalle alueelle koettiin pienemmäksi kuin riskit myöhästymisistä tai resurssien koordinaatioongelmista, mitä vaunujen pakotettu hidastaminen olisi voinut aiheuttaa. Löydös on linjassa aiempien tutkimusten kanssa, joissa työryhmien töiden jatkuvuus saa suuremman prioriteetin kuin prosessin virtaus (Binninger 2021).

Keskivaiheessa erottui usein suhteellisen tasaisena rintamana etenevä ”perustahti”, joka noudatti parhaiten tahtisuunnitelman mukaista tuotantonopeutta. Tämän perustahdin suunnitteluun ja resursointiin oli todennäköisesti panostettu eniten, ja sen työkuormien tasapainottamisessa voitiin parhaiten hyödyntää muualla projektissa sijainneita varatyökohteita. Tahdin etenemistä pyrittiin suojelemaan sovittamalla poikkeamista kärsiviä vaunuja tasaisen tuotannon ehdoilla. Lisäksi perustahdista erottui vaunuja, joiden luonnollinen tuotantonopeus oli tahtiaikataulun tuotantonopeutta suurempi. Näille vaunuille pyrittiin ohjauksen yhteydessä järjestämään mahdollisuus tehdä tahtisuunnitelmassa määritettyä suurempia eräkokoja sopimalla alkuperäistä aikataulua myöhemmästä aloituksesta. Menettelytapa on tuttu paikka-aikakaavioista, jossa nopeat työvaiheet aikataulutetaan lähes pystysuorina viivoina muutamaan jatkuvaan jaksoon sen sijaan, että niiden annettaisiin pysähtyä jokaisessa sijainnissa. Osassa näistä tilanteista aikataulua päivitettiin sovittuja suurennettuja eräkokoja vastaaviksi, mutta toisinaan aikataulu ohitettiin ja muutoksen ohjaus jätettiin hiljaisen tiedon varaan, mikä lisää koordinaativirheiden riskiä. Työmaalla käytyjen keskusteluiden perusteella aikataulun päivittäminen tai tällaisten tarpeiden huomioon ottaminen jo suunnitteluvaiheessa koettiin paremmaksi ratkaisuksi. Jos tarve ilmeni vasta tuotantovaiheessa, aikataulun tarkentamista ei kuitenkaan usein koettu enää tarpeelliseksi ja se jäi usein tekemättä. Tahtituotannon edistämisen kannalta

jatkossa pitäisi pyrkiä kehittämään toimitusketjuja ja tuotantotapoja niin, että tahtia nopeammatkin työvaiheet saataisiin toteutettua pistemäisemmin tahdin mukaisesti.

Loppuvaiheessa eräkoot kasvoivat myös etenkin ensimmäisillä tahtialueilla, joilla oli eniten loppupuskuria. Tapauksissa oli myös tyypillistä, että aikataulun päivittäminen väheni ja valvontakirjauksien tarkkuus heikkeni tahdin loppuvaiheessa. Tämä voi selittyä esimerkiksi sillä, että aikataulutusta ja valvontaa ei koettu enää tarpeelliseksi, kun työtä oli vähän jäljellä, tai sillä, että jäljellä olevat työt koostuivat niin pirstaleisista osista, että niiden tarkkaa aikataulutamista ja valvontaa ei enää koettu vaivan arvoiseksi. Aiemmin jälkityöksi jätettyjä poikkeamia ei aina viety aikatauluun, vaan ne saatettiin kirjata muihin järjestelmiin tai jätettiin muistina-raisiksi. Tahtivaiheen aikana kertyneet sekalaiset poikkeamat usein kasaantuivat loppua kohden, mikä aiheutti ohjauksen kuormituksen kasvua loppuvaiheessa.

3.2.2 Tahtipalaverit ja päivittäisjohtaminen

Kaikissa kohteissa käytettiin ohjauskäytäntönä päivittäisiä tai tahtikohtaisia palavereita, joihin osallistui päätoteuttajan tahtivaihetta ohjanneet henkilöt ja urakoitsijoiden työnjohtajat tai nokkahenkilöt. Tahtipalaverien tarkoituksena oli jakaa aikataulutilanne kaikkien kesken ja kerätä esiin nousseita ratkaistavia poikkeamia tai ongelmia. Tarkemmat käytännöt kuten tahtipalaverin paikka ja aika kuitenkin vaihtelivat. Poikkeamia ja ongelmia kirjattiin ja hallittiin pääsääntöisesti epäjärjestelmällisesti. Tästä huolimatta tahdin ohjauksesta vastanneet henkilöt kokivat tahtipalaverit pääsääntöisesti tärkeänä ohjauksen työkaluna. Tahtipalaverissa saatiin usein ratkottua pieniä poikkeamia heti. Isojen ongelmien osalta saatiin sovittua toimintatavat. Päätöksiä ei koettu tarpeelliseksi kirjata aikataulujärjestelmään. Osassa tapauksista tahtipalavereista muodostui vaiheen aikana niin vakiintunut rutiini, että sen koettiin korvaavan aikataulun päivitys- ja valvontatarvetta etenkin vaiheen loppupäässä. Kuitenkin joissain tapauksissa tahtipalaveri koettiin ajoittain myös tarpeettomaksi, kun tuotannon tilannetta pidettiin selvänä eikä ongelmien käsittelylle tahtipalaverien kautta nähty tarvetta. Tällaisissa tilanteissa tahtipalaverien pitämisestä pidettiin ajoittain taukoa, mutta niitä jatkettiin, kun tarvetta jälleen koettiin. Yleisesti tahtipalaverit koettiin pääsääntöisesti hyödyllisiksi, mutta yleistä kaavaa niiden pitämiselle ja johtamiselle ei ollut, vaan käytännöt ja tavat vaihtelivat ohjausvas-
tuussa olevien henkilöiden mieltymysten mukaisesti.

Päivittäiset tai tahtikohtaiset ohjauspalaverit koettiin useimmissa tapauksissa tahtituotannon mukana tulleiksi uusiksi käytännöiksi. Kuitenkin muut tuotannon ohjaus- ja johtamistavat koettiin suurelta osin hyvin samankaltaisiksi muiden perinteisempien tuotantotapojen kanssa. Esimerkiksi päivittäiset rutiinit kuten työmaakierrokset, tuotantotyön tekeminen, laadunvalvonta ja esteiden tunnistaminen ja poistaminen koettiin työmaakäyntien yhteydessä käytyjen keskusteluiden perusteella enimmäkseen samoiksi riippumatta tahtituotannosta. Tahtituotannon eduiksi kuitenkin mainittiin laajasti aiempaa suurempi aikataulun tarkkuus ja parempi selkeys. Aikataulua ei pidetty työmailla tarkasti sellaisenaan toteutettavana tuotantosuunnitelmana. Esimerkiksi suurempi erä koko tahtijunaa nopeammille vaunuille oli aikataulun ohittava

ohjauskeino. Siitä huolimatta näiden vaunujen suunnittelua tahdin mukaiseksi pidettiin parempana, kuin että ne olisi esitetty eri aikataulussa. Tahtituotantoa ei siis koettu ohjauskeinojen luovuutta rajoittavaksi, vaan pikemminkin se tuki ohjauksen vaikutusten hahmottamista ja arviointia.

3.2.3 Tahtiorganisaation kypsyys ja ohjausvastuun jakautuminen

Suurimmalle osalle tahtituotannon ohjaukseen osallistuneista henkilöistä tutkittu tapaus ei ollut ensimmäinen tahtituotantokohde, mutta merkittävälle osalle kuitenkin oli. Tapauksissa, joissa tahtituotanto oli uutta koko työmaan henkilöstölle, tahtiohjaukseen osallistuville annettiin ulkopuolista koulutusta tai valmennusta. Tämä saatu koulutus ja valmennus koettiin vaihtelevasti riittäväksi tai hieman liian suppeaksi, mutta kuitenkin tarpeelliseksi. Riippumatta kypsyysasteesta tahtiohjauksen resursointi ja organisointi perustui pikemmin työmaan johdon arvioihin kuin valmiisiin ohjeistuksiin tai kaavoihin.

Pääsääntöisesti ohjausvastuu jaettiin työnjohtajalle tai urakkavalvojalle (tahtiohjaajalle) vaunuihin perustuen niin, että yksittäiselle tahtiohjaajalle nimettiin noin 5–20 ohjattavaa vaunua. Vaunumäärään perustuva ohjauksen työkuorma ei ollut tapauksissa yhteismitallista, koska osa vaunuista oli vaativampia kuin toiset ja aikataulun tahtiaika vaikutti vaunujen kokonaismäärään. Osassa tapauksista ohjausvastuita jaettiin myös alueittain. Tämä korostui etenkin laajuudeltaan suurimmissa projekteissa, joissa oli useampia kuin yksi tahtijuna käynnissä samanaikaisesti. Ohjausvastuun jakamista vaunuittain pidettiin yleisesti selkeimpänä ratkaisuna, koska vaunun urakoitsijalla on vain yksi yhteyshenkilö, joka ei vaihdu aluerajoilla. Lisäksi mallitöiden teettäminen uuden vaunun aloittaessa koettiin tärkeäksi vaunuohjaajan tehtäväksi, mutta alueisiin perustuvassa vastuujaoissa niiden aiheuttama työkuorma kertyi vain ensimmäisen alueen ohjaajille. Aluevastuiden eduksi koettiin kuitenkin se, että kaikkien perättäisten vaunujen rajapintoja oli helpompi koordinoita yhteensopiviksi kullakin selkeän kokonaisuuden muodostamalla alueella. Yhdessä tapauksessa pohdittiin myös vaihtoehtona matriisimaista organisointia, jossa tahtiohjaajat toimisivat sekä alue- että vaunuvastuussa, mutta tämän vaikutuksista ei saatu tarpeeksi merkittäviä tuloksia.

3.2.4 Tapausten piirteiden vaikutus

Suurimmassa osassa tapauksista suosittiin päivän tai sitäkin lyhyempää tahtiaikaa. Näissä tapauksissa tahtipalavereita pidettiin kuitenkin pääsääntöisesti päivittäin, vaikka tahtiaika olisi-kin ollut tätä lyhyempi. Kahdessa tapauksessa käytettiin puolen viikon tahtiaikaa, ja niissä tahtipalavereita pidettiin tahdeittain, eli kaksi kertaa viikossa aina ennen uuden tahdin alkua. Ai-noassa viikon tahtiajan tapauksessa pidettiin muita pitemmästä tahtiajasta huolimatta sekä päivittäisiä aamupalavereita että pidempiä koordinoitipalavereita kahdesti viikossa.

Tahtiajan valinnalla oli näin ollen vaikutusta ohjauskäytäntöjen luonteeseen, vaikka palaverikäytännöt olivatkin eri tahtiajoilla samankaltaisia. Esimerkiksi viikon tahtiajalla toimittaessa aamupalavereissa ei voitu verrata toteumaa suoraan aikatauluun, vaan käytiin enemmän läpi

poikkeamia tai esteitä käynnissä olevan tahdin toteutumiseen liittyen. Lyhyen tahtiajan aikatauluissa puskurit olivat näkyvämpiä ja ne mahdollistivat tarkemman tilannekuvan, mikä kuitenkin edellytti myös tarkempaa ennakkosuunnittelua ja toteuman kirjaamista. Pidemmät tahtiajat mahdollistivat enemmän autonomiaa vaunuille, ja epätarkempaa aikatauluvalvonnan tilannekuvaa kompensoitiin hajautetummalla tahtien sisäisellä koordinoinnilla. Kaikissa tapauksissa valittua tahtiaikaa pidettiin sopivana, vaikkakin toisessa puolen viikon tahtiajan tapauksessa ilmeni kiinnostusta kokeilla myös lyhyempää päivän tahtiaikaa. Lyhyet tahtiajat vaikuttivat luonnollisimmalta valinnalta etenkin pienten ja toistuvien tilojen tapauksissa. Sen sijaan monimutkaisemmissa vaihtelevien työkuormien ja tilojen kokojen tapauksissa sekä päivän että viikon tahtiajalle vaikutti olevan etuja.

Tapausten eri työkuormien vaihtelevuuteen ja tilojen kokoihin liittyvät piirteet vaikuttivat tahtituotannon ohjaukseen. Vakionuotoiset pienet tilat, joissa on tasaiset työkuormat, vähentävät aikataulusuunnittelun työkuormaa ja helpottavat valvontakirjausten kohdistamista. Kirjauksia tulee tosin enemmän. Tehtäväsisältöjen määrittely on selkeämpää ja tarkkarajaisempaa, kun tahtialueita rajaa fyysiset esteet kuten seinät. Sen sijaan suuremmat ja avoimemmat tilat helpottavat joidenkin pelivarojen hyödyntämistä. Esimerkiksi perättäisten vaunujen yhteensovittamista on helpompi tarkentaa kesken tuotannon, kun aluerajoja voidaan käyttää ohjauksessa joustavammin. Myös materiaalivirtojen hallinta helpottuu, kun tilat ovat avoimemmat. Avoimemmissa tiloissa tuotannon tilanne on myös helpompi havaita, kun laajemman alueen voi nähdä kerralla. Työkuormien vaihtelevuus puolestaan aiheuttaa enemmän poikkeamia ja vaikeuttaa niiden ratkaisemista, joten toimiva ohjaus edellyttää enemmän pelivaroja. Kaiken kaikkiaan tahtituotannon ohjaus on luonnollisesti haastavampaa monimutkaisemmissa kohteissa. Ohjauskäytäntöjen suunnittelu ja tahtiajan valinta ovat mahdollisia keinoja sopeuttaa tuotantojärjestelmän organisointia projektin piirteisiin sopivaksi.

Monet havaituista ilmiöistä eivät kuitenkaan selittyneet tahtiajalla tai tahtialueiden luonteella. Kaikissa hankkeissa toistui aiemmin kuvattu tyypillinen tahtivaiheen elinkaari ja niissä käytettiin samoja ohjauskeinoja ja -käytäntöjä. Tapauksissa erottui tyypillisesti tasainen virtaus niin sanotun perustahdin yhteydessä, ja hankkeen loppua kohti lisääntyvät poikkeamat. Tapauksissa oli myös toistuvaa, että poikkeamat ja ongelmat keskittyivät yksittäisille vaunuille tai urakoitsijoille, jotka siten myös kuormittivat ohjausta suhteellisesti muita enemmän. Yksittäisten haastavien vaunujen ongelmat liittyivät kuitenkin eri tapauksissa eri työlajeihin, joten ne johtuivat todennäköisemmin työnjohdon tai urakoitsijan panostuksen, valmistautumisen tai osaamisen puutteesta pikemminkin kuin työlajin luonteesta. Tahtivaiheen elinkaaren piirteet ja yksittäisten ongelmavaunujen mahdollisuus kannattaa tunnistaa mahdollisina riskeinä kaikissa tapauksissa.

3.2.5 Määrällisten tunnuslukujen tutkimus

Visualisoinneista tehtyjen laadullisten havaintojen ja päätelmien lisäksi tapauksen 1 tahtiohjausta analysoitiin syvemmin laskemalla seurantatiedoista kaksi määrällistä indikaattoria: 1)

täsmällisyys 2) virtaustehokkuudet. Tarkoituksena oli selvittää, miten indikaattorit käyttäytyvät seurantakirjausten mahdollistamalla tarkkuustasolla, ja miten niitä voisi hyödyntää tahtituotannon aikataulun pysyvyyden, ohjauksen ja jatkuvan parantamisen mahdollisuuksien ymmärtämisessä. Tulokseksi saatiin, että nämä indikaattorit voivat kuvata tuotannon etenemisen piirteitä tarkalla tasolla, kun kirjaukset tehdään kurinalaisesti. Seurantakirjaustietojen virheet tai puutteet luonnollisesti vaikeuttivat analyysiä, mutta indikaattoreista voitiin niistä huolimatta tehdä karkeamman tarkkuustason päätelmiä. Indikaattoreiden myös tunnistettiin kykenevän tukemaan jatkuvaa parantamista esimerkiksi tunnistamalla yksittäisten virtaustehokkuudeltaan poikkeavia vaunuja ja tahtialueita. Tähän määrälliseen analyysiin perustuvat tarkemmat tulokset julkaistiin konferenssiartikkelissa (Riekkari ym. 2024).

3.3 Esimerkkikuvaukset tapauksista 1 ja 4

3.3.1 Tapaus 1

Tapauksen 1 tutkittu tahtituotantovaihe oli osa laajemmasta uudisrakennusprojektista, jossa oli useita muitakin tahtivaiheita ja muilla kuin tahtituotantomenetelmillä ohjattuja vaiheita. Tutkittu tahtivaihe kattoi sisävalmistuksen kaikki työt siitä alkaen, kun rungon päälle oli saatu asennettua sääsuoja ja töitä voitiin tehdä kuivissa olosuhteissa. Rakennettavat tilat olivat samanlaisia ja pieniä (n. 20 m²), ja työkuormat olivat toistuvia, joten vaihtelu oli näistä molemmista näkökulmista vähäistä. Huoneet (yht. 178 kpl) muodostivat luonnollisen tahtialuejaon, ja tätä vastaavaksi tahtiajaksi valittiin 2 tuntia, joten tuotantonopeudeksi mitoitettiin 2 tuntia / huone. Tutkitun tahtivaiheen edellä tehtiin rungon imussa ennen sääsuojaa omana vaiheenaan töitä, jotka eivät olleet herkkiä sääolosuhteille. Näitä ohjattiin myös tahtiperiaatteilla, mutta ne muodostivat oman kokonaisuutensa, josta ei kerätty tutkimuksen tarpeisiin riittävän tarkkoja seurantatietoja. Seuraavassa kuvataan esimerkein tutkitun tahtivaiheen ohjaustoimia.

Vaikka tutkitun tahtivaiheen aikataulu oli laadittu huolellisesti ennakkoon yhteistyössä urakoitsijoiden kanssa, tahtiaikataulua muokattiin alusta alkaen jatkuvasti tuotannon aikana ilmenneiden poikkeamien ja muiden tarpeiden mukaisesti. Valvontakirjaukset tehtiin mobiililaitteella Excel-muotoiseen aikatauluun vähintään päivittäin. Saatua tilannekuvaa hyödynnettiin ohjauksen apuna. Tahtipalavereita pidettiin päivittäin. Niiden yhteydessä sovittiin ilmenneiden poikkeamien ratkaisemisesta.

Junan alussa oli vaunuja (esim. pölynsidonta, suojien poisto, seinien ruiskutasoitus), jotka olivat tahtijunan tuotantonopeutta huomattavasti nopeampia. Näiden sallittiin edetä muita nopeammin, koska sääsuojan valmistumisen odottaminen oli muodostanut junan alkuun tämän mahdollistavaa puskuria edeltäviin töihin nähden. Nämä työvaiheet ottivat kuitenkin kiinni rungon perässä tehdyt edellisen vaiheen työt viimeisillä alueilla, mikä oli johtamassa törmäykseen. Viimeisten alueiden edeltävissä työvaiheissa oli kuitenkin muista syistä johtuneita poikkeamia, mikä avasi mahdollisuuden muuttaa ruiskutasoituksen aluejärjestystä niin, että vii-

meiset alueet tehtiin poikkeamien selvittelyn aikana. Ohjauskeinona siis priorisoitiin tehokkaasti etenevää työvaihetta suhteessa ongelmista kärsineisiin työvaiheisiin ja hyödynnettiin mahdollisuutta muuttaa aluejärjestystä.

Levyseinätöitä aikataulun mukaisesti aloitettaessa todettiin, että huoneita yhdistävillä käytävillä olevia kuiluja ei päästäisi sulkemaan suunnitellusti puutteellisten välipohjapalokatkosten takia. Tämän seurauksena käytävien osuudet erotettiin alkuperäisestä suunnitelmasta kokonaan, ja niille luotiin uudet omat tahtialueensa, jotka suunniteltiin tehtäväksi myöhemmin, kun kuilujen sulkeminen oli mahdollista. Ohjauskeinona alkuperäisiä vaunuja ja tahtialueita siis muokattiin ja sovitettiin uudelleen päivitettyyn aikatauluun myöhempään ajankohtaan. Tällä siirrolla oli kuitenkin alempana kuvattava vaikutus sähköasennuksiin.

Levyseinäasennuksia seurasi suhteellisen tasaisena edennyt vaihe, johon sisältyi maalaus, puhallinkonvektorit, IV-kanavistot ja talotekniikan eristykset. Tässäkin vaiheessa oli päivittäin pieniä poikkeamia, mutta ne saatiin pääsääntöisesti ratkaistua nopeasti ja niiden vaikutus rajautui 1-2 päivän viiveisiin tai nopeutukseen. Urakoitsijoiden (erityisesti levyseinäurakoitsija) kanssa pidettiin myös erillisiä palavereita, joissa työtapoja muokattiin ja tarkennettiin tahdissa pysymiseksi. Eräs päätös oli esimerkiksi muokata toimitusten takia viivästyneille sähkökeskuskille jätettävät varaukset niin, että ne voidaan asentaa alkuperäisestä aikataulusta poiketen myöhemmin. Toinen esimerkki oli yhden päivän aikapuskurin lisääminen levyseinien ja maalausten väliin, kun töiden aikana tila näiden välillä huomattiin liian ahtaaksi.

Tasaista vaihetta seuranneiden sähkö- ja automaatioasennuksien toteumia ei puolestaan saatu kirjattua aikataulun mukaisesti. Seurantakirjaukset tehtiin jälkijättöisesti useiden viikkojen viiveillä suunniteltua suuremmissa erissä, mikä viestii heikommasta tilannekuvasta ja hallinnasta. Yksi sähkötöihin vaikuttanut tekijä oli aiemmin tehty käytävien levytysten ja maalausten siirto. Nämä työvaiheet siirrettiin tehtäväksi käytävien sähköhylyjen ja johtojen perään, ja sähkökalustus puolestaan siirrettiin tehtäväksi maalausten jälkeen. Seurantakirjaukset olivat tältä jaksolta liian heikkoja tarkkojen päätelmien tekemiseksi, mutta työmaakeskusteluiden perusteella käytävien sähkökalustamista ei päästy aloittamaan suunnitellusti maalausten aiheuttaman pölyhaitan takia. Muita syitä sähkötöiden ongelmiin saattoivat olla muihin työlajeihin nähden heikompi valmistautuminen tai tahtijohtajien sähkötöihin liittyvä puuttuva osaaminen. Työmaakeskusteluiden perusteella sähkötöiden ohjaus oli yleisestikin muita työvaiheita heikompa.

Aikatauluun oli varattu kahden viikon tauko kesälomista aiheutuvien häiriöiden hallitsemiseksi. Seurantakirjauksista vastannut tahtijohtaja jäi tämän alkaessa kesälomalle, minkä jälkeen myös seurantakirjaukset pysähtyivät lähes kokonaan. Päivittäisten kirjausten sijaan tahtijohtajan tuuraaja teki kirjauksia yksittäisinä suurina erinä. Kuitenkin kun seurantakirjaukset lomakauden jälkeen jatkuivat, saattoi niistä päätellä, että aikataulussa oli tänäkin aikana eten-

kin ns. perustahdin osalta pääsääntöisesti pysytty. Tämä lomajakso osui osittain samalle ajanjaksolle edellä mainittujen sähkötöiden toteutuksen kanssa, mikä todennäköisesti osaltaan vaikutti niiden heikompaan seurantaan.

Myös levyseinätöiden aluejärjestystä vaihdettiin viimeisten alueiden osalta samaan tapaan kuin ruiskutasoituksenkin. Tämän päätöksen taustalla oli todennäköisesti samankaltaiset syyt, mutta mahdollisesti myös halu hyödyntää muualta ylimääräiseksi vapautuneita asentajaresursseja.

Viimeisillä alueilla jouduttiin siirtämään myös konvektoriasennusta ja sitä seuraavaa koko työjonoa aikataulussa noin 5 viikkoa eteenpäin. Tämän aiheutti todennäköisesti jo aiemmista vaiheista näille alueille kertyneet poikkeamat. Kaikkien viimeisiin alueisiin liittyvien ongelmien taustalla oli todennäköisesti myös se, että näillä alueilla oli ylimmän kerroksen vesikattoon ja siellä sijainneeseen konehuoneeseen liittyviä aiemmista alueista poikkeavia taloteknisiä asennuksia, joita ei suunniteltu erikseen yhtä huolellisesti. Ylin kerros oli myös muita kerroksia korkeampi, minkä takia osalla työvaiheista (kuten levyseinät ja maalaus) oli edeltäviä alueita suuremmat työkuormat tahtialuetta kohden.

Sähkötöiden ongelmien takia niitä seuranneet ensimmäiset alakatot merkittiin valmiiksi yli 2 kuukautta myöhässä alkuperäisestä aikataulusta. Alakatot alkoivat noin viikko sen jälkeen, kun ensimmäisen kokonaisen kerroksen sähkötyöt oli merkitty valmiiksi. Sähkötöiden ohjauksen ongelmien takia aikataulu toimi enemmän valvontavinjettinä kuin tahtiaikatauluna tästä vaiheesta alkaen.

Vaikka seuranta ja tuotannon hallinta heikkeni sähkötöistä alkaen, aikataulua kuitenkin edelleen päivitettiin loppujen työvaiheiden osalta. Viiveiden kiinni kuromiselle saatiin aikaa siitä, että seuraava työvaihe oli lattiapinnoitus, jota ei kuitenkaan päästy pintabetonilattioiden kuivattamisen takia aloittamaan. Loput työvaiheet lattiapinnoista alkaen päivitettiin tahtiaikatauluun tavoitteena ohjata ne tahdissa loppuun asti. Niiden aloitushetkeä siirrettiin kuivatuksen takia useaan kertaan. Seurantakirjauksia ei kuitenkaan viimeisessä vaiheessa enää tehty yhtä kurinalaisesti kuin alussa. Työmaakeskusteluiden perusteella aikataulua käytettiin lopussa ohjauksen työkaluna edelleen jatkuneen päivittäisjohtamisen yhteydessä, mutta koska töitä oli riittävän vähän jäljellä kokonaistilanteen hahmottamiseksi, ei tarkkoja seurantakirjauksia koettu enää yhtä tarpeellisiksi.

Kokonaisuutena tahtituotannosta saatiin vaikeuksista huolimatta hyötyjä ns. perinteisempiin tuotannonohjausmenetelmiin verrattuna. Esimerkiksi tarkasti ja pieneen eräkokoon suunniteltu tahtiaikataulu mahdollisti seurantakirjausten puutteista huolimatta jatkuvasti tarkan tilannekuvan. Lisäksi tahtituotannon mukana tullut päivittäisjohtaminen oli keskeinen tilannekuvaa, nopeaa poikkeamien havaitsemista ja aktiivista ohjausta tukeva työkalu. Tahtituotanto koettiin kokonaisuuden kannalta pääsääntöisesti hyväksi menetelmäksi, mutta se kärsi kuitenkin monista samanlaisista ongelmista kuin perinteisemmätkin menetelmät.

3.3.2 Tapaus 4

Myös tapauksessa 4 tutkittu tahtituotantovaihe oli osa laajemmasta uudisrakennusprojektista, jossa oli toinenkin erillinen tahtivaihe ja muilla kuin tahtituotantomenetelmillä ohjattuja vaiheita. Tässäkin tapauksessa tutkittu tahtivaihe kattoi sisävalmistuksen kaikki työt siitä alkaen, kun rungon päälle oli saatu asennettua sääsuoja ja töitä voitiin tehdä kuivissa olosuhteissa. Rakennettavat tilat olivat kooltaan vaihtelevia (n. 20-150 m²), ja työkuormat olivat tilojen eri käyttötarkoitusten takia myös vaihtelevia. Tilat eivät muodostaneet luonnollisia tahtialueita, joten tahtialueet muodostettiin koostamalla pienempiä tiloja ja jakamalla suurempia tiloja niin, että tahtialueiden koot vaihtelivat niiden sisältämien työkuormien mukaan noin 70-130 m² välillä. Tahtialueet mitoitettiin kooltaan sellaisiksi, että ne vastaisivat keskimäärin työlajien yhden päivän työkuormaa, jolloin tahtiajaksi saatiin yksi päivä. Tahtivaihetta edelsi rungon ja sääsuojan asennus, minkä jälkeen ennen tahtijunan alkua valettiin lattiaplaanoit tahtia suuremmissa eräkoissa. Seuraavassa kuvataan esimerkein tutkitun tahtivaiheen ohjaustoimia.

Myös tässä tapauksessa tahtivaiheen aikataulu oli laadittu huolellisesti ennakoon yhteistyössä urakoitsijoiden kanssa. Tahtiaikataulua muokattiin alusta alkaen jatkuvasti tuotannon aikana ilmenneiden poikkeamien ja muiden tarpeiden mukaisesti.

Valvontakirjaukset tehtiin työmaalla paperille tulostettuun aikatauluun päivittäisten tahtipalavereiden yhteydessä, mistä ne siirrettiin valokuvien avulla Excel-muotoiseen aikatauluun. Sekä paperiaikataulusta että valvontakirjauksilla täydennetystä Excel-aikataulusta saatua tilannekuvaa hyödynnettiin ohjauksen apuna. Pienistä tuotannossa ilmenneiden poikkeamien ratkaisemisesta sovittiin päivittäisten tahtipalavereiden yhteydessä. Lisäksi pidettiin tarpeen mukaan ajoittaisia erillisiä palavereita, joissa ratkottiin suuremmiksi kertyneitä poikkeamia, joiden vaikutus pyrittiin päivittämään jatkuvasti aikatauluun.

Tahtivaiheen alussa levyseinät ja niiden putkitukset etenevät pääsääntöisesti aikataulun mukaan 1-2 päivän viiveillä tai nopeutuksella. Näin pieniä poikkeamia seurattiin viiveinä ilman että aikataulua muokattiin. Vaikka aikatauluseurannassa oli ajoittaisia muutaman päivän tai viikonkin katkoja, niiden jälkeen jatkuneista suuremmista valvontaeristä voi päätellä, että nämä ensimmäiset vaunut etenivät pääsääntöisesti aikataulun mukaisesti aina viimeisille alueille asti.

Sen sijaan levyseinävaihetta seuranneet kattojen pintarakenteet ja alakatto-otsat alkoivat aikataulun mukaan, mutta jäivät heti sen jälkeen noin 5 päivää aikataulusta. Tämän seurauksena aikataulua muokattiin siirtämällä seuraavia työvaiheita (maalaukset, tate-asennukset) ja koko perässä tulevaa työjonoa 4 päivää myöhemmäksi. Samassa yhteydessä kattojen pintarakenteet ja alakatto-otsat siirrettiin seuraavilla vielä aloittamattomilla alueilla tehtäväksi ennen levyseinien hyödyntämällä ensimmäisenä työvaiheena olleiden levyseinien edessä olevaa tyhjää tilaa aikataulussa. Tarkoituksena oli työmaakeskusteluidenkin perusteella muokata työjärjestystä alakatto-otsien ja kattojen pintarakenteiden toteutuksen helpottamiseksi. Kuitenkin tämän muutoksen jälkeenkin nämä vaunut jäivät jälleen aikataulusta muutaman päivän, mutta kuroivat

lopulta viiveen kiinni. Vaunut siirrettiin seuraavan kerroksen alueilla jälleen levyseinien perään, mikä voi osin johtua työmenetelmien muutoksesta uudelleen mutta myös kerroksen tilojen erilaisista detaljiratkaisuista. Ensimmäisten tuotantoviikkojen jälkeen aikataulu saatiin kuitenkin vakautettua, ja nämäkin vaunut saatiin etenemään aikataulun mukaisesti viimeisille alueille asti. Ohjauskeinoina käytettiin siis sekä paremman työjärjestyksen hakemista että pelivarojen käyttämistä viiveiden hallitsemiseksi. Hyvin edenneen levyseinätyön aikataulun mukaista etenemistä ilmeisesti priorisoitiin siirtelemällä ongelmallisempia alakatto-otsia ja katon pintarakenteita levyseinien ehdoilla. Edestakainen siirtely voi toisaalta kertoa myös liian epätarkasta ennakkosuunnittelusta, jossa ei ollut otettu huomioon kaikkia erityyppisten tilojen detaljeihin liittyviä vaihtelutekijöitä eri alueilla.

Aiemmin tehdyn lopputyöjonon 4 päivän siirron jälkeen seuraavat työvaiheet (nauhoitus, pölynsidontamaalaus, IV-kanavistot, sprinklerit, lämmitys- ja jäähdytysputkistot, käyttövesiputkistot) etenivät melko tasaisesti noin 1-3 päivän viivein tai nopeutuksin aikataulun mukaisesti. Esimerkiksi IV-kanavistot jäivät seurantojen perusteella useita kertoja muutaman päivän aikataulusta jälkeen, mutta onnistuivat aina kuromaan viiveen nopeasti kiinni ilman merkittävää vaikutusta muihin vaunuihin. Työmaavierailuiden ja keskusteluiden perusteella etenkin talotekniikka-asennusten yhteydessä hyödynnettiin pelivaroja, jotka eivät näkyneet aikataulussa puskureina. Esimerkiksi IV-kanavistoja ja putkistoja saatettiin tehdä osittain samoilla alueilla ja materiaaleja saatettiin säilyttää suhteellisen väljissä tiloissa aikataulun määräyksiä vapaammin ilman että se aiheutti kokonaisuudelle merkittävää haittaa. Tämä oli mahdollista siksi, että useimmilla alueilla putkistot ja kanavistot eivät olleet samassa kohdassa, vaan asennuksia pystyi tekemään samalla alueella ajoittain myös rinnakkain. Toisaalta paikoitellen järjestelmät saattoivat mennä toistensa yli tai ali niin, että työmaalla sovittiin, että esimerkiksi yksittäisiä kanavia voitiin asentaa aikataulusta poiketen vasta putkistojen jälkeen. Tällaisten pelivarojen hyödyntäminen herättää kuitenkin kysymyksen siitä, voisiko aikataulun suunnitella vielä tarkemmin, jotta niitä ei tarvitsisi. Pienet poikkeamat suhteessa aikatauluun hallittiin päivittäisjohtamisen keinoin, mutta työmaatilanne saattoi myös ajoittain olla jokseenkin sekava.

Seuraavakin työvaihe (sähköhyllyt ja johdot) eteni pääsääntöisesti aikataulun mukaisesti. Sähköjohdotukset oli suunniteltu aikatauluun muista poiketen keskusalueiden perusteella noin 5-10 tahtialueen eräkokoon pitkien johtoreittien vetämisen mahdollistamiseksi. Johdotusten yhteydessä tehtiin myös edellä asennettujen putkistojen painekokeet ja eristykset, jotka hyödynsivät sähkön suurten aluekokojen jättämää väljyyttä aikataulussa. Paineekokeista ja eristyksistä ei kuitenkaan kertynyt seurantatietoja käytetyn Excel-pohjaisen aikataulujärjestelmän rajoitteiden vuoksi.

Alakattorungot ja -levytykset sähköhyllysten ja -johtojen jälkeen alkoivat aikataulun mukaisesti mutta jäivät ensimmäisten alueiden jälkeen noin viikon jälkeen aikataulusta. Viiveen takia aikataulua muokattiin niin, että alakatot ja niitä seuranneet tasoitukset ja maalaukset siirrettiin ensimmäisillä alueilla seuraavien työvaiheiden (sähkön lattiajohdot, asennuslattiat) perään.

Tässä muutoksessa hyödynnettiin ensimmäisillä alueilla olevaa suurinta loppupuskuria. Seuraavilla alueilla alakatot kuitenkin pidettiin alkuperäisellä paikallaan, missä ne pysyivätkin hetken aikataulussa. Kuitenkin jälleen pian alakattojen jatkumisen jälkeen ne jäivät jälkeen. Tässä vaiheessa aikataulua ei enää muokattu niiden osalta, vaan viiveen valvontaa jatkettiin. Alueilla, joissa alakattoja ei saatu suljettua, ne jätettiin jälkitöiksi sen sijaan, että niitä olisi yritetty aikatauluttaa uudestaan. Alakattoja seuranneet tasoitukset ja maalaukset pyrittiin ensimmäisten alueiden siirron jälkeen pitämään alkuperäisellä paikallaan, mutta lopulta ne kaikki siirrettiin lattian sähköjohtojen perään ja niille koostettiin suurempi noin viiden tahtialueen eräkö. Tämän muutoksen jälkeen tasoitukset ja maalaukset toteutuivat aikataulun mukaisesti. Ohjauskeinona käytettiin siis työjärjestyksien muuttamista, kun huomattiin, että alkavat työvaiheet eivät edenneet aikataulun mukaisesti.

Edellisiin muutoksiin näyttää liittyvän se, että lattian sähköjohdot ja asennuslattiat olivat valmiina alkamaan aikataulun mukaisesti ja ne etenivätkin suunnitellusti. Koska edeltävissä työvaiheissa oli ongelmia, päätettiin näitä töitä ilmeisesti priorisoida aikataulumuutoksilla, jotta ne pääsisivät etenemään sovitusti. Lattiasähköjohtoilta oli koostettu aikatauluun suuremmat noin 5-10 tahtialueen eräkoot samaan tapaan kuin katon sähköjohtoilta. Tämä varasi jälleen kerralla suuria alueita, mikä aikatauluseurantojen perusteella mahdollisti osan jälkitöiksi jääneiden työvaiheiden (kuten alakattojen) toteutuksen niiden yhteydessä. Tämä on jälleen esimerkki aikataulun sisäisistä pelivaroista, jotka eivät ole näkyviä puskureita.

Aikataulumuutoksen jälkeen lattiasähköjohtoja ja asennuslattioita seuranneiden tasoitusten ja maalausten perässä viimeisenä selkeänä työvaiheena oli lattioiden mattopinnoitus. Tämä alkoi muokatun aikataulun mukaisesti ja eteni jälleen melko tasaisesti sen mukaan. Aikataulumuutosten yhteydessä mattolattioiden edelle suhteessa tasoituksiin ja maalauksiin oli kertynyt aiempien työvaiheiden suurennetun eräkoon seurauksena noin 1-10 päivän aikapuskuri. Tätä aikapuskuria käytettiin alakattojen ja niihin liittyvien talotekniikan päätelaiteasennusten viimeistelyyn. Valvontatietojen perusteella alakattojen loppuunsaattaminen ohjattiin pistemäisesti yhtä aluetta suuremmissa tahtialue-erissä mattolattiatyön etenemisen ehdoilla. Tätä voitaneen pitää esimerkkinä tilanteesta, jossa hyödynnettiin aikataulumuutosten yhteydessä syntyneitä alkuperäiseen aikatauluun nähden uusia puskureita. Kaikki viiveet ja poikkeamat eivät siis vain kertyneet, vaan niiden vaikutuksia voitiin jatkuvalla aikataulun muokkauksella ja ohjauksella jossain määrin kompensoida keskenään.

Mattolattioiden jälkeen aikatauluun oli suunniteltu vielä kalusteiden ja ovien asennukset sekä näihin liittyvät sähkö-, automaatio- ja putkikalusteet ja -kytkennät. Näiden toteumia ei kuitenkaan enää kirjattu aikatauluun. Työmaahavaintojen perusteella viimeisten työvaiheiden loppuunsaattaminen jätettiinkin päivittäisjohtamisen varaan. Yksi syy tähän oli esimerkiksi se, että ovia ei saatu toimitettua aikataulun mukaan, vaan niitä asennettiin sitä mukaa kun ovia saatiin työmaalle. Tähän vaikutti todennäköisesti myös se, että etenkin ensimmäisillä alueilla ei runsaan loppupuskurin mahdollistamana ollut kovaa aikataulupainetta.

Tahtiaikataulun järjestyksessä viimeisenä ollut alin kerros oli edellisistä kerroksista luonteeltaan merkittävästi poikkeava. Aikataulu oli kuitenkin suunniteltu niin, että työvaiheet etenisivät myös näille alueille samassa järjestyksessä. Tahtijunan alkupäässä työvaiheiden kuten levyseinien ja sprinklereiden osalta tämä toteutuikin, mutta suurin osa muista työvaiheista jäi alettuaan aikataulusta jälkeen. Tämän seurauksena koko kerroksen osuutta aikataulussa muutettiin useaan otteeseen, ja työvaiheiden aloitusta siirrettiin useita viikkoja eteenpäin. Näiden muutostenkaan avulla viimeistä kerrosta ei kuitenkaan enää saatu tahtiaikataululla hallintaan. Työmaavierailujen perusteella vahvistui, että näillä alueilla siirryttiin sekavaksi ajautuneen tilanteen seurauksena muihin ohjausmenetelmiin. Havaintojen perusteella viimeistä kerrosta ei ollut alun perinkään suunniteltu tahtiaikatauluun riittävän tarkasti sen edeltävistä kerroksista poikkeavien piirteiden huomioon ottamiseksi. Tahtisuunnittelussa tulisi siis tällä perusteella tunnistaa entistä paremmin merkittävästi toisistaan poikkeavat vaiheet, ja tarvittaessa suunnitella ne erillisenä tahtivaiheenaan.

Myös tässä tapauksessa tahtituotanto koettiin ongelmista huolimatta pääsääntöisesti onnistuneeksi tuotannonohjausmenetelmäksi perinteisempiin menetelmiin verrattuna. Kuten edellä kuvatussakin tapauksessa, pieneen eräkokoon suunniteltu aikataulu yhdessä päivittäisjohtamisen kanssa mahdollistivat tarkan tilannekuvan, poikkeamien nopean havaitsemisen ja aktiivisen ohjauksen. Myös tahtiaikatauluun kytketty materiaalivirtojen hallinta sai työmaavierailujen perusteella enimmäkseen positiivista palautetta onnistumisen mahdollistajana.

4 Diplomitöissä dokumentoidut eset

Hankkeen yhteydessä tehtiin kolme diplomityötä, jotka keskittyivät yhteen tahtiohjaukseen liittyvään ilmiöön yhdessä hankkeessa. Sarianna Kaihlaniemi (2024) tutki diplomityössään materiaalilogistiikan imuohjausta tahtituotannossa. Eemeli Inkala (2025) keräsi ja analysoi määrällistä dataa sairaalahankkeen tahtituotannossa. Max Virtanen (2025) tutki tahtituotannon ohjausta infrahankkeessa. Tässä raportissa esitellään lyhyet tiivistelmät päätuloksista.

4.1 Materiaalilogistiikan imuohjaus tahtituotannossa (Kaihlaniemi 2024)

Työssä tutkittiin kolmannen osapuolen toteuttamaa logistiikkaa isossa sairaalahankkeessa. Logistiikan toimivuutta selvitettiin hyödyntäen logistiikkajärjestelmän lokitietoja, urakoitsijoiden materiaalimääräarvioita ja havainnointia palavereissa ja työmaalla.

Hankkeessa logistiikkaurakoitsija oli mukana kehittämässä toimintatapoja jo allianssihankkeen kehitysvaiheesta alkaen. Logistiikalle tehtiin arvovirtakuvaus, jossa tunnistettiin arvoa tuottavat ja tuottamattomat osat prosessista. Urakoitsijoille kerrottiin logistiikan keskittämisestä jo sopimusneuvotteluvaiheessa. Merkittävien urakoitsijoiden kanssa käytiin kehitysvaihe, jossa käytiin läpi logistiikan toimintamalli ja laadittiin materiaalilogistiikan suunnitelmat. Urakoitsijoiden kanssa käytiin läpi toimitusten eräkokoja ja välivaraston käyttöä. Osa toimituksista sovittiin myös suoratoimituksiksi.

Hankkeessa oli käytössä logistiikkajärjestelmä, johon syötettiin kehitysvaiheen perustella suunniteltu materiaalitarve alueittain. Urakoitsijat hyödyntävät järjestelmää tilaamalla materiaalit välivarastolle noin kaksi viikkoa ennen tarvetta. Urakoitsija voi seurata materiaalin määrää välivarastolla järjestelmässä ja hyödyntää tätä tietoa tilauksiin. Logistiikkatoimija muistuttaa tarvittaessa urakoitsijoita, jos tilausväli esimerkiksi muuttuu. Välivarastolta tehtiin täsmätoimituksia kolme päivää ennen asennusta tehtyjen kotiinkutsujen perusteella. Täsmätoimitukset toimitettiin tahtialueelle asennusta edeltävänä päivänä. Suoratoimitukset suunniteltiin myös saman järjestelmän kautta. Järjestelmän lisäksi logistiikan ohjaukseen käytettiin päivittäisiä tahtivartteja.

Työssä testattiin logistiikan toimivuutta muurauksille ja väliseinätoille. Muurausurakoitsija tilasi liikaa tiiliä alussa ja tulevia tilausmääriä muokattiin jatkuvasti dynaamisesti todellisen me-
nekin perusteella. Kotiinkutsut viivästyivät usein prosessinmukaisesta kolmesta päivästä ja niitä tehtiin myös edeltävänä päivänä. Materiaalista jäi ylijäämää n. 11 % tutkimuksessa olleiden alueiden jälkeen, mikä aiheutui vaikeudesta arvioida materiaalihukkaa. Tiiliä jouduttiin palauttamaan välivarastoon. Väliseinäurakoitsijalle toimitettiin kahden päivän materiaalit kerralla, vaikka prosessin mukaan täsmätoimitusten piti olla päivittäisiä. Tahtivarttien rooli oli

merkittävä logistiikan ohjauksessa. Logistiikkajärjestelmän sisältämän tiedon lisäksi tahtivarteissa piti sopia kuljetuspaikat. Tahtivarteissa keskusteltiin päivittäin materiaalitarpeista ja pohdittiin muutostarpeita.

Kolmen päivän varautumisaika logistiikassa johti joustamattomuuteen logistiikan prosessissa. Varautumisaikaa tarvitaan kuljetusten ja purkupaikkojen varaamiseen sekä täsmätoimitusten keräilyyn. Tahdin seisahtumisen aiheuttamat muutokset tai materiaalin loppuminen ehkäistiin pysäyttämällä toimitukset tai tekemällä pikakuljetuksia. Näistä sovittiin järjestelmän ulkopuolella puhelimitse. Varautumisaika rajoitti joustavuutta, joten tämän osalta kyse ei ollut kysynnän mukaan välittömästi reagoivasta imuohjautuvasta järjestelmästä. Poikkeustilanteissa järjestelmää ei hyödynnetty, vaan signaalit kulkivat puheluiden ja sähköpostien välityksellä, jonka jälkeen poikkeamat kirjattiin järjestelmään.

Johtopäätöksenä hankkeen logistiikka toteutti varsin hyvin imuohjautuvuuden periaatteita. Kolmen päivän reagointiaika oli kuitenkin liian pitkä suhteessa tahtiajan pituuteen. Poikkeamia oli lyhyelläkin tutkimusjaksolla paljon ja niihin reagoitiin prosessin ulkopuolella. Kehitysehdotuksina prosessi hyötyisi lyhyemmästä lukitusajasta, paremmasta poikkeamatilanteiden hallinnasta ja materiaalitoimittajien osallistamisesta reaaliaikaiseen kulutuksen seurantaan.

4.2 Data-avusteinen tahtituotannon ohjaus sairaalahankkeessa (Inkala 2025)

Työssä kerättiin ja analysoitiin määrällistä dataa suuren sairaalahankkeen tahtituotannon toteutumasta ja poikkeamista. Lisäksi tehtiin suoraa havainnointia ja haastatteluja.

Case-kohde oli allianssimallilla toteutettava sairaalaprosjekti. Rakennus oli jaettu kahdeksaan lohkoon, joissa kussakin oli viisi kerrosta. Kellarikerroksessa oli varsin poikkeavia tiloja, joten siellä tahtituotantoa ei sovellettu kuin yhdellä loholla. Muiden kerrosten osalta tahtialueiden koko vaihteli 200-500 m² välillä ja tahtiaika vastaavasti kahdesta ja puolesta päivästä viiteen päivään. Työn tutkimus kohdistui yhteen kahden ja puolen päivän tahtiajalla tehtyyn lohkoon. Kohteen tahtituotannosta rajattiin pois sisävalmistusvaiheen alun tehtäviä, niiden tilavaatimusten ja eräkoon vuoksi. Tahtituotantoa tehtiin sähköpieliementeistä ja väliseinärungoista lähtien toimintakoesiivoukseen saakka. Työpaketteja tarkastelulohkolla oli yhteensä 57. Ennen tahtituotannon aloittamista tehtiin mallihuoneasennukset neljällä mallialueella. Tällä tavalla voitiin varmistua suunnitelmien toteutuskelpoisuudesta ja perehdyttää työryhmät tahtituotantoon.

Tahtiaikataulu suunniteltiin Exceliin ja siirrettiin sieltä aikatauluohjelmaan tuotannon ohjauksen tueksi. Työkuorma-arviot saatiin urakoitsijoilta, joilta pyydettiin tiedot tahtialuekohtaisista määristä. Tahtiohjauksessa hyödynnettiin viikko-ohjelmaa, joka sisälsi kaksi nokkamiespala-

veria (tahdin alkaessa) ja kerran viikossa tapahtuvan tahtikontrollin, työmaakerroksen ja urakoitsijapalaverin. Nokkamiespalaverissa käsiteltiin perusteellisesti edellisen tahdin toteutuma ja häiriöt sekä varmistettiin, että tulevassa tahdissa voidaan aloittaa työt ilman esteitä. Mahdolliset viive- ja rästityöt käytiin myös läpi. Tahtikontrollissa käytiin läpi tahtituotannon tilannekuva ja esteloki sekä logistiikkatilanne. Tahtikontrollissa käsiteltiin myös aikataulu- ja suunnitelmamuutokset. Urakoitsijapalaverit noudattivat muuten tavanomaista agenda, mutta siellä käsiteltiin myös poikkeamat ja resurssitarpeet, joita ei voitu ratkaista nokkamiespalaverissa tai tahtikontroleissa.

Tutkimuksessa analysoitiin määrällistä aikatauludataa. Urakoitsijoiden nokkamiehet tekivät kirjauksia järjestelmään. Töitä merkittiin valmistuneeksi ja lisäksi merkittiin esteitä sekä poikkeamia. Ohjaustoimenpiteitä ei dokumentoitu järjestelmään. Aikatauluohjelmiston kirjauksia tehtiin usein vähän jälkijättöisesti, jolloin yhden tahdin sijasta kestoksi kirjautui kaksi tahtia, kun toteutumakirjaus on tehty edellisen tahdin osalta maanantaiaamun nokkamiespalaverissa. Siten tehtävät, jotka kestivät kaksi tahtia, saattoivatkin olla valmistuneet tahtiaikataulun mukaan. Tehtävien viiveitä verrattiin aikatauluohjelmassa kyseisellä hetkellä voimassa olleeseen uusimpaan tahtiaikatauluun.

Vaikka analyysin tulokset osoittavat, että tahtiaikataulussa oli jatkuvasti pieniä viiveitä, häiriöitä kirjattiin koko tarkastelujakson ajalta vain 25 kappaletta. Suurin osa (16) liittyi edellisen työvaiheen puutteellisuuteen. Yksittäisiä poikkeamia liittyi mm. suunnitelmapuutteisiin (3) ja materiaaleihin (1). Kun tutkitusta 300 työvaiheesta myöhässä alkoi 58 työvaihetta, raportoidut poikkeamat eivät tunnu kertovan koko totuutta. Viivästymiset kasaantuivat alkuvaiheen tahteille, erityisesti tahteihin 5-14, jolloin oli laajoja aloitus- ja valmistumisviiveitä. Tahdistä 15 alkaen tuotanto pysyi hyvin tahdissa.

Työssä tehtiin määrällisten analyysien lisäksi havaintoja, jolloin saatiin tarkempia tietoja tyyppillisistä häiriöistä. Varsin usein työvaiheet alkoivat suunniteltua aikaisemmin. Aliurakoitsijat pyrkivät tällä löysempään tahtiaikatauluun ja loivat hankkeeseen aikapuskuria. Tästä syntyi kuitenkin kommunikaatiohaasteita, kun työryhmät eivät tulleetkaan suunnitellusti peräjälkeen sijainteihin. Lisäksi puutteita havaittaessa paluu takaisin aiempaan sijaintiin on aikaa vievää kuin tiiviissä tuotannossa.

Urakoitsijoiden töiden aikaistaminen aikatauluja muokattaessa osoittautui haasteelliseksi. Maalaustöitä jouduttiin hankkimaan tuntitöinä toiselta urakoitsijalta, koska alkuperäinen maalausurakoitsija ei ehtinyt työmaalle, kun aloitusta aikaistettiin. Tämä johti kasautuviin viiveisiin. Viivästyneiden tehtävien uudelleen aikatauluttaminen oli haasteellista.

Aloitusedellytyksien hallinta ei ollut työmaalla systemaattista, mikä johti viiveisiin. Aloitus- edellytysten puuttuminen liittyi yleensä puutteelliseen kommunikaatioon ja viestintään tarpeista ja reunaehdoista.

Vaikka ohjaustoimenpiteitä ei kirjattu järjestelmään, niitä selvitettiin haastattelemalla ja havainnoimalla. Tärkeimpiä ohjaustoimenpiteitä olivat tahtialueiden muokkaus, työjärjestysten muutokset, osallistamisen tehostaminen, vaunusisältöjen muuttaminen, puskurien hyödyntäminen ja työvaiheiden aikainen aloitus.

Tahtialueiden muokkausta tehtiin jo projektin alkuvaiheessa. Tavoitteena oli tehostaa työn suorittamista ja selkeyttää työvaiheiden rajapintoja. Tuotannon yhteentörmäyksiä voitiin vähentää muokkaamalla tahtialueen rajat siten, että työtä ei tarvitse keskeyttää. Tahtialuesuunnitelmia päivitettiin jatkuvasti erilliseen ohjelmistotyökaluun, josta työntekijät näkivät ajantasaisen aluejaon. Ohjelmisto näytti muutokset tahtialueissa.

Työjärjestysten muuttamista tehtiin esimerkiksi laatoitustöiden viivästymisen hallitsemiseksi. Myöhässä olleet laatoitustyöt integroitiin käynnissä oleviin tahteihin, joissa niitä tehtiin sitä mukaa, kun tarvittavat resurssit vapautuivat. Työt etenivät ”varamestamaisesti”, kunnes edettiin työvaiheisiin, jotka oikeasti edellyttivät laatoitustöiden valmistumista. Tämä on hyvä esimerkki aikatauluissa olevista pelivaroista, jotka eivät ole puskureita – osa vaunuista voidaan tarvittaessa toteuttaa yhdessä toisten vaunujen kanssa.

Osallistamisen tehostaminen tarkoitti urakoitsijoiden vaatimista osallistumaan sovittuihin kokouksiin (tahtikontrollit, nokkamieskokoukset). Kaikki urakoitsijat eivät aina olleet paikalla kokouksissa, mikä edellytti aktiivista ohjausta. Kaikkien osallistuminen paransi sitoutumista ja töiden yhteensovitusta ilman välikäsiä. Nopea ongelmien ratkaisu tehosti työryhmien ajankäyttöä. Osallistuminen kokouksiin edisti tuotannon sujuvuutta ja tahtituotannon etenemistä suunnitelman mukaisesti.

Vaunusisältöjen muutoksia tehtiin tarkastelujaksolla kaksi kertaa. Molemmat onnistuivat ja edistivät tuotannon virtausta. Esimerkiksi pohja- ja pintatasoitustyöt yhdistettiin samaan vaunuun, mikä mahdollisti tasaisemman etenemisen ja resurssien tehokkaamman käytön. Ohjaustoimenpide onnistui, koska sen jälkeen tasoitetyöt etenivät suunnitellussa tahtiaikataulussa.

Hankkeessa hyödynnettiin tiettyjä työvaiheita **puskureina**. Esimerkiksi reikien merkkaukset toimivat puskurityövaiheena. Mitoitettu työvaiheen kesto oli vain kaksi tuntia mutta sille varattiin kokonainen tahti. Puskurista oli hyötyä, koska merkkaukset edeltävät maalaustyöt viivästyivät, jolloin puskuri auttoi kirmuamaan viivettä. Vastaavalla tavalla reikien teko ja tiivistystyöt toimivat puskureina. Perinteisten aika- ja kapasiteettipuskurien lisäksi voisikin jatkossa pohtia suunnitteluvaiheessa, voisiko tiukkaan mitoitettua vaunua sijoittaa vähemmän tiukkaan mitoitettua vaunua.

Työssä havaittiin, että tahtituotannon ohjauksesta ei jää riittävästi tietoa digitaalisiin järjestelmiin. Tässä hankkeessa epätarkkuutta aiheutti kirjaustarkkuus. Jos työ kirjattiin valmiiksi vasta nokkamiespalaverissa, järjestelmä tulkitsee työvaiheen viivästyneeksi, koska maanantain

noikkamiespalaveri oli uuden tahdin alussa. Tämä vääristi toteutumatieta ja vaikeutti todellisten häiriöiden tunnistamista. Pidemmälläkin tahtiajoilla olisi syytä tarkentaa toteutumien kirjausta esim. päivittäisiksi, jolloin voidaan myös havaita nopeammin valmistuvat työvaiheet.

Kuten muissakin tutkimuksissa on moneen kertaan havaittu, poikkeaminen kattava kirjaaminen ei tässäkään hankkeessa toiminut. Poikkeamia kirjattiin hyvin vähän toteutuneihin poikkeamiin verrattuna. Kattavampi kirjaaminen mahdollistaisi paremmin tahtituotannon jatkuvan parantamisen.

4.3 Tahtituotannon ohjaus infrahankkeessa (Virtanen 2025)

Max Virtasen (2025) diplomityössä sovellettiin tahtituotantoa infrahankkeeseen ja kehitettiin Last Planneria ja tahtituotantoa yhdistelemällä toimintamalli infrahankkeen ohjaukseen. Työn ohessa kehitettiin digitaalinen järjestelmä, joka yhdisti tahtiaikataulun, aloitusedellytysten hallinnan ja viikkosuunnittelun yhteen työkaluun.

Menetelmää sovellettiin vierasvenesataman rakennusurakkaan, jossa keskeisiä työvaiheita olivat rantamuurielementtien asennus, vesihuollon rakentaminen ja satama-alueen ruoppaus-työt. Tärkein työvaihe oli 283 esivalmistetun betonielementin asentaminen ja niiden päälle tuleva yhtenäinen reunapalkki. Tahtituotannossa korostui tehtaan valmistuskapasiteetti ja työmaan asennuksen välisen tuotannon yhteensovittaminen. Tehtaan kapasiteetti oli puolet asennuskapasiteetista, mitä hallittiin suunnittelemalla jo etukäteen kaksi asennustaukoa elementtien asennuksen ajalle.

Vaikka hankkeen aikana tapahtui paljon poikkeamia, tuotanto pysyi ohjauksella varsin hyvin aikataulussa. Alkuperäistä aikataulua muutettiin mm. lisä- ja muutostöiden takia. Poikkeamia liittyi esimerkiksi **toimituksiin**. Elementtivalmistajalla oli joustamaton kapasiteetti ja tuotannossa oli katkoksia. Lisäksi erikoiselementtien suunnitelmat myöhästivät. Ohjaustoimenpiteinä elementtejä ennakko-varastoitiin työmaalle ja mukautettiin työmaan aikataulut valmistajan toimituksiin. Erikoiselementtien osalta työjärjestyksiä piti mukauttaa.

Resurssipoikkeamat liittyivät koneiden saapumisen viivästymiseen ja reunapalkin liian hitaaseen tahtiin. Nämä saatiin korjattua pitkällä työpäivillä ja viikonlopuilla ja resursseja lisäämällä. **Pohjatöiden epätasainen laatu** hidasti elementtiasennuksia. Ohjaustoimenpiteenä pohjat viimeisteltiin juuri ennen asennuksia ja tekijöitä vaihdettiin kokeneempiin, mikä johti elementtiasennuksen sujuvampaan asennukseen. **Heikko tiedonkulku** elementtitehtaan ja asennuksen välillä aiheutti viivästyksiä ja taukoja asennuksessa. Ohjauskeinona oli lisätyt säännölliset palaverit ja reaaliaikainen tiedonvaihto. **Lisätyöt** aiheuttivat suunnitelmien viivästymistä ja aikataulupäivityksiä. Ohjaustoimenpiteenä olivat työjärjestyksen muutokset ja aikataulun päivitykset. Lisäksi tilaaja luopui osasta lisätöitä.

Ohjauksen kannalta työn tärkein johtopäätös oli, että kaikki poikkeamat, jotka vaikuttivat yksittäisiin tehtäviin, saatiin käytössä olevilla ohjauskeinoilla täysin hallintaan. Laajemmat ongelmat, jotka vaikuttivat useisiin tehtäviin ja vaativat ulkopuolisten toimijoiden osallistumista, olivat vaikeampia hallita. Tämä havainto korostaa yhteistoiminnallisten mallien tärkeyttä ohjauksen edellytysten parantamisessa.

5 Maturiteettimallin päivitys

Teimme osana tahtiohjauksen tutkimusta päivityksen aiemmin julkaistuun (Lehtovaara ym. 2020) tahtituotannon maturiteettimalliin. Tämän työn tulokset julkaistiin konferenssiartikkelissa (Riekkä ym. 2024), ja nostamme niistä tähän loppuraporttiin olennaisimmat. Konferenssiartikkelin julkaisun jälkeen päivitykseen tehtiin vielä pieniä lisäyksiä, jotka on otettu mukaan alla olevaan kuvaukseen.

Tarve maturiteettimallin päivitykselle nousi Aalto-yliopiston, Berkeleyn yliopiston (P2SL), Visonin ja RILin yhteistyönä järjestämissä webinaarimuotoisissa tahtifoorumeissa käytyjen keskustelujen perusteella. Tahtifoorumeissa kuulluista yritysten esityksistä ja niiden pohjalta käydyistä keskusteluista kävi ilmi, että osa alan toimijoista on edennyt osittain muuta kuin maturiteettimallin tarjoamaa polkua tahtituotannon käyttöönotossa ja että käytännön sovellutuksissa oli piirteitä, joita maturiteettimalli ei vielä kattanut. Tältä pohjalta kävimme tahtifoorumeista otetut tallenteet uudelleen läpi, ja keräsimme niistä aiheita, joilla maturiteettimallia olisi syytä päivittää.

Maturiteettimalliin tehtiin muutoksia sekä muokkaamalla alkuperäisten tasoa vastaavien vaatimusten kuvauksia että lisäämällä uusia vaatimuksia. Tältä pohjalta päivitetty maturiteettimalli on esitetty taulukossa 2. Alkuperäiseen malliin lisätyt kohdat on korostettu lihavoinnilla ja vaatimukset, joiden sisältöä muokattiin, tähdellä (*).

Malliin lisättiin taso o, joka kuvaa kolmea tyypillisiksi tahtituotannon käyttöönottoon tunnistettua lähtöpistettä. Työmaalla tunnistetun tarpeen lisäksi tahtituotantoa on otettu käyttöön osana Last Planner Systemiä erityisesti Pohjois-Amerikassa. Työmaalähtöisyyden lisäksi myös tilaajien vaatimus havaittiin merkittäväksi syyksi aloittaa tahtituotannon hyödyntäminen.

Tason i) kuvausta tarkennettiin tunnistamalla, että alkuvaiheessa tahtituotantoa tyypillisesti hyödynnetään vain yksittäisessä projektin vaiheessa, vaikka projekteihin usein sisältyy myös muita vaiheita, joita ohjataan tahtivaiheen ulkopuolella. Pienissä projekteissa yksi tahtivaihe saattaa kattaa valtaosan koko projektista, mutta laajemmat projektit voivat sisältää useita osakohteita, jotka on syytä tunnistaa erillisiksi vaiheiksi. Keino aloittaa tahtituotannon käyttöönotto onkin kehittää tahtituotannon kykyjä keskittymällä aluksi yksittäisiin vaiheisiin.

Tasaille ii) ja iii) lisättiin yhteensä viisi uutta vaatimusta (alla UV) ja tarkennettiin yhteensä kuusi alkuperäisen vaatimuksen kuvausta (alla V). Nämä uudet vaatimukset ja tarkennukset kuvataan seuraavissa kappaleissa. Vaatimusten tarkennuksissa on käännetty alkuperäinen kuvaus suomeksi ja osoitettu niihin ehdotetut muutokset kurstiivilla.

Taulukko 2: Päivitetty maturiteettimalli

Taso 0)	Lähtöpisteet tahtituotannon käyttöönotolle
L1	Työmaalla tunnistettu tarve tahtituotannolle
L2	Tahtituotanto osana Last Planner Systemiä
L3	Tilaaajan vaatimus
Taso i)	Tekninen tahtisuunnittelu yhdessä projektin vaiheessa (projektitaso)
V1	Tuotantosuunnitelma vastaa asiakkaan tarpeita
V2	Tahtialueet, tahtiaika ja vaunut resursseineen on määritelty yksiselitteisesti
V3	Tehokas visuaalinen johtaminen on taattu
Taso ii)	Osapuolten sitouttaminen ja tahtiohjaus (projekti- ja organisaatiotaso)
UV1	Kaikki tai useimmat projektin vaiheet toteutetaan toisiinsa kytkettynä tahdilla
UV2	Strateginen tahtikonsepti on muodostettu ennen toimitusketjuosapuolten valintaa
V4*	Hankkeen osallistujien koulutus ja osallistuminen varmistetaan
V5*	Logistiikka on integroitu ja tahdistettu tuotantosuunnitelmaan
V6*	Suunnitteluprosessi on integroitu ja tahdistettu tuotantosuunnitelmaan
V7	Yhteinen tilannekuva tuotannon aikana varmistetaan
V8	Esteisiin puututaan yhteistyössä jatkuvalla parantamisella
V9	Laadunvalvonta on systemaattista ja tahtiin perustuvaa
UV3	Tilaaajan päätöksentekoprosessi on ohjattu tahtia tukevaksi
Taso iii)	Jatkuva parantaminen hankkeiden yli (organisaatio- ja aluetaso)
V10*	Yhteistyöryhmien ja kumppanuuksien muodostaminen ja kehittäminen
V11*	Sopimukseen perustuva integrointi
V12	Järjestelmällinen hukan poistaminen projektien yli
UV4	Suunnitteluprosessi ja suunnitteluratkaisut on standardoitu vastaamaan projektien vaatimuksia
V13*	Teollinen logistiikka ja materiaalivirta
V14	Standardoidut, tahtipohjaiset työmääräkirjastot
V15	Parantaminen KPI:iden ja datalähtöisen päätöksenteon avulla

Lihavointi: lisäys; *: muokkaus

UV 1: Tahtituotantoa sovelletaan kaikkiin tai useimpiin projektin vaiheisiin niin, että ne muodostavat eheän koko projektin tuotannon virtauksen mukaisen kokonaisuuden. Erilliset tahtivaiheet toteutetaan omina kokonaisuuksinaan, mutta ne kytketään toisiinsa kokonaisuutta palvelevasti. Myös vaiheet, joita ei toteuteta tahtituotannolla, kytketään tahtivaiheiden ohjaamana projektin kokonaisuuteen.

UV 2: Projektin aikaisessa vaiheessa muodostetaan strateginen tahtikonsepti, joka kuvaa koko projektin läpivientiä tahtivaiheittain. Tarkoituksena on mahdollistaa aikainen sopiminen osapuolten kanssa tahtiperiaatteilla toteutettavasta projektista.

V4*: Projektin osallistujat, erityisesti työnjohtajat ja työntekijät, koulutetaan menestymään tahtituotannossa. Osallistujat otetaan mukaan tahtisuunnitteluun heidän asiantuntemuksensa hyödyntämiseksi ja tahtisuunnitelmaan sitouttamiseksi. Osallistaminen edellyttää, että alustava suunnitelma on muodostettu ja sitä jatketaan hankintatoiminnan mukana. *Koulutus sisältää yleisiä lean-johtamisen aiheita ja painottaa uusien tapojen oppimista ja poisoppimista*

vanhoista tavoista. Simulaatiopelejä ja tahtisuunnittelun matematiikkaa käytetään ajattelutapojen muuttamiseen.

V5*: Materiaalien toimitukset työmaalle, materiaalin varastointi ja kuljetus työmaalla suunnitellaan, puskuroidaan ja hallitaan siten, että materiaalit ovat saatavilla joka tahdille ajoissa. *Erilaiset materiaaliveirrat otetaan huomioon mm. käyttämällä ulkopuolisia puskureita (väli-varastoja) suurille materiaaleille ja työmaalla olevia puskureita (pientarvikevarasto) pienille materiaaleille.*

V6*: Suunnitelmat toimitetaan ja tarkastetaan etukäteen jokaisen tahdin kohdalla. Rakennettavuus varmistetaan urakoitsijoilla ennen jokaista tahtia keskeytymättömän tiedonkulun saavuttamiseksi tuotannon aikana. *Suunnittelun kypsyys on ohjattu tahtiaikataulun asettamiin välitavoitteisiin. Suunnittelijat on koulutettu vastaamaan työmaan pyyntöihin aikataulun mukaisesti.*

UV3: Strateginen tahtisuunnitelma mahdollistaa tärkeimpien tilaajan päätöksentekopisteiden määrittämisen ja ohjaamisen. Päätöksentekopisteet tehdään näkyväksi ja tilaaja sitoutetaan niihin tahtituotannon etenemisen mahdollistamiseksi.

V10*: Kumppanuuksia muodostetaan yli projektien, mikä mahdollistaa johdonmukaisten työryhmien kehittämisen. Aikaisemmista projekteista hankittu tieto siirretään yksilöiden tiedosta työryhmien tietoon ja edelleen seuraaviin projekteihin. *Yritysten välille muodostetaan kumppanuuksia ja osaamista rakennetaan yhteistyössä kypsempien organisaatioiden johdolla.*

V11*: Sopimusmallit mahdollistavat eri osapuolten integroinnin tukemaan tahtituotannon keinoja esimerkiksi mahdollistamalla avainosapuolten (kuten urakoitsijoiden, suunnittelijoiden) integroinnin projektin varhaisessa vaiheessa ja mahdollistamalla riskien ja hyötyjen jakamisen riittävästi projektiorganisaatioiden kesken. *Vaatimukset asiakkaan päätöksenteolle tuotantojärjestelmän palvelemiseksi sisällytetään sopimukseen.*

UV4: Suunnitteluprosessia ja suunnitteluratkaisuja standardoidaan ja parannetaan jatkuvasti tahtituotannon asettamiin vaatimuksiin vastaaviksi. Tämä on edellytys teollisen rakentamisen kehittämiseksi ja esivalmistuksen lisäämiseksi.

V13*: Sijaintipohjaista materiaalilaskentaa hyödynnetään materiaalin kulutuksen seurannan ja jatkuvan hukan poistamisen mahdollistamiseksi. Logistiikan, materiaalien ja kierrätysmateriaalien hallinta erotetaan lisäarvoa tuottavasta työstä esimerkiksi hyödyntämällä materiaaliveirtoja ohjaavaa logistiikkaoperaattoria. *Materiaalitoimituksia käytetään tuotannon ohjaukseen. Materiaalihallintajärjestelmiin kertynyttä dataa hyödynnetään jatkuvaan parantamiseen.*

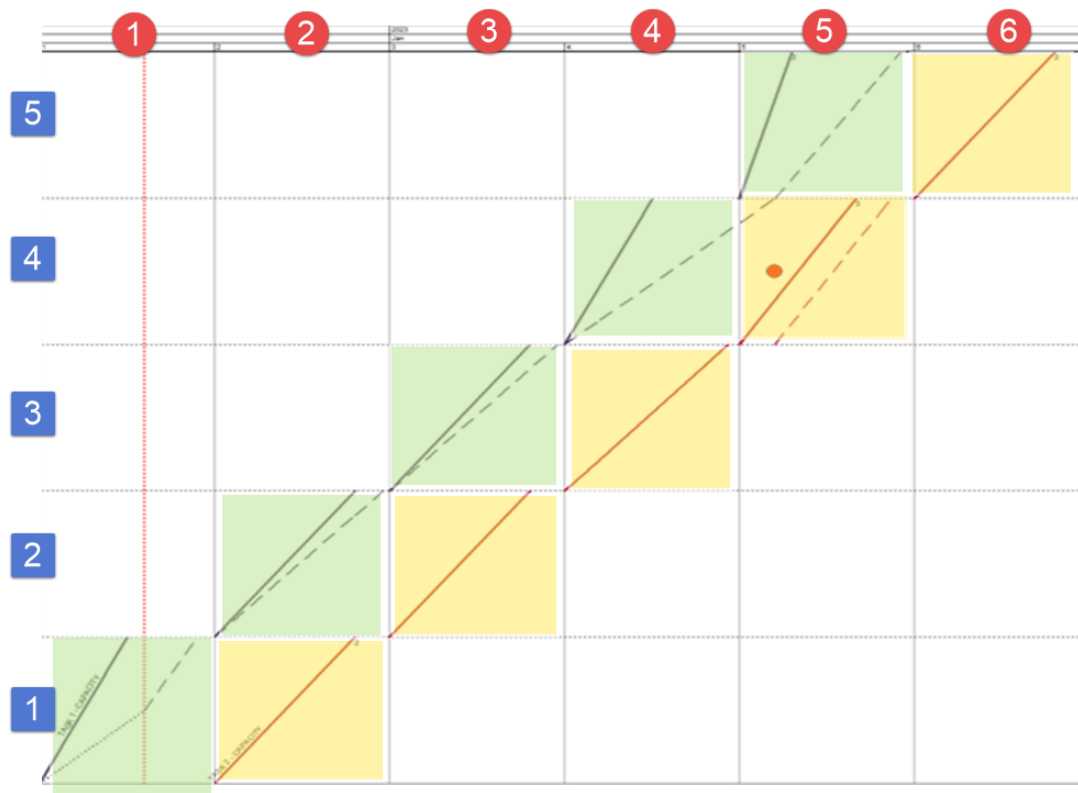
6 Ennusteet tahtituotannossa

Paikka-aikakaaviopohjaiseen tuotannonohjaukseen kuului olennaisena osana ennusteiden laskenta toteutuneiden tuotantonopeuksiin pohjautuen. Tahtituotannossa ennusteita ei ole vielä esitetty mutta niille voisi kuitenkin olla tarvetta. Erityisesti työkuormien erotessa sijaintien välillä näkemys työtahdista voi hämärtyä johdolla, jos ohjaustoimenpiteitä suunnitellaan vain silloin, kun tahtia ei saada toteutettua suunnitelman mukaan. Aikatauluennusteet voivat olla hyödyllisiä samanlaisissa tilanteissa kuin paikka-aikaakaviossakin:

- **Eri tahtialueilla eri resurssit / kapasiteettipuskurit (vaihtelevat työkuormat)**
- **Resurssimäärät poikkeavat suunnitellusta**

Voidaan sanoa, että tahdin erityishaasteena on se, että keskitytään liikaa tahdin alueiden valmistumiseen, jolloin hahmotus tuotantonopeudesta jää ohuemmaksi. Tuotantonopeudet voisi tuoda näkyväksi tahtituotannossa piirtämällä vinoviivoina suunnitelmat, toteutumat ja ennusteet tahtiaikatauluun. Tämä voisi olla tahtiohjelmistoissa käyttäjän valitsema vaunukohtainen optio, joka oletusarvoisesti ei ole päällä, koska näkymistä tulee ajan mittaan varsin sekavia. Ennustenäkömää hyödyntäisi esimerkiksi aikatauluinsinööri, joka voisi ennusteen pohjalta tuoda kokouksiin käsiteltäväksi tahdin ohjaukseen liittyviä päätöksiä. Samalla tavoin kuin paikka-aikakaaviopohjaisessa ohjauksessa, näissä ohjauskokouksissa käsiteltäisiin vain muutamaa vaunua kerrallaan, jolloin visualisointi säilyy yksinkertaisena.

Kuvassa 3 on esitetty esimerkki, jossa on kaksi tehtävää - vihreä ja keltainen vaunu. Tahtialueiden sisään on piirretty vinoviivat. Kiinteä viiva on suunnitelma. Kapasiteettipuskurin voi lukea vaakasuoraan kiinteän viivan ja tahtiajan lopun välisestä erosta kussakin sijainnissa. Piste-viiva on toteutuma. Se näyttää, että työ on edennyt hitaammin kuin suunniteltu. Ennuste on katkoviiva, joka on laskettu yhdellä lisäresurssilla. Jos eteneminen jatkuu samaan tahtiin, tahdissa pysytään vielä kaksi seuraavaa aluetta mutta jos resursseja vähennetään suunnitellusti alueilla 4 ja 5, samalla tuotantonopeudella tahti viivästyy. Ennusteilla voidaan kokeilla tuotantonopeuksia eri resurssimäärillä, jos sujuvan työn edellytyksiä ei voi parantaa. Lisäksi tuotantonopeuspoikkeamat voidaan havaita, vaikka tahdissa pysytäänkin.



Kuva 3: Yhdistetty tahtiaikataulu ja paikka-aikakaavio tuotantonopeuksien analysointiin

7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Hankkeessa tutkittiin tahtituotannon ohjausta ja ohjaustoimenpiteitä. Tutkimuksessa tutustuttiin useisiin tapauksiin. Osa tapauksista oli hyvin toistuvia mutta toisissa tapauksissa oli paljon erilaisiin käyttötarkoituksiin tarkoitettuja tiloja. Tahtiajat vaihtelivat alle päivästä viikkoon.

Yksikään hanke ei valmistunut täsmälleen suunnitelman mukaan. Ohjauksen merkitys tahdin onnistumiseen on siis merkittävä. Menetelmät tahdin ohjaukseen vaihtelivat kuitenkin merkittävästi hankkeesta toiseen. Toisissa hankkeissa aikataulua ylläpidettiin jatkuvasti, joten sitä voitiin pitää jatkuvasti päivittyvänä, ajantasaisena tuotantoennusteena. Toisissa hankkeissa aikataulua pidettiin lukittuna ja seurattiin aikataulun viiveitä. Tutkimuksessa ei käynyt vielä ilmi, kumpi on parempi tai oikeampi tapa mutta selkeästi havaittiin kaksi koulukuntaa.

Tahdin ohjauksessa on perinteisesti korostettu erilaisia puskureita. Tyypillisimmin tahtiin liitettyjä puskureita ovat kapasiteettipuskuri, viikonloput / illat, projektin tai vaiheen loppuun jätetty puskuri ja varatyökohteet. Kapasiteettipuskuri syntyy siitä, kun työt mitoitetaan loppumaan hyvissä ajoin ennen tahtiaikaa. Tällöin joka tahtiin jää jonkun verran puskuria hyödynnettäväksi. Viikonloppujen ja iltojen hyödyntäminen on luonnollinen puskuri. Projektin tai vaiheen loppuun jätetään yleensä tyhjää ja ”puskurivaunuja” siirretään tarvittaessa viivästyneiden tahtien perään. Varatyökohteet ovat usein tahdissa tärkeitä, koska niihin voidaan siirtyä työskentelemään silloin, kun työt eivät pääse etenemään tahtijunassa.

Uutena löydöksenä havaittiin, että ”virallisten” puskurien lisäksi tahdissa on runsaasti muutaakin pelivaraa, jota voidaan hyödyntää tahdin ohjaukseen. Esimerkiksi kesken jääneiden vaunujen sisällön osittainen siirtäminen jälkityöksi myöhempiin vaunuihin on ohjaustoimenpide, joka ei käytä edellä mainittuja puskureita. Perättäisten vaunujen limitystä oli usein mahdollista lisätä tarkentamalla vaunujen yhteensovitusta. Aputöitä voitiin tarjota ulkoisilla resursseilla. Näitä pelivaroja hyödynnettiin usein normaalien puskurien hyödyntämisen lisäksi. Erilaisten pelivarojen tunnistaminen olisi hyödyllistä jo tahtituotannon ennakosuunnittelussa.

Tahtialueiden ja työlajien vaihtelut vaikuttavat merkittävästi tahtituotannon ohjaukseen. Ohjaus on helpompaa, kun alueet ovat täysin toistuvia. Kuitenkin toistuvissakin hankkeissa on usein vähemmän toistuvia osia. Raportissa yksityiskohtaisemmin esitetyssä kahdessa tapauksessa molemmassa hankkeet joutuivat ongelmiin, kun edettiin viimeisille poikkeaville alueille. Ennakosuunnittelussa pitäisikin käyttää enemmän aikaa poikkeavien alueiden suunnitteluun. Kaikissa hankkeissa oli muutama työlaji, jotka aiheuttivat koko projektiin merkittäviä viiveitä ja edellyttivät aikataulujen uudelleen suunnittelua. Urakoitsijavalinnan merkitys korostuu tahtituotannossa. Vaatimukset pitäisi tehdä selväksi jo urakkaneuvotteluvaiheessa ja varmistaa riittävät resurssit ennen töiden alkamista.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että tahtihankkeet ovat usein hankkeen aikana viivästyneitä alkuperäisestä näkemyksestä. Tahti kuitenkin motivoi osapuolia tarkempaan ohjaukseen ja ohjaustoimenpiteet käynnistettiin heti. Monissa tapauksissa aikatauluissa olevat puskurit ja pelivarat mahdollistivat lähes alkuperäisessä aikataulussa valmistumisen. Projektitiimien ei siis kannata antaa periksi, kun tahtituotannossa on poikkeamia. Käytössä on paljon työkaluja, joilla poikkeamien kokonaisvaikutusta voi vähentää. Jos hankkeen loppuun on jätetty puskuria, myös aikataulun päivittäminen ja tahdin uudelleen käynnistäminen on mahdollista ja usein käytetty ohjaustoimenpide.

Hankkeessa aloitettiin myös aineiston määrällinen analyysi ja laskettiin tunnuslukuja mutta koska datan keruu jatkui vielä hankkeen loppumisen jälkeen, määrällinen analyysi päätettiin jättää jatkohankkeessa tehtäväksi. Samoin tahtituotannon ennusteet päätettiin kehittää loppuun jatkohankkeessa.

Lähdeluettelo

- Binninger, M., Dlouhy, J., Steuer, D. & Haghsheno, S.. (2017). Adjustment Mechanisms for Demand Oriented Optimisation in Takt Planning and Takt Control. *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 613–620). <https://doi.org/10.24928/2017/0086>
- Binninger, M. (2021). *Untersuchungen zum Arbeitsfluss in getakteten Bauproduktionssystemen aus Perspektive von Generalunternehmern* (Julkaisunumero 75) [Väitöskirja, Karlsruhe teknillinen instituutti]. <https://doi.org/10.5445/KSP/1000139278>
- Inkala E., (2025). *Data-avusteinen tahtituotannon ohjaus sairaalahankkeessa*. Diplomityö. Aalto-yliopisto, rakennustekniikan laitos. <https://aaltodoc.aalto.fi/items/9c015726-77f5-4fda-8408-2fde14b51045>
- Kaihlanieniemi, S. (2024). *Materiaalilogistiikan imuohjaus rakentamisen tahtituotannossa*. Diplomityö. Aalto-yliopisto, rakennustekniikan laitos. <https://aaltodoc.aalto.fi/items/aa39abe1-a8f3-4fb0-8fb7-bc0b3ef87a2e>
- Kenley, R., & Seppänen, O. (2010). *Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control*. Spon Press: London & New York.
- Lehtovaara, J., Heinonen, A., Lavikka, R., Ronkainen, M., Kujansuu, P., Ruohomäki, A., Örmä, M., Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2020). Takt Maturity Model: From Individual Successes Towards Systemic Change in Finland. *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Berkeley, California, USA*. (pp. 433-444) <https://www.doi.org/10.24928/2020/0017>
- Lehtovaara, J., Seppänen, O., Peltokorpi, A., Kujansuu, P., & Grönvall, M. (2021). How takt production contributes to construction production flow: a theoretical model. *Construction management and economics*, 39(1), 73-95.
- Riekkilä, J., Seppänen, O., Lehtovaara, J. & Peltokorpi, A.. (2024). Quantitative Indicators in Takt Production Control: An Empirical Analysis. In Costa, D. B., Drevland, F., & Florez-Perez, L. (Eds.), *Proceedings of the 32nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 32)* (pp. 283–293). <https://doi.org/10.24928/2024/0107>
- Riekkilä, J., Lehtovaara, J., Tommelein, I. D., Seppänen, O. & Heinonen, A.. (2024). Revisiting the Takt Maturity Model After Three International Takt Forums. In Costa, D. B., Drevland, F., & Florez-Perez, L. (Eds.), *Proceedings of the 32nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 32)* (pp. 294–304). <https://doi.org/10.24928/2024/0108>
- Seppänen, O. (2009). *Empirical research on the success of production control in building construction projects* [Väitöskirja, Teknillinen korkeakoulu]. <http://lib.tkk.fi/Diss/2009/isbn9789522480613/>
- Seppänen, O.. (2014). A Comparison of Takt Time and LBMS Planning Methods. In Kalsaas, B. T., Koskela, L., & Saurin, T. A. (Eds.), *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 727–738). <https://iglc.net/Papers/Details/967>
- Seppänen, O., Ballard, G., & Pesonen, S. (2010). The combination of last planner system and location-based management system. *Lean construction journal*, 43-54.

Virtanen, M. (2025). *Tahtituotannon ohjaus infrahankkeessa*. Diplomityö. Aalto-yliopisto, rakennustekniikan laitos. <https://aaltodoc.aalto.fi/items/b8c7990e-5fb7-4372-a4a2-7201af2c2b17>