

Building 2030: Tahtituotannon suorituskyvyn mittaus Loppuraportti

Kirjoittajat:

Aalto-yliopiston tutkijat: Jaakko Rieki, Olli Seppänen



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

18.6.2026

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
1.1	Tutkimuksen tausta	3
1.2	Tutkimuksen tavoite	3
1.3	Tutkimusmenetelmät	3
2	Tahtituotannon suorituskyvyn tavoitteet	4
2.1	Tavoitenäkökulmat laatu, aika, kustannukset ja jatkuva parantaminen	4
2.2	Projektitason suorituskyvyn mittaaminen	6
3	Mittarien käyttö ohjauspäätösten tukena	8
4	Tahtityömaiden datan laatu	10
5	Mittareita esimerkkitapauksista	16
5.1	Esimerkkilaskelmien mittareiden laskenta ja kuvaajien tulkinta	16
5.2	Esimerkki: tapaus 1 (2 tunnin tahtiaika)	17
5.3	Esimerkki: tapaus 2 (4 tunnin tahtiaika)	19
5.4	Esimerkki: tapaus 4 (1 päivän tahtiaika)	21
5.5	Esimerkki: tapaus 6 (2,5 päivän tahtiaika)	22
5.6	Mittareiden arviointi suhteessa tavoitetarkoituksiin	24
5.7	Datan laatu mittareiden laskemisen näkökulmasta	25
6	Ennusteet tahtituotannossa	26
6.1	Paikka-aikakaavion ja tahtituotannon erot ennusteen näkökulmasta	26
6.2	Yksinkertainen ennuste-esimerkki	26
6.3	Todellinen esimerkki	29
6.4	Pohdintaa ennusteiden käytöstä	30
7	Yhteenveto ja johtopäätökset	31
	Lähdeluettelo	32

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Tahtituotannon ohjauksen tutkimus käynnistyi Building 2030 -konsortiossa edellisellä kaudella. Silloin kerättiin toteutumatieta kahdeksasta konsortion case-hankkeesta ja kuvailtiin laadullisesti tahtihankkeiden ohjausta työmaavaiheen aikana. Koska dataa kertyi koko vuoden ajan, sitä ei ehditty kokonaan analysoida yhden vuoden aikana. Siksi päätettiin jatkaa tutkimusta uudella hankkeella, joka keskittyi tahtihankkeiden määrälliseen analyysiin. Building 2030 -konsortio rahoittaa hankkeella Jaakko Riekin väitöskirjaa, joka keskittyy tahdin ohjaukseen.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli määritellä tahtituotannon suorituskyvyn tavoitteet. Tavoitteiden määrittelyn jälkeen pyrittiin määrittämään tavoitteita kuvaavia mittareita, jotka voi laskea mahdollisimman automaattisesti työmaalta kerätystä datasta.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Hankkeen budjetista rahoitettiin Jaakko Riekin tohtoritutkimusta. Edellisenä vuonna kerättyä dataa analysoitiin määrällisesti. Tutkimuksessa oli mukana sekä hankkeita, jotka olivat toistuvia, että hankkeita, joissa toistuvuutta oli vähemmän. Hankkeissa oli käytössä useita eri tah-tiaikoja. Hankkeessa arvioitiin työmailta kerätyn datan laatua ja mittareiden käyttökelpoi-suutta tahdin ohjauksessa. Lisäksi jatkokehitettiin tahdin ennustetta ja kerättiin siitä palautetta työryhmältä.

2 Tahtituotannon suorituskyvyn tavoitteet

Tahtituotannon suorituskyvyn tavoitteiden määrittely on edellytys sille, että suorituskykyä voidaan mitata mielekkäästi. Tutkimuksessa suorituskyvyllä tarkoitettiin yleisesti kykyä tehdä jokin asia hyvin ja tehokkaasti sekä saavuttaa toivottuja tuloksia tai asetettuja tavoitteita. Tahtituotannon suorituskyky voidaan määritellä työmaan tuotanto-organisaation kykyä saavuttaa tai ylittää projektin työmaatuotannolle asettamat tavoitteet tahtituotannon avulla. Tutkimusasetelmassa suorituskykyä tarkasteltiin kahdella tasolla: yhtäältä projektitason suorituskykynä ja toisaalta ohjauspäätösten tukemisena. Tässä osiossa painopiste on ensin projektitason tavoitteissa ja niiden mittaamisessa. Mittareiden käyttöä päivittäisen ja operatiivisen ohjauksen tukena käsitellään seuraavassa osiossa.

Tahtituotannon projektitason tavoitteet voidaan jäsentää perinteisten projektijohtamisen tavoitteiden kautta: rakennushankkeen laajuus on suunnitelman mukainen, rakennus täyttää laatuvaatimukset, rakennus luovutetaan asiakkaalle aikataulutavoitteiden mukaisesti ja tavoitekustannusta ei ylitetä. Tätä jäsenystä voidaan täydentää lean-ajattelussa suosituilla SQDC-kehyksellä (engl. Safety, Quality, Delivery, Cost), jossa tavoitteet asetetaan järjestykseen turvallisuuden, laadun, toimituskyvyn ja kustannusten mukaan. Kehyksessä turvallisuus on ehdoton lähtökohta, josta ei saa koskaan tinkiä muiden tavoitteiden saavuttamiseksi. Laatu puolestaan nähdään toimituskyvyn ja kustannustavoitteiden saavuttamisen edellytyksenä: jos laatu pettaa, seuraukset näkyvät nopeasti myös aikataulussa ja kustannuksissa. Vastaavasti luotettava ja tehokas toimituskyky tuottaa tyypillisesti kustannussäästöjä esimerkiksi projektin lyhentyneen läpimenoajan kautta. Kustannustehokkuutta ei siten kannata ajatella ensisijaisesti suorien säästötavoitteiden kautta, vaan se tulisi nähdä seurauksena hyvästä laadusta ja toimituskyvystä. Näiden lisäksi tutkimusta taustoittaessa tunnistettiin lean-ajattelulle läheinen jatkuva parantaminen omaksi läpileikkaavaksi tavoitteekseen. Suorituskykyä ei siis tulisi arvioida vain yksittäisten projektin onnistumisten kautta vaan myös organisaation kykyä oppia tuotannossa havaituista poikkeamista.

2.1 Tavoitenäkökulmat laatu, aika, kustannukset ja jatkuva parantaminen

Asiakasarvon ja laadun näkökulmasta tahtituotannon yleinen tavoite on, että rakennuksen laajuus vastaa suunniteltua. Laatuvaatimukset täytetään ja laatu varmistetaan jo työn aikana, ei vasta luovutusvaiheessa. Tahtituotanto-organisaation kannalta tämä tarkoittaa, että suunnitelmia noudatetaan, laatu tarkastetaan ja dokumentoidaan, avoimet poikkeamat pidetään hallinnassa sekä virheet, puutteet ja jälkityöt minimoidaan. Laatu on sekä lopputulos että tuotannon sujuvuutta koskeva tavoite. Kun työvaiheita joudutaan korjaamaan, työn virtaus häiriintyy, ai-

kataulun luotettavuus kärsii ja syntyy ylimääräisiä kustannuksia. Tästä syystä laatu tulisi mieltää tahtituotannon suorituskyvyssä keskeisenä tavoitteena: hyvä laaduntuottokyky tukee sekä toimituskykyä että kustannustehokkuutta.

Aikaan ja toimituskykyyn liittyvä yleinen tavoite on, että aikataulu on luotettava ja työpaketit toteutuvat suunnitellun tahtiaikataulun mukaisesti. Tahtituotannon tavoitteeksi asetetaan usein läpimenoajan lyhentäminen, mutta ennustettavuus voi olla sitäkin olennaisempaa: osapuolten tulisi voida luottaa siihen, että vaunut, tahtialueet ja työpaketit etenevät suunnitellusti, jotta esimerkiksi resurssit voidaan varata ja materiaalivirrat hallita. Ajallisia tavoitteita voidaan tarkentaa esimerkiksi yksityiskohtaisiksi työpakettien ajallaan alkamisen ja valmistumisen tavoitteiksi tai karkeammin junan ja tahtialueiden tavoitteen mukaisina läpimenoaikoina tai tuotantonopeuden vastaavuutena suunnitelmaan. Ajallinen suorituskyky ei synny pelkästä toteuman valvomisesta, vaan myös siitä, että työn aloitusedellytykset varmistetaan riittävän aikaisin. Kun suunnitelmat, materiaalit, resurssit, edeltävät työt ja muut edellytykset ovat kunnossa ennen työn aloitusta, tarve korjaaville ohjaustoimille tuotannon aikana vähenee ja tahtiaikataulun luotettavuus paranee.

Tahtituotannon kustannustavoitetta kannattaa lähestyä hyvän laadun, luotettavan toimituskyvyn ja sujuvan virtauksen seurauksena eikä irrallisina suorina säästötavoitteina. Lean-näkökulmasta kustannusten minimointi liian varhain ja irrallaan muista tavoitteista voi heikentää tuotantojärjestelmän toimintaa, jos säästöjä tavoitellaan laatua tai aikataulua riskeeraamalla. Kustannustavoitteen saavuttaminen tulisi siis perustua hukan vähentämiseen. Tahtituotannossa tämä tarkoittaa esimerkiksi keskeneräisen työn minimointia, vaunujen päällekkäisyyksien vähentämistä, ylimääräisten materiaaliirtojen ja materiaalihukan karsimista sekä henkilö- ja kalustotuntien tarkoituksenmukaista käyttöä. Pelkät kustannus- tai tuottavuusmittarit eivät tee tällaisia hukan muotoja näkyviksi, joten kustannussuorituskykyä tulisi tarkastella fyysisen tuotannon sujuvuuden kautta.

Jatkuva parantaminen muodostaa tahtituotannon suorituskyvylle oman tavoitetasonsa. Tällöin onnistumista ei arvioida sen perusteella, saavuttaako yksittäinen projekti aika-, laatu- ja kustannustavoitteen, vaan sen perusteella, tuottaako projekti tietoa, jonka avulla tuotantojärjestelmää voidaan kehittää. Käytännössä tämä tarkoittaa paljastuneiden poikkeamien dokumentointia, poikkeamien syiden ymmärtämistä ja oppien hyödyntämistä sekä käynnissä olevassa projektissa että tulevaisuuden hankkeissa. Tutkimuksen aikana pidetyissä työryhmän työpajoissa todettiin, että jatkuvaan parantamiseen liittyviä mittareita käytetään vielä vähän, vaikka parantamista oletettavasti tapahtuu työmailla monin tavoin. Tämä viittaa siihen, että parantaminen jää helposti yksittäisten henkilöiden kokemukseksi eikä muutu organisaation yhteiseksi tiedoksi. Lisäksi jatkuvan parantamisen näkökulmasta olennaisinta ei ole absoluuttisten suorituskykylukujen tavoittelu, vaan organisaation kehittyminen suhteessa omaan aiempaan suorituskykyynsä.

2.2 Projektitason suorituskyvyn mittaaminen

Kun tahtituotannon tavoitteet on tunnistettu, seuraava kysymys on, miten niiden toteutumista voidaan mitata. Mittareilla on olennainen rooli tiedolla johtamisessa, jonka laajempi tavoite on kytkeä yrityksen strateginen suunta, projektitason tavoitteet, operatiiviset mittarit ja paikallinen päätöksenteko toisiinsa. Eri mittarit soveltuvat eri tarkoituksiin, osa projektitason pidemmän aikavälin valvontaan ja raportointiin, ja osa päivittäiseen tahtiohjaukseen. Mittareita tulisi siksi arvioida erikseen käyttötarkoituksen perusteella. Tässä raportin osiossa tarkastellaan seuraavaksi projektitason suorituskyvyn mittaamista; mittareiden käyttöä ohjauspäätösten tukena käsitellään osiossa 3.

Laadun ja asiakasarvon projektitason mittaamisen tunnistettiin kytkeytyvän erityisesti siihen, kuinka hyvin tuotanto pystyy ehkäisemään, havaitsemaan ja ratkaisemaan poikkeamia. Mahdollisia mittareita voisivat olla esimerkiksi avoimien poikkeamien, virheiden, puutteiden, jälkitöiden ja laatutarkastusten määrät sekä näiden keskimääräiset ratkaisunopeudet. Laaduntuottokykyä voitaisiin tarkastella myös esimerkiksi ensimmäisten laatutarkastusten läpikäyprosentilla, koska se kertoo, syntyykö hyväksyttävää laatua kerralla vai joudutaanko samaa työtä korjaamaan ja tarkastamaan uudelleen. Mittareita voisi olla hyödyllistä kohdistaa myös yksittäisiin vaunuihin, jotta nähtäisiin, liittyvätkö laatuongelmat tiettyihin työvaiheisiin, toimijoihin tai tahtialueisiin. Lisäksi suunnitelmien toteutuskelpoisuutta tulisi tarkastella osana laaduntuottokykyä: jos poikkeamat johtuvat puutteellisista tai epäselvistä suunnitelmista, ongelma ei rajoitu vain työmaan toteutukseen.

Aikatauluvalvontaan perustuvien mittareiden odotettiin tarjoavan selkeimmän lähtökohdan projektitason suorituskyvyn mittaamiselle, koska aikataulujen valvontatiedot ovat tahtityömailla useimmiten saatavilla. Karkeallakin valvonnalla voidaan arvioida tahtiaikataulun vaihetason pitävyyttä, mutta tarkemmalla datalla voidaan mitata esimerkiksi työpakettien täsmällisyyksiä, läpimenoaikoja, tuotantonopeuksia ja valmiusasteita. Tutkimuksen työryhmän työpajoissa pohdittuja aikatauluvalvonnan mittareita olivat muun muassa edellisen tahdin toteutumisaste, suunnitellun ja toteutuneen kumulatiivisen valmiusasteen vertailu sekä työpakettien aloitusten ja lopetusten täsmällisyys. Näistä mittareista on esitetty esimerkkejä raportin osiossa 5. Työpajakeskusteluissa pohdittiin muun muassa, että mittareiden määrittelyjen tulisi olla konservatiivisia: etenemän laskennassa ei pitäisi antaa ylituotannon peittää viiveitä, eikä keskiarvojen tulisi häivyttää yksittäisten vaunujen tai tahtialueiden ongelmia. Lisäksi projektitasonkin etenemää voisi olla hyödyllistä tarkastella paitsi kokonaisvalmiutena myös esimerkiksi suhteessa siihen, tapahtuuko työ suunnitellussa järjestyksessä.

Projektitason ajallista suorituskykyä mitattaessa toteutumaa tulisi arvioida suhteessa tahtisuunnitelmaan. Tahtisuunnitelman muokkaaminen osana ohjausta voi vaikuttaa olennaisesti mittareiden käyttöön. Esimerkiksi aloitusten ja lopetusten täsmällisyydet muuttavat merkitys-

tään sen mukaan, mihin tahtisuunnitelman versioon verraten ne lasketaan. Sen sijaan esimerkiksi kumulatiivinen valmiusaste voidaan laskea rinnakkain kaikille tahtisuunnitelman revisioille ja toteutuneelle tuotannolle.

Kustannussuorituskykyä voidaan mitata projektitasolla useasta näkökulmasta, mutta sitä tulisi lähestyä ensisijaisesti fyysisen tuotannon sujuvuuden kautta. Tavoitekustannuksen toteutuminen ja tuloksen arvon mittarit voivat kertoa, pysyykö projekti kokonaisuutena taloudellisessa tavoitteessaan, mutta ne eivät yksin selitä, mistä hyvä tai heikko kustannussuorituskyky syntyy. Siksi näiden rinnalle tarvittaisiin yllä mainittuja fyysisiä hukan mittareita.

Projektitason mittariston tulisi tukea myös jatkuvaa parantamista ja projektien välistä oppimista. Työpaja-aineistossa jatkuvan parantamisen mittaamiseen liittyvinä mahdollisina tietolähteinä nousivat esiin myös Gemba-kävelyt, Kaizen-tapahtumat, työntekijäaloitteet ja A3-raportit. Jatkuvan parantamisen suorituskykyä voisi siis mahdollisesti mitata esimerkiksi näiden lukumäärinä tai taajuuksina.

3 Mittarien käyttö ohjauspäätösten tukena

Mittareiden käyttö ohjauspäätösten tukena edellyttää ensin sen täsmentämistä, millaisiin päätöksiin tietoa tarvitaan. Tahtituotannossa ohjauspäätöksillä tarkoitetaan tuotannon aikana tehtäviä päätöksiä, joilla suunniteltu tuotanto pyritään saamaan toteutumaan poikkeamista huolimatta. Kyse ei siis ole pelkästä raportoinnista tai projektin jälkikäteisestä arvioinnista, vaan tiedosta, joka auttaa tuotanto-organisaatiota havaitsemaan poikkeamat ajoissa, arvioimaan niiden merkitystä, kohdistamaan huomion tärkeimpiin ongelmiin ja valitsemaan tarkoituksenmukaiset ohjauskeinot. Mittarit voivat tukea tahtiohjausta myös ylläpitämällä jatkuvaa tilannekuva tuotannon etenemisestä. Tutkimusasetelmassa tämä erotettiin projektitason suorituskyvyn mittaamisesta omaksi tarkastelutasokseen: sama mittari voi joskus palvella molempia tarkoituksia, mutta ohjauksen kannalta ratkaisevaa on, auttaako mittari tekemään parempia päätöksiä tuotannon aikana.

Tuotannossa ensisijainen tavoite on tietenkin vähentää ohjauksen tarvetta. Mitä paremmin tuotanto on suunniteltu, vaihtelu hallittu ja aloitusedellytykset varmistettu, sitä harvemmin työmaalla joudutaan reagoimaan poikkeamiin. Mittarit tai ennusteet voisivat olla erityisen arvokkaita, jos ne kykenisivät näyttämään ennakolta tilanteet, joissa poikkeamia tahtisuunnitelmasta todennäköisesti voi syntyä. Esimerkiksi aloitusedellytysten valmistelutilanteen valvonta voisi auttaa tunnistamaan ajoissa, missä työpaketeissa tahdin toteutuminen on uhattuna. Työpajakeskusteluissa aloitusedellytysten hallinta tunnistettiin kuitenkin vaikeaksi, eikä siihen löytynyt varmatoimisia ratkaisuja. Mahdollisuuksina nousivat esiin esimerkiksi aloitusedellytysten varmistamisen vaatiminen urakoitsijoiden sopimuksissa.

Mittareiden yksi mahdollinen hyöty on johdon huomion kohdistaminen. Tahtituotannossa syntyy aina poikkeamia, mutta kaikki poikkeamat eivät ole ohjauksen kannalta yhtä merkittäviä. Mittarit voisivat auttaa erottamaan normaalin vaihtelun tilanteista, joissa esimerkiksi aikataulupoikkeama, aloitusedellytyksen puute tai toistuvasti ongelmia kohtaava vaunu edellyttävät erityistä huomiota. Työpajakeskusteluissa nousi esiin, että tällainen näkymä voisi tukea erityisesti ennakoimista: tahtijohtajat voisivat tunnistaa ajoissa, mihin työpaketteihin tai tahtialueisiin ohjausresurssit kannattaa suunnata.

Ohjauksen kannalta johtavat (engl. leading) mittarit ovat lähtökohtaisesti kiinnostavampia kuin jälkijättöiset (engl. lagging) mittarit, koska ne kohdistuvat odotuksiin tulevasta. Aikatauluvalvontakirjauksista helposti laskettavissa olevat mittarit ovat jälkijättöisiä. Ne voivat olla hyödyllisiä trendien tunnistamisessa, mutta ne eivät suoraan ennakoivat tulevaa tuotantoa. Kiinnostavampi ennakoiva mittari voisi olla esimerkiksi aloitusedellytysten varmistusaste, joka kertoisi, onko tulevilla työpaketeilla realistiset edellytykset käynnistyä suunnitellusti. Lisäksi tut-

kimuksen aikana tunnistettiin mahdollisuus tarkastella organisaation terveyteen ja psykologiseen turvallisuuteen liittyviä mittareita, koska ne saattavat ennakoida organisaation suorituskykyä laadullisemmin. Tällaiset mittarit vaatisivat vielä jatkokehitystä.

Mittarit tukisivat ohjauspäätöksiä parhaiten, jos ne auttaisivat valitsemaan sopivia ohjauskeinoja osoitettuihin poikkeamiin. Tahtituotannossa mahdollisia ohjauskeinoja on useita: koko junaan tai yksittäisiä vaunuja voidaan siirtää, vaunujen järjestystä voidaan muuttaa, puskuri-vaunuja lisätä, työpaketteja pilkkoa tai limittää, resursseja kohdentaa uudelleen ja työmenetelmiä tarkentaa. Eri toimenpiteet vastaavat erilaisiin ongelmiin, kuten puuttuviin aloitusedellytyksiin tai liian hitaaseen tuotantonopeuteen. Siksi mittareiden tehokas hyödyntäminen edellyttäisi myös ennalta sovittuja toimintamalleja. Esimerkiksi jonkin mittarin raja-arvon ylittäminen voisi johtaa ennalta sovittuihin ohjaustoimiin. Työpajakeskusteluissa tällaisina mahdollisuuksina nousivat esiin esimerkiksi aikataulun päivittämistä tai kriisipalaveria koskevat ohjesäännöt.

Mittarit ja ennusteet voivat olla hyödyllisiä erityisesti silloin, kun ne tuovat esiin kehityssuuntia, joita päivittäisjohtamisen aikajänteellä on vaikea havaita. Yksittäinen pieni viive tai toistuva vähäinen poikkeama ei välttämättä näytä työmaan arjessa kriittiseltä, mutta niiden kasautuminen voi pidemmällä aikavälillä vaarantaa tahdin etenemisen. Työpajakeskusteluissa kuitenkin tunnistettiin, että tahtituotannossa lyhyen aikavälin tilannekuva on usein hyvin näkyvä työmaakierrosten ja päivittäisen vuorovaikutuksen kautta. Siksi mittareiden ja ennusteiden ei kannata pyrkiä korvaamaan välitöntä tuotannon havainnointia, vaan täydentää sitä. Niiden vahvuus voi olla trendien, kumuloituvien viiveiden ja epätoivottujen kehityssuuntien tunnistamisessa, kun taas akuutit ongelmat ratkaistaan edelleen pääosin päivittäisjohtamisen ja työmaalla tehtävien havaintojen perusteella. Tämä ajattelutapa on linjassa Gemba-ajattelun kanssa: mittarit tukevat, mutta todellinen tilanne on ymmärrettävä siellä, missä työ tehdään.

Kojelaudat ja reaaliaikaiset näkymät voivat tehdä mittareista käyttökelpoisempia, jos ne esittävät tiedon päätöksenteon kannalta sopivassa muodossa. Osana tutkimusta opiskelijan erikoistyönä toteutettu kojelautaprototyyppi osoitti, että aikatauluvalvontadatasta voidaan automatisoida interaktiivisia kaavioita ja mittarinäkymiä. Interaktiivisuus on hyödyksi, koska staattinen raportti ei palvele kaikkia tilanteita. Projektitason raporttinäkymä voi näyttää kokonaisuuden etenemistä suhteessa tavoitteisiin, kun taas ohjausnäkyvä voi pureutua yksittäisiin vaunuihin, tahtialueisiin tai poikkeamiin. Tällöin käyttäjä voi hakea sen tiedon, jota kulloinenkin päätöstilanne edellyttää. Kojelaudan hyöty kuitenkin riippuu sen taustalla olevan datan laadusta ja organisaation kyvystä hyödyntää mittareita.

Ohjaustoimia tukevat mittarit ovat hyödyllisiä vain, jos niiden taustalla oleva data on riittävän laadukasta. Jos kirjaukset ovat puutteellisia, viivästyneitä tai eri työmailla eri tavoin määriteltyjä, mittari voi ohjata huomiota väärin asioihin tai luoda perusteettoman varmuuden tilanteesta. Seuraavassa osiossa tarkastellaan tahtityömailta saatavan datan laatua tapaustutkimuksen perusteella.

4 Tahtityömaiden datan laatu (Riekki ym. 2024)

Tässä osiossa tarkastellaan tahtituotantotyömaiden datan laatua kahdeksan tapauksen monitapaustutkimuksen aikana kerätyn aineiston kautta. Tapausten yleistiedot on kuvattu taulukossa 1. Tutkitut tapaukset erosivat peruspiirteiltään koon, tahtiajan, tyypin (uudisrakentaminen tai korjausrakentaminen), työkuormien vaihtelun, tilojen kokojen vaihteluiden ja työmaan johdon tahtituotannon kokemuksen mukaan. Työkuormien vaihtelu kuvastaa laadulliseen arvioon perustuen sitä, kuinka paljon eri tahtialueiden työkuormat vaihtelevat suhteessa toisiin tahtialueisiin ja toisiin työlajeihin. Vastaavasti tilojen vaihtelu kuvastaa, miten paljon rakennuksen tilojen koot vaihtelivat suhteessa toisiinsa. Suuri tilojen vaihtelu tarkoittaa, että rakennuksessa on paljon eri kokoisia tiloja, ja pieni vaihtelu tarkoittaa, että tilat ovat pääsääntöisesti hyvin samankokoisia. Lisäksi datan keräämisen kannalta olennaisia piirteitä tapauksissa olivat käytössä olleet aikataulusovellus ja materiaalihallintamalli. Aikatauluohjelmistoina käytettiin sekä Excel-taulukoita että tahtituotantoon tarkoitettuja pilvipohjaisia ohjelmistoja. Kohteissa, joissa oli käytössä materiaalihallintaurakoitsija, oli käytössä myös materiaalivirtoihin liittyvää dataa tuottava digitaalinen materiaalihallintajärjestelmä.

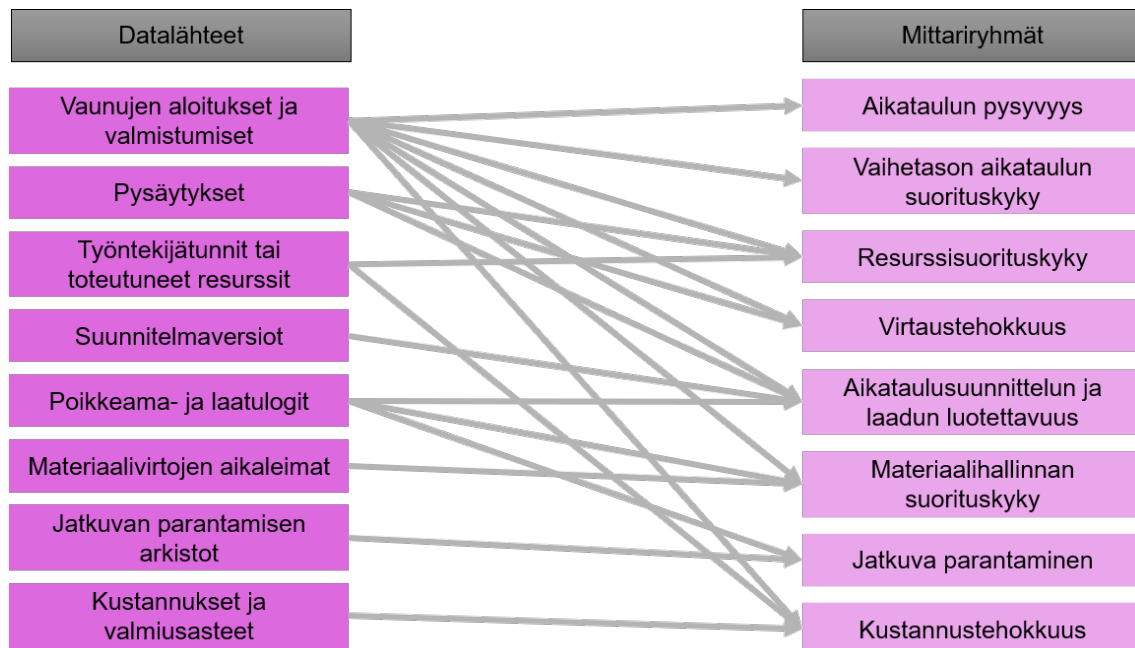
Taulukko 1: Yleistietoa tutkimuksen tapauksista (Riekki ym. 2025, käännetty)

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

Työmailta tutkittiin, millaista dataa tahtituotannosta kertyi ja mitä suorituskyky mittareita niiden perusteella voitaisiin laskea. Näiden datalähteiden ja mittareiden luonteiden hahmottamiseksi koostettiin ryhmät sekä erityyppisille datalähteille että mittareille (kuva 1). Kuva 1 myös jäsentää nuolin, mitä datalähteitä eri mittariryhmien tuottaminen edellyttäisi. Kuvasta näkyy, että monet mittariryhmistä perustuvat useampaan eri datalähteeseen. Aikataulun pysyvyyttä ja vaihetason suorituskykyä voidaan mitata aloitus- ja valmistumiskirjausten perusteella. Muut

mittariryhmät, kuten virtaustehokkuus, resurssisuorituskyky, laadun luotettavuus ja materiaalihallinnan suorituskyky, edellyttävät aikataulutiedon yhdistämistä muiden datalähteiden, kuten laadunhallinnan, poikkeamien, materiaalivirtojen ja resurssitietojen, kanssa. Tahtituotannon suorituskyvyn mittaamisen kehittäminen edellyttää siis tietorakenteiden ja järjestelmien yhteistoimivuuden kehittämistä. Rajapintojen kautta toteutettavat integraatiot eri järjestelmien välillä tarjoavat tähän lupaavan suunnan, mutta niiden tukemiseksi tarvittaisiin myös vakioituja tietorakenteita.



Kuva 1: Datalähteiden ja mittariryhmien väliset yhteydet (Riekkimä ym. 2025, käännetty)

Datalähteiden ja mittariryhmien välisen yhteyden perusteella tutkittiin, mitä mittariryhmiä tapauksista olisi mahdollista tuottaa saatavilla olevan datan perusteella. Nämä arvioitujen tulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2: Mittariryhmien saatavuus tahtituotantotapauksissa (Riekki ym. 2025, käännetty)

Mittariryhmä	Tapaus & tahtiaika							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	2 t	4 t	1 p	1 p	1 p	2.5 p	2.5 p	1 v
Aikataulun pitävyys: päivittäinen	O	S	S-	S-	S	N	N	N
Aikataulun pitävyys: puoliviikoittainen	O	S	S-	S-	S	S	S	V
Aikataulun pitävyys: viikoittainen	O	S	S-	S-	S	S	S	S
Vaihetason aikataulun pysyvyys*	S	S	S	S	S	S	S	S
Resurssisuorituskyky*	E	E	E	E	U	E	E	E
Virtaustehokkuus*	O	S-	S-	S-	S-	S-	S-	S-
Suunnitelman ja laadun luotettavuus*	V	O	V	V	O	E	E	V
Materiaalihallinnan suorituskyky*	S-	E	E	S-	S	O	E	V
Jatkuva parantaminen	E	E	E	E	U	E	E	E

Merkinnät: **A**: Saatavilla, **S-**: Saatavilla rajallisella tarkkuudella, **O**: Osittain saatavilla, **V**: Vain vaikeaselkoista dataa saatavilla, **E**: Ei saatavilla, **U**: Epäselvää, * Tahtiajan tarkkuustasoon asti

Taulukon 2 tulokset vahvistivat lähtöoletusta siitä, että aikatauluvalvontadata on tahtityömailla parhaiten saatavilla oleva tietotyyppi, ja siksi aikataulun pitävyyteen liittyvät mittarit olivat muita mittariryhmiä helpommin tuotettavissa. Aikatauluvalvontadatatassa on kuitenkin syytä erottaa toisistaan tarkkuus ja tarkkuustaso: tarkkuus tarkoittaa yksittäisen datapisteen oikeellisuutta, kun taas tarkkuustaso kuvaa datapisteiden hienojakoisuutta. Tahtiaika ja eräkkö vaikeuttavat olennaisesti tarkkuuteen ja tarkkuustasoon. Lyhyt tahtiaika voi parantaa tarkkuustasoa, mutta samalla kirjausten oikeellisuus voi heikentyä ja mittareista tulla epävakaita. Vastavasti suuri eräkkö voi tehdä mittareista ohjauksen kannalta liian karkeita. Vaihetason aikataulun pitävyyttä voidaan usein arvioida jo karkeallakin valvontadatatalla, mutta pienemmän eräköön data vaatii enemmän kirjaustyötä. Kirjaamisen aiheuttamaa työkuormaa voidaan kuitenkin vähentää vakiintuneilla rutiineilla ja ohjelmistoilla. Myös keskeytymisiä olisi teknisesti mahdollista kirjata, mutta käytännössä niitä kirjattiin harvoin, koska luotettava kirjaaminen edellyttäisi jatkuvaa havainnointia tai työntekijöiden osallistumista. Tämä valitettavasti rajoittaa valitettavasti erityisesti hukkaa paljastavan virtaustehokkuuden mittaamista.

Aikatauluvalvontadatan käyttökelpoisuus riippui myös siitä, millä välineillä tieto oli tuotettu ja tallennettu. Osassa tapauksista käytettiin pilvipohjaisia tahtiaikatauluohjelmistoja, kun taas osassa valvonta perustui Excel-taulukoihin ja niistä otettuihin varmuuskopioihin. Ohjelmistojen toimintalogiikka vaikuttaa suoraan siihen, mitä toteumatieto lopulta tarkoittaa: järjestelmät tallentavat yleensä kirjauksen aikaleiman, eivätkä käyttäjän erikseen syöttämää todellista aloitus- tai valmistumishetkeä. Jos esimerkiksi iltapäivällä valmistunut työpaketti merkitään valmiiksi vasta seuraavana aamuna, aikaleima kuvaa kirjaushetkeä eikä itse tuotantotapahtumaa. Lisäksi eri ohjelmistoissa vaunut, työpaketit ja niiden sisältämät tehtävät rakentuvat eri tavoin, mikä vaikuttaa analyysien tekemiseen ja voi vaikeuttaa integraatioita. Yritysten olisi

siksi hyvä tunnistaa, miten valitut ohjelmistot ja tietorakenteet rajaavat tai tukevat datan käyttöä mittaamisessa.

Resurssisuorituskykyä kuvaavien mittareiden laskentaa rajoitti ennen kaikkea se, ettei toteutuneita resurssitietoja kirjattu tai koottu mittaamista varten riittävän systemaattisesti. Tahtiohjelmistot mahdollistaisivat teknisesti hyvinkin tarkan valvontakirjaamisen esimerkiksi henkilökohtaisten käyttäjätilien ja aikaleimakirjausten avulla, mutta käytännössä näitä ominaisuuksia ei hyödynnetty resurssidatan muodostamiseen. Ohjelmistoissa olisi ollut myös mahdollisuus kirjata erikseen toteutuneita resursseja ja työtunteja, mutta tällaisia kirjauksia ei tapausaineistossa tehty. Jo säännölliset vahvuuskirjaukset antaisivat karkean kuvan toteutuneesta resursoinnista, mutta niitäkään ei koottu yhteen, vaikka tietoja olisi todennäköisesti ollut saatavilla ainakin eri urakoitsijoiden omissa järjestelmissä. Kulunvalvonta, tuntikirjaukset ja paikannus voisivat täydentää resurssidataa, mutta ne eivät yksin riitä tahtituotannon mittaamiseen, ellei samalla tiedetä, mihin tehtäviin työntekijät ovat kohdistuneet.

Tahtiaikatauluversioiden hallinta ei tarkastelluissa tapauksissa tukenut riittävästi tahtisuunnitelman luotettavuuden tai Last Planner -tyyppisten mittareiden tuottamista. Tahtiohjelmistoissa ei yleensä ollut erityistä toiminnallisuutta aikatauluversioiden järjestelmälliseen hallintaan, vaan versioita kopioitiin tarvittaessa käsin. Aikataulun versioita voisi joissakin tapauksissa yrittää rekonstruoida palvelimien tietokannoista löytyvien muutoshistoriakirjausten avulla, mutta käytännössä tämä olisi työläs ja epävarma tapa tuottaa mittaridataa. Aikataulusuunnittelun luotettavuusmittareiden laskenta edellyttäisi, että tahtisuunnitelman versiohistoria sekä aloitusedellytysten hallintaan käytetyt suunnitelmat ja lokit tallentuisivat automaattisesti analysoitavassa muodossa. Tällaisia aineistoja ei ollut yhdessäkään tapauksessa käytettävissä kohtuullisella vaivalla.

Laatu- ja poikkeamadataa syntyi kaikissa tarkastelluissa tapauksissa, mutta nämä datalähteet eivät muodostaneet luotettavaa perustaa mittaamiselle. Kaikissa tapauksissa laadunhallintaan käytettiin Congridia, mutta sinne tallentunut tieto oli heikosti kytkettävissä tahtiaikatauluun ja rakenteeltaan vaikeasti analysoitavaa. Poikkeamia kirjattiin ja hallittiin vaihtelevilla käytännöillä, vaikka ohjelmistoissa olisi ollut tähän tarkoitettuja toiminnallisuuksia. Osa tiedoista jäi hajanaisiin taulukoihin, todo-työkaluihin, muistioihin, muistivihkoihin ja tussitauluihin. Data-lähteiden epäjärjestelmällisyys heikentää niiden hyödynnettävyyttä oppimiseen. Poikkeamien, laatutarkastusten ja korjausten aikaleimat tulisi myös kohdistaa aikataulun tietorakenteisiin, jotta niitä voisi hyödyntää paremmin.

Materiaalivirtojen dataa syntyi erityisesti niissä tapauksissa, joissa materiaalihallintaa hoiti erillinen logistiikkaoperaattori. Ulkoisten logistiikkaurakoitsijoiden järjestelmiin tallentui materiaalipakettien aikaleimoja ja joissakin tilanteissa myös materiaalivirtaprosessin poikkeamia. Ilman ulkoistettua materiaalihallintaa vastaava tieto jäi usein hajanaisiin Excel-taulukoihin ja sähköposteihin. Materiaalidataa ei kuitenkaan ollut kytketty tahtiaikatauluun, mikä osittain vaikeutti sen mahdollista käyttöä suorituskyvyn mittaamisessa. Pelkät materiaalityömittausten

aikaleimat ja paluuvirran tiedot voisivat olla hyödyllisiä esimerkiksi toimitustäsmällisyyden, materiaalipuskureiden ja materiaalihukan arvioinnissa, mutta kytkettynä aikatauluun niitä voitaisiin hyödyntää tahtituotannon mittareissa vielä laajemmin.

Jatkuvan parantamisen ja kustannusohjauksen datat olivat tapausaineistoissa resurssitietojen ohella heikoimmin hyödynnettävissä. Tapauksista ei löytynyt systemaattiseen parantamistointaan liittyviä aineistoja, eikä jatkuvan parantamisen mittareita juuri käytetty, vaikka työmailla siitä huolimatta oletettavasti tapahtui parantamista ainakin jonkin verran. Projektien välisen oppimisen kannalta keskeistä olisi, että poikkeamat dokumentoitaisiin niin, että niistä syntyisi myöhemmin hyödynnettävää tietoa. Kustannusvalvonta jäi tarkastelussa avoimeksi, koska kustannusaineistot eivät kuuluneet tapaustutkimuksen aineistoon. Se kuitenkin tunnistettiin, että kustannuksia ei pääsääntöisesti hallittu tahtikohtaisella tarkkuudella. Kysymys tahtitason kustannusvalvonnan tarpeesta jäi jatkossa arvioitavaksi.

Taulukossa 3 esitetyt tapauskohtaiset arviointiväittämät täydentävät kuvaa siitä, että dataohjautun johtamisen kyvykkyydet eivät olleet tapauksissa vielä korkealla kypsyytasolla. Taulukon lukuarvot tarkoittavat kuvauksen sopivuutta tapaukseen asteikolla 1 (sopii huonosti) – 5 (sopii erittäin hyvin). Arvioinnit perustuvat subjektiiviseen harkintaan, mutta ne silti havainnollistavat joitakin nykytilan piirteitä. Datan keruun suunnitelmallisuus ja kontrollointi vaihtelivat tapausten välillä, mutta jäivät useimmiten vähäisiksi. Myös integroidun teknologia-alustan ja tahtituotantoon rakennetun ohjelmiston käyttö oli pikemminkin poikkeus kuin vakiintunut toimintatapa. Joissakin tapauksissa työmaan johdolla saattoi olla käytettävissä reaaliaikaisia suorituskyky mittareita, mutta niiden hyödyntäminen tuotannon ohjauspäätöksissä jäi silti vähäiseksi. Mittareita ei juuri käytetty päätöksenteon perustana, tuotannon suorituskykyä ei juuri ennustettu datan avulla eikä henkilöstöä ollut juurikaan koulutettu dataohjattuun johtamiseen.

Datajohtamisen kehittäminen on sekä tekninen että organisatorinen kysymys. Mittareiden laskenta edellyttää järjestelmiä, jotka kokoavat tiedon käyttökelpoiseen muotoon, mutta yhtä olennaista on määritellä kirjaamisen prosessit. Datan keruun tulisi automatisoitua tarkoituksenmukaiseksi osaksi normaalia tahtiohjausta eikä jäädä erilliseksi lisätyöksi. Ohjelmistoratkaisujen tulisi myös tukea ja ohjata hyviä datanhallinnan toimintamenettelyjä, jotta kirjaukset syntyvät yhdenmukaisesti ja oikeaan rakenteeseen. Kun mittareita saadaan tuotettua, tarvitaan lisäksi vakioituja toimintatapoja niiden hyödyntämiseen, esimerkiksi ohjaustoimien käynnistämiseen mittareiden arvojen perusteella. Kehittämistä vaikeuttaa niin sanottu muna-kana-ongelma: dataa ei kerätä, jos mittareita ei koeta hyödyllisiksi, mutta mittareita ei voida kehittää ilman riittävää dataa. Datan kerääminen aiheuttaa työmaan tahtijohtajille vaivaa ja se jää helpposti tekemättä, koska hyödyt eivät ole ilmeisiä työmaan lyhyen aikavälin ohjauksessa.

Taulukko 3: Arviointiväittämät dataohjatun johtamisen kyvykkyyksistä tapauksissa. Lukuarvot tarkoittavat kuvauksen sopivuutta tapaukseen asteikolla 1 (sopii huonosti) – 5 (sopii erittäin hyvin) (Riekkö ym. 2025, käännetty)

Väittäjä tapauksesta	Tapaus & tahtiaika							
	1 2 t	2 4 t	3 1 p	4 1 p	5 1 p	6 2.5 p	7 2.5 p	8 1 v
Datan kerääminen oli selkeästi suunniteltu	3	4	2	3	5	3	2	4
Datan keräämistä hallittiin tiukasti	1	3	2	2	4	1	1	4
Käytettiin integroitua teknologia-alustaa	1	3	2	1	4	2	1	3
Reaaliaikaiset mittarit olivat saatavilla	1	1	1	1	3	2	1	2
Mittareita käytettiin päätöksenteossa	1	1	1	1	1	1	1	1
Tuotantoa ennustettiin dataan perustuen	1	1	1	1	1	1	1	1
Ihmisiä koulutettiin datalla ohjaamisessa	1	2	1	1	3	2	1	2

5 Mittareita esimerkitapauksista

Koska aikatauluvalvontadata osoittautui tapausaineistossa parhaiten saatavilla olevaksi tietopohjaksi, tutkimuksessa tarkasteltiin kokeellisten laskentaesimerkkien avulla, miten aloitus- ja valmistumiskirjauksiin perustuvia mittareita voitaisiin hyödyntää. Ennen esimerkkien valintaa mittareille jäsennettiin erilaisia mahdollisia käyttötarkoituksia kahdesta näkökulmasta: tähtäävätkö ne projektitason suorituskyvyn valvontaan vai päivittäisten ohjauspäätösten tukemiseen, ja palvelevatko ne ensisijaisesti tilannekuvaa vai jatkuvaa parantamista. Tämän jaottelun tarkoituksena oli auttaa arvioimaan, millaista lisäarvoa samasta valvontadatasta laskettavat mittarit voisivat tuottaa eri johtamistilanteissa.

Näihin käyttötarkoituksiin soveltuvia kokeellisia mittareita haettiin kirjallisuudessa esitetyistä tahtituotannon ja tuotannonohjauksen mittaustavoista. Kokeiltaviksi valittiin kolme aikatauluvalvontaan perustuvaa mittaria: edellisen tahdin valmistumisaste, tahtien kumulatiivinen valmiusaste sekä aloitusten ja lopetusten täsmällisyys.

Näistä kolmesta mittarista on esitelty esimerkkilaskelmat neljästä eri tapauksesta seuraavissa alaosioissa. Kaikkien esimerkkilaskelmien kuvaajat (kuvat 2–5) ovat muodoltaan samanlaisia. Tässä alaosiossa selostetaan seuraavaksi kootusti mittareiden laskenta ja kuvaajien tulkinta. Mittareiden perusteella tapauksista tehtyjä johtopäätöksiä esitellään tapausten omissa alaosioissa.

5.1 Esimerkkilaskelmien mittareiden laskenta ja kuvaajien tulkinta

Edellisen tahdin valmistumisaste kuvaa, kuinka suuri osa tarkasteluhetkeä edeltäneen tahdin suunnitelluista tehtävistä on merkitty valmiiksi. Laskentatapa on sama kuin Last Plannerin tehtävien toteumaprosentti (TTP), eli jaetaan edellisen tahdin valmistuneiden työpakettien lukumäärä valmistuvaksi suunniteltujen työpakettien määrällä. On kuitenkin huomionarvoista, että edellisen tahdin valmistumisaste ei kuitenkaan samalla tavalla kuvaa Last Plannerin tarkoittamaa aikataulu- ja viikkosuunnittelun luotettavuutta, ellei Last Planneriin sisältyviä muita menetelmän osia, kuten tehtävien aloitusedellytysten varmistamista ole käytetty.

Edellisen tahdin valmistumisasteen kuvaajassa vaaka-akseli kuvaa aikaa päivämäärinä ja pystyakseli kuvaa työpakettien osuutta numeroarvona 0 ja 1 välillä. Kuvaajan käyrä kuvaa, mikä osuus kyseisellä ajanhetkellä katsottuna edellisen tahdin aikana valmistuviksi suunnitelluista työpaketeista kirjattiin valmistuneeksi. Tavoitearvo käyrälle on 1, jolloin kaikki edellisen tahdin työpaketit olisivat valmistuneet suunnitellusti.

Kumulatiivinen valmiusaste tahtisuunnitelmasta ja toteumasta kuvaa tahtivaiheen kokonaisvalmiusastetta suhteessa suunniteltuun pidemmällä aikavälillä. Kumulatiivinen valmiusaste

lasketaan jakamalla tarkasteluhetkeen asti valmistuneeksi merkittyjen työpakettien lukumäärä koko vaiheeseen suunniteltujen työpakettien kokonaislukumäärällä. Mittari näyttää s-käyrän kaltaisesti tuotannossa kertyvää viivettä tai etumatkaa suunnitelmaan verrattuna. Jos tahtisuunnitelmaa päivitetään tuotannon aikana, eri tahtisuunnitelmaversiot voidaan näyttää samalla mittarilla. Eri versioiden vertailu näyttää, paljonko työpaketit ”kaatuvat” kokonaisuutena ajassa eteenpäin aikataulusuunnitelman päivitysten myötä.

Kumulatiivisessa valmistumisasteessa vaaka-akseli kuvaa aikaa päivämäärinä ja pystyakseli työpakettien osuutta numeroarvona 0 ja 1 välillä. Vihreä käyrä kuvaa toteutuneista valvontakirjauksista laskettua tarkasteluhetkeen asti valmistuneiden työpakettien ja koko vaiheen sisältämien työpakettien suhdetta. Ohuemmat harmaat käyrät kuvaavat tahtisuunnitelmasta laskettua vastaavaa suhdetta. Mittari on luonteeltaan s-käyrä ja sen tavoitearvona voidaan pitää sitä, että harmaat suunnitelmakäyrät muuttuisivat mahdollisimman vähän ja että vihreä toteumakäyrä olisi mahdollisimman lähellä suunnitelmakäyrää.

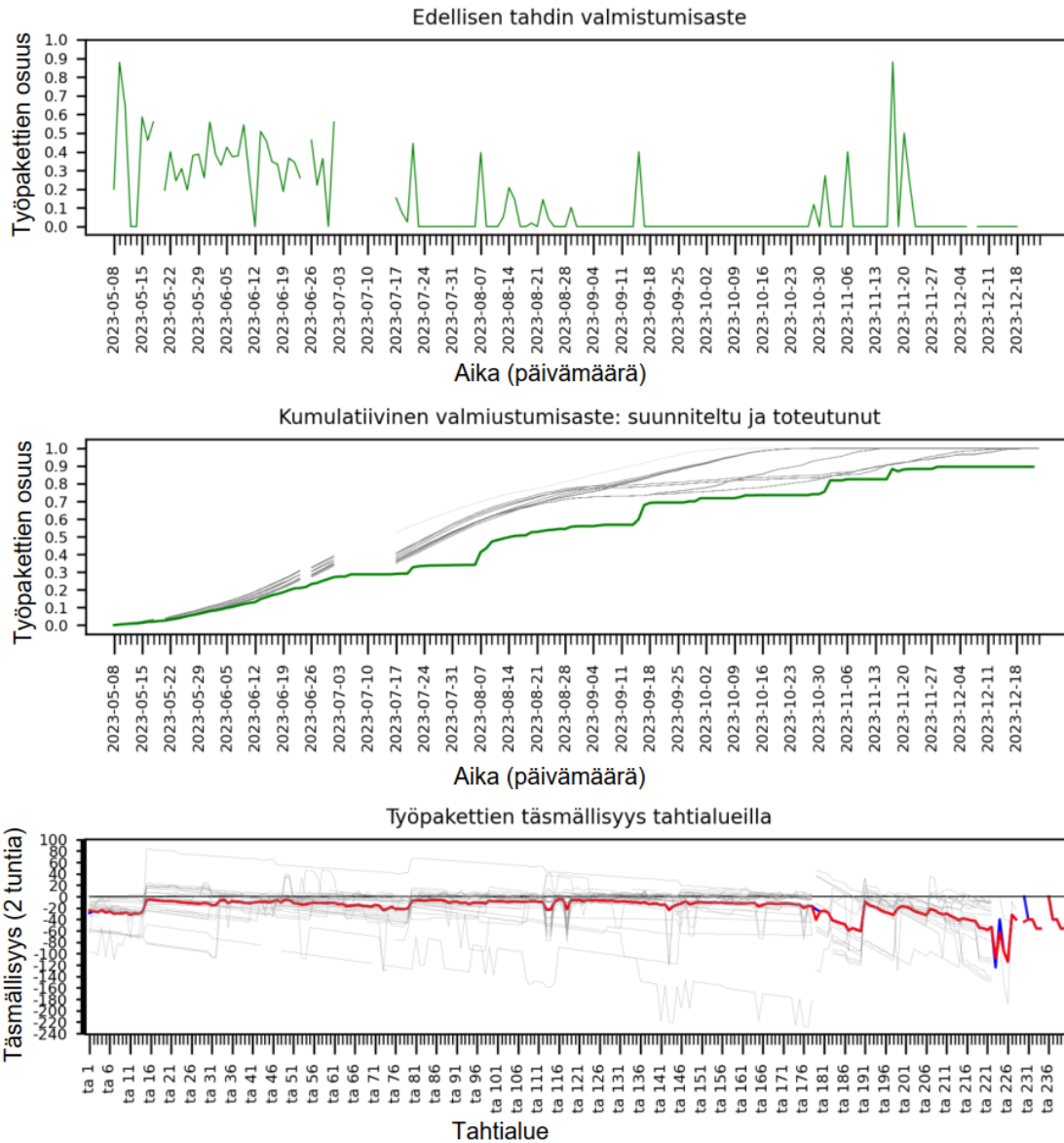
Täsmällisyys puolestaan tarkastelee, toteutuivatko tehtävien aloitukset ja valmistumiset suunniteltuina ajankohtina. Täsmällisyys lasketaan jokaiselle työpaketille suunnitellun ja toteutuneen aloitustahtiajan erotuksena jokaisella tahtialueella. Esimerkiksi yhden tahtiajan myöhässä alkaneen työpaketin täsmällisyys saa arvon -1. Täsmällisyys voidaan laskea aloitusten lisäksi erikseen myös työpakettien lopetuksille. Täsmällisyyden tarkoitus on kuvata miten ajallisesti täsmällisesti toteuma vastaa suunniteltua tahtiaikataulua.

Täsmällisyydessä vaaka-akseli kuvaa eri tahtialueita ja pystyakseli täsmällisyyden arvoa tahtiaikoina. Punainen käyrä kuvaa kaikkien työpakettien keskimääräistä aloituksen täsmällisyyttä kullakin tahtialueella. Sininen käyrä (enimmäkseen näkymättömissä punaisen käyrän alla) kuvaa vastaavasti valmistumisten täsmällisyyksiä. Ohuet harmaat käyrät kuvaavat yksittäisten työpakettien täsmällisyyksiä. Nämä on sisällytetty kuvaajiin havainnollistamaan keskiarvoisen täsmällisyyden työpakettikohtaista hajontaa. Täsmällisyyksien negatiivinen luku viittaa viiveeseen ja positiivinen luku etuajassa olemiseen. Tavoitearvo täsmällisyydelle on 0, jolloin työpaketin aloitus tai lopetus tapahtui täsmällisesti aikataulun mukaisesti.

Kaikissa kuvaajissa olevat katkokset (esimerkiksi päivämäärien 2023-07-03 ja 2023-07-17 välillä kuvassa 2) tarkoittavat, että mittarin arvo puuttuu joko lomahäiriövarauksien tai arkipyhien takia.

5.2 Esimerkki: tapaus 1 (2 tunnin tahtiaika)

Tapauksesta 1 lasketut esimerkkimittarit on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2: Tapauksesta 1 lasketut esimerkkimittarit.

Edellisen tahdin valmistumisasteen kuvaajasta nähdään, että alkupäässä noin 35 % työpake- teista on valmistunut suunnitelman mukaisesti oikean tahdin aikana, ja myöhemmässä vai- heessa valmistumiset ovat osuneet suunnitelmaan vain satunnaisesti. Mittarin luotettavuuteen vaikuttaa olennaisesti toteuman valvontakirjauksien tarkkuus, koska jos kirjaukset on tehty päivänkin todellista valmistumista myöhemmin, työpakettia ei tulkita oikean tahdin aikana val- mistuneeksi. Tapauksen lähempi havainnointi kuitenkin vahvistaa, että huolimatta mittarin herkkyydestä kirjausten tarkkuudelle, aikataulun tahtikohtainen toteutuminen oli yleisesti ot- taen erittäin heikkoa.

Kumulatiivinen valmistumisaste osoittaa, että alkuvaiheessa toteuma seurasi suunnitelmaa hieman perässä, mutta aikataulun edetessä näiden välinen ero alkoi kasvaa. Harmaat suunni- telmakäyrät näyttävät, että tahtisuunnitelmaa muokattiin useita kertoja noin puoleen väliin asti. Muutokset siirsivät kokonaisaikataulun suunniteltua valmistumista vähän kerrallaan

ajassa eteenpäin. Noin puolenvälin jälkeen suunnitelmaan tehtiin useita suurempia muutoksia, joiden vaikutuksesta loppupään suunnitelma ja lopullinen valmistuminen siirtyivät jonkin verran eteenpäin. Toteumakäyrällä nähdään selkeitä hyppäyksiä (esimerkiksi kohdat 2023-08-07 ja 2023-09-18), jotka johtuvat toteumakirjauksien epäsäännöllisyyksistä. Toteumakäyrä on vaakasuuntainen aikoina, joina aikatauluun ei kirjata toteumia, ja hyppäysten kohdalla tehdään kerralla suuri määrä kirjauksia jälkijättöisesti. Tämä kuitenkin kuvastaa sitä, että kumulatiivisen toteuman mittari ei ole yhtä herkkä virheellisille kirjauksille kuin edellisen tahdin valmistumisaste. Myöhässäkin tulevat kirjaukset otetaan huomioon vaikkakin viiveellä. Valvontakirjausvirheistä huolimatta toteuma näyttää mittarin mukaan jääneen ajoittain suunnitelmasta jonkin verran jälkeen. Kuitenkin etenkin loppua kohden, kun suunnitelmaa on päivitetty, toteuma kohtaa suunnitelman ajoittain.

Täsmällisyysmittari puolestaan näyttää, että työpaketit olivat keskimäärin noin 0–20 tahtiaikaa (noin 1–3 päivää) myöhässä suurimmalla osalla tahtialueista. Täsmällisyys antaa suhteessa muihin mittareihin melko erilaisen kuvan suorituskyvystä. Vaikka edellisen tahdin valmistumisaste oli heikko koko vaiheen ajan, täsmällisyys näyttää, että keskimääräiset viiveet useimilla tahtialueilla eivät kuitenkaan kertyneet suuriksi vaan pysyivät pääsääntöisesti alle 20 kahden tunnin tahtiajassa. Kuitenkin osalla tahtialueista (esimerkiksi lähellä tahtialueet 180–190 ja tahtialueiden 223 ja 226 ympäristössä) viivettä oli keskimäärin huomattavasti enemmän. Tämä voi kieliä ongelmista näihin alueisiin liittyen tai mahdollisesti tuotantojärjestelmän ongelmista, jotka vain sattuvat näiden alueiden kohdalle, tai myös toteumakirjauksiin liittyvistä virheistä. Huomionarvoista on, että täsmällisyyskuvaajan työpakettikohtainen hajonta oli melko suurta (harmaat ohuet käyrät). Vaikka täsmällisyyden poikkeama tavoitearvosta oli keskimäärin suhteellisen vähäistä, monilla yksittäisillä työpaketeilla oli suuria viiveitä suhteessa aikatauluun. Tämä voi kieliä esimerkiksi tilanteista, joissa työpakettia ei ole voitu aloittaa, vaan se on jätetty jälkityöksi.

5.3 Esimerkki: tapaus 2 (4 tunnin tahtiaika)

Tapauksesta 2 lasketut esimerkkimittarit on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3: Tapauksesta 2 lasketut esimerkkimittarit.

Kuvasta 3 nähdään, että edellisen tahdin valmistumisaste oli tapauksessa 2 pääosin noin 50 % keskimääräisellä tasolla, mutta se vaihteli merkittävästi. Tapauksessa 2 tahtiaikataulun työpakettit siis merkittiin suunnitellusti valmistuneiksi jokseenkin paremmin verrattuna tapaukseen 1. Kuitenkin tässäkin tapauksessa työpakettien valmistuminen aikataulun mukaisesti jäi kokonaisuutena melko heikoksi.

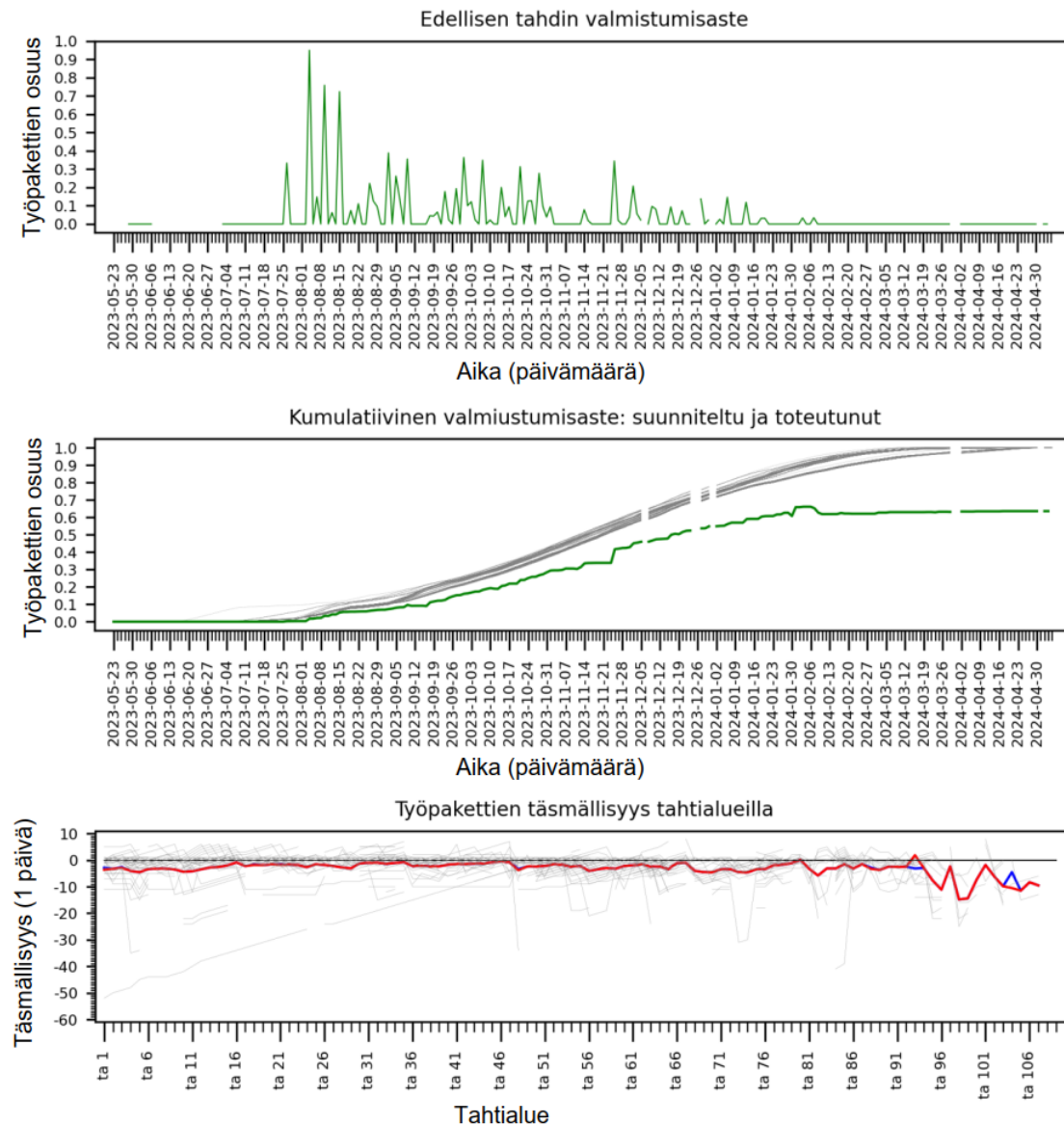
Kumulatiivinen valmistumisaste puolestaan näyttää, että tapauksessa 2 aikataulua ei muokattu ollenkaan, ja että toteuma seurasi suunnitelmaa kutakuinkin vakiona pysyneellä pienellä viiveellä. Viive syntyy aivan vaiheen alkupäässä, mistä asti toteuma noudattelee melko tarkasti suunnitelman muotoa.

Myös täsmällisyys antaa tapauksen 2 aikataulun pitävyydestä melko hyvän kuvan. Aloitusten viive oli keskimäärin viimeisiä tahtialueita lukuun ottamatta vähemmän kuin 3 neljän tunnin

tahtiaikaa, ja myös yksittäisten työpakettien täsmällisyyksien hajonta vaikuttaa olleen huomattavasti vähäisempää kuin tapauksessa 1. Kuitenkin viimeisillä tahtialueilla (noin tahtialueesta 30 alkaen) viiveitä on enemmän ja myös työpakettien hajonta on suurempaa. Täsmällisyys näyttää tässäkin tapauksessa, että viiveitä on eniten tietyllä osalla alueista.

5.4 Esimerkki: tapaus 4 (1 päivän tahtiaika)

Tapauksesta 4 lasketut esimerkkimittarit on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4: Tapauksesta 4 lasketut esimerkkimittarit.

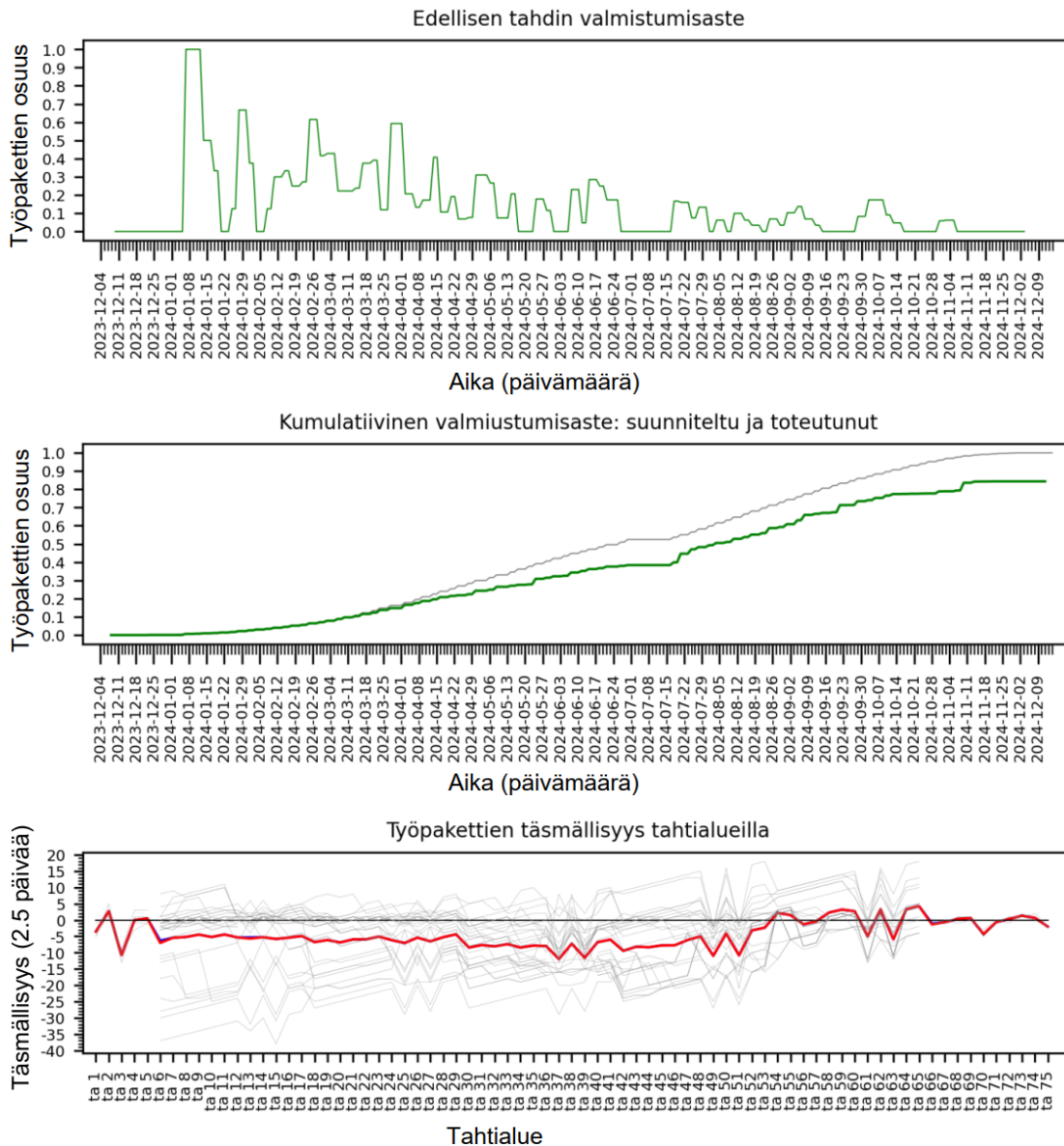
Kuvan 4 edellisen tahdin valmistumisaste näyttää, että työpaketit valmistuivat tapauksessa 4 aikataulun mukaisesti vain hyvin satunnaisesti. Tässäkin tapauksessa on todennäköisesti osittain kyse toteumakirjausten tarkkuuden puutteista, mutta tulos heikosta aikataulun mukaisesta työpakettien valmistumisesta vaikuttaa silti ilmiselvältä.

Kumulatiivinen valmistumisaste näyttää, että kuten tapauksessa 1, myös tapauksessa 4 aikataulua muokattiin vaiheen aikana useita kertoja, joskin kokonaisuudessa muutosten vaikutus oli suhteellisesti huomattavasti pienempi. Toteuma sen sijaan näyttää jäävän jatkuvasti enemmän jälkeen suunnitelmasta, joten suunnitelman korjaaminen ei näytä edes pyrkineen kuromaan kiinni rakoa toteumaan. Huomionarvoista on, että toteuma jää lopputilanteessakin reilusti alle arvon 1, mikä kuvastaa, että edes vaiheen loppuun mennessä kaikkia työpaketteja ei kirjattu valmistuneiksi. Tapauksen tarkempi tarkastelu osoitti, että aikatauluvalvonta käytännössä pysähtyi loppua kohden mennessä. Tämä johtui todennäköisesti enimmäkseen yhtäältä siitä, että loppupäässä tahtituotantoa ei enää kyetty soveltamaan viimeisiin luonteeltaan edellisistä poikkeaviin alueisiin, ja toisaalta siitä, että loppua kohden aikataulun merkitys väheni, koska työtä voitiin jo koordinoita vain hiljaisen tiedon varassa.

Täsmällisyysmittari kertoo tässäkin tapauksessa, että työpakettien aloituksen ja lopetuksen viiveet olivat muiden mittareiden antamasta kuvasta huolimatta keskimäärin melko pieniä (alle 5 päivän tahtiaikaa). Yksittäisillä työpaketeilla sen sijaan oli hyvinkin pitkiä viiveitä, mikä kielii jälleen hankaluuksista aloittaa ja saattaa työpaketteja loppuun tietyillä alueilla tai vaihtoehtoisesti jälkitöiksi jätetyistä työpaketeista. Viimeisillä tahtialueilla näkyy myös keskimääräisessä täsmällisyydessä selkeä notkahdus, mikä kuvastaa laajempia ongelmia näillä alueilla.

5.5 Esimerkki: tapaus 6 (2,5 päivän tahtiaika)

Tapauksesta 6 lasketut esimerkkimittarit on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5: Tapauksesta 6 lasketut esimerkkimittarit.

Kuvan 5 mukaan myös tapauksessa 6 edellisen tahdin valmiusaste oli pääsääntöisesti heikko, vaikkakin alkupäässä hieman loppua paremmalla tasolla. Vertailussa edellisiin tapauksiin on syytä huomata, että 2,5 päivän tahtiaika on mittarin toiminnan kannalta merkittävästi muita pitempi. Pidemmällä tahtiajalla kirjausten tarkkuustaso on heikompi mutta tarkkuuden tulisi parantua. Tämä voi osittain selittää sen, että tapauksessa 6 edellisen tahdin toteumaprosentti näyttää vakaammalta kuin muissa tapauksissa, vaikkakin kokonaisuutena työpakettien valmistuminen aikataulun mukaisesti vaikuttaa tässäkin tapauksessa heikolta.

Kumulatiivisen valmiusasteen suunniteltuja käyriä on vain yksi, joten tapauksessa 6 aikataulua ei muokattu rakentamisen aikana. Kokonaistoteuma puolestaan noudattelee suunnitelmaa melko läheisesti alkuvaiheessa, mutta alkaa jäädä jälkeen noin kolmasosan tahtivaiheesta kulluttua. Hieman puolivälin jälkeen toteuma jää jonkin verran enemmän suunnitelmasta jälkeen, mutta tämä voi olla seurausta puutteellisista valvontakirjauksista, koska toteumassa on hyppy

noin kohdassa 2024-07-20. Loppua kohden toteuma ei enää saa suunnitelmaa kiinni, mutta kuten tapauksessa 4, tämä voi osittain johtua siitä, että kaikkia työpaketteja ei kirjattu valmiiksi vaiheen lopussa. Toteuman päättyminen alle arvon 1 myös vahvistaa, että osa työpaketeista on jäänyt kokonaan kirjaamatta.

Keskimääräinen täsmällisyys oli tässä hankkeessa jonkin verran selvemmin negatiivinen verrattuna muihin tapauksiin, mutta siinä erottuu vähemmän yksittäisiä poikkeavia alueita. Työpakettien viive näyttää kasvaneen keskimäärin melko tasaisesti ensimmäisten alueiden noin 5 puolen viikon tahtiajasta noin 10 puolen viikon tahtiaikaan. Viimeisen kolmanneksen tahtialueista viiveet kuitenkin vähenevät ja työpaketit ovat ajoittain keskimäärin myös aikataulua edellä. Yksittäisten työpakettien hajonta näyttää tässäkin tapauksessa olevan suuri.

5.6 Mittareiden arviointi suhteessa tavoitetarkoituksiin

Laskuesimerkit osoittavat, että mittarit kuvaavat tahtituotannon suorituskykyä eri näkökulmista, mutta myös että niiden hyödynnettävyys ei ole ilmiselvää. Tutkimuksessa pyrittiin kuitenkin arvioimaan, miten mittarit voisivat jatkokehityksen myötä soveltaa erilaisiin tavoitetarkoituksiin. Tavoitetarkoituksiksi määriteltiin yhtäältä joko projektitason suorituskyvyn tai päivittäisten ohjauspäätösten tukeminen, ja toisaalta nykyhetken tilannekuvan tai jatkuvan parantamisen palveleminen.

Projektitason suorituskyvyn tilannekuvan tukemiseen voitaisiin mittareista soveltaa todennäköisesti parhaiten kumulatiivista valmiusastetta. Tämä mittari näyttää projektitasolla, miten hyvin toteutuva tuotanto saavuttaa kokonaisuutena aikataulun, mikä voi olla arvokasta tietoa projektipäälliköiden päätöksenteon tueksi. Projekteissa, joissa tahtiaikataulua muokataan osana tahtiohjausta suunnitelmaa kuvaavien käyrien ”kaatuminen” eteenpäin voi myös antaa käsityksen tahtivaiheen käyttämästä ja jäljellä olevasta ohjausvarasta suhteessa välitavoitteisiin. Täsmällisyys voi mahdollisesti myös tukea projektitason tilannekuvaa, koska se voi näyttää paremmin viiveiden suuruusluokan absoluuttisina lukuarvoina.

Projektitason jatkuvaa parantamista voi periaatteessa tukea kaikilla mittareilla, koska ne kaikki osoittavat poikkeamia tahtisuunnitelmista. Kumulatiivinen valmistumisaste kykenee näyttämään edellisen tahdin valmistumisastetta paremmin, millä ajanhetkellä projektissa alkoi tulla ongelmia, mikä voi tukea juurisyyanalyysijä. Hyödyllisintä tietoa tähän tarkoitukseen antaa kuitenkin todennäköisesti täsmällisyys, koska sen avulla voidaan erotella viiveiden suuruus ja kohdistaa suurimmat ongelmat yksittäisiin tahtivaunuihin ja alueisiin.

Päivittäisten ohjauspäätösten tasolla mittareiden käyttö vaikuttaa hankalammalta niin tilannekuvan kuin jatkuvan parantamisenkin kannalta. Tahtiohjauksessa tieto esimerkiksi kokonaisviiveistä ei suoraan auta tunnistamaan ongelmia tai valitsemaan ohjauspäätöksiä. Ohjauspäätökset ovat yleensä niin kontekstisidonnaisia, että niiden tekemiseen tarvittava tieto syntyy

luonnollisemmin työmaalla havainnoinnin kautta jälkijätöisten numeeristen mittareiden sijaan. Täsmällisyys voisi kuitenkin mahdollisesti tukea tahtijohtajien päivittäistason tilannekuvaa, jos toteumakirjaukset ovat riittävän tarkkoja ja tulokset automaattisesti saatavilla. Suurilla työmailla tai pienillä eräko'oilla tahtialueita voi olla niin paljon, että merkittävimpien poikkeamien tunnistaminen voisi helpottua täsmällisyysmittarin avulla.

Täsmällisyys ja edellisen tahdin valmiusaste voisi auttaa kohdistamaan päivittäistason jatkuvan parantamisen toimenpiteitä kohdistamalla suurimmat tai toistuvimmat ongelmat. Päivittäisjohtamisen yhteydessä syntyvä käsitys merkittävimmistä ongelmista tosin lienee useimmissa tilanteissa riittävä suhteessa itse jatkuvan parantamisen toimenpiteiden tekemisen hankaluuteen. Näin ollen tämän tarkoituksen palvelemiseksi voisi olla tarpeen etsiä ja kokeilla muita paremmin soveltuvia mittareita tai keinoja.

5.7 Datan laatu mittareiden laskemisen näkökulmasta

Mittareiden laskentaesimerkit tarkensivat käsitystä siitä, millaiset datan laadun puutteet vaikuttavat suoraan mittareiden tulkintaan. Esimerkkinä datan keruu henkilöityi osittain tapausten perusteella. Toimintatavat vaihtelivat työmaiden ja henkilöiden välillä, ja jos kirjaamisesta vastaava henkilö oli poissa, toteumatietoa jäi helposti keräämättä. Myös datan keruun suunnitelmallisuus ja kontrollointi vaihtelivat tapausten välillä. Tämä näkyi esimerkiksi toteumakirjausten ajoittaisina taukoina, jotka vaikeuttavat mittareiden tulkintaa erityisesti silloin, kun mittari olettaa valvonnan olevan jatkuvaa ja ajantasaista.

Laskentaesimerkkien perusteella myös mittareiden esitystapa vaikuttaa niiden ymmärrettävyyteen. Esimerkiksi aloitusten ja lopetusten täsmällisyydet voisi olla hyödyllistä normeerata tahtiajan sijaan kalenteriaikaan, koska viiveiden hahmottaminen on selkeämpää esimerkiksi päivinä kuin tahtiaikoina. Lisäksi laskentaesimerkit konkretisoivat sitä, että erä koko voi vaikuttaa mittareiden stabiiliuteen. Pienellä eräkoolla mittarit voivat vaihdella herkästi yksittäisten kirjausten vuoksi, kun taas suurempi erä koko tasoittaa vaihtelua mutta voi samalla heikentää mittarin käyttökelpoisuutta tarkkuustason kärsiessä.

6 Ennusteet tahtituotannossa

Jälkijättöiset mittarit eivät tue ohjauspäätösten tekemistä. Paikka-aikakaavio-ohjelmistoissa oli ennustavia mittareita, joita hyödynnettiin ohjauspäätösten suunnitteluun. Tämän hankkeen aikana ennusteiden laskenta määriteltiin ja tulokset julkaistiin tieteellisessä julkaisussa (Seppänen 2025). Tässä raportissa esitetään lyhyt versio artikkelin tuloksista.

6.1 Paikka-aikakaavion ja tahtituotannon erot ennusteen näkökulmasta

Paikka-aikakaavioon perustuvat ennusteet esiteltiin Seppäsen (2009) väitöskirjassa ja ne toteutettiin mm. Vico Software Schedule Planner -ohjelmistoon. Monet paikka-aikakaavion käyttäjät hyödynsivät ennusteita ohjauksessa esimerkiksi laskemalla riittävän resurssimäärän viivästyneelle urakoitsijalle ja esittämällä asian visuaalisesti urakoitsijalle kokouksessa. Tahtituotannossa tuotantonopeus ja trendit hämärtyvät, koska ohjaus keskittyy enemmän tahtien valmistumiseen kuin tuotantonopeuden valvontaan. Erityisesti tilanteissa, joissa työkuormat vaihtelevat sijaintien välillä, näkemys työtahdista voi hämärtyä.

Tärkein tekninen ero paikka-aikakaavion ja tahtituotannon välillä on puskurien käyttö. Paikka-aikakaavion tehtävien väliin jätettiin aikapuskureita ja ennuste hyödynsi aikapuskuria ennen vaikutusta seuraaviin tehtäviin. Tahtituotannossa aikapuskurien sijaan käytetään yleensä kapasiteettipuskuria eli tahtia ei mitoiteta täyteen, vaan jätetään esim. 15-20% tyhjää jokaisen tahdin sisään. Aiemmin esitetyt ennustelaskelmat eivät tunnista kapasiteettipuskuria.

Lisäksi ohjaustoimenpiteissä on eroja. Koska aikapuskureita ei ole, tahtituotannossa ei ensisijaisesti muuteta resurssimääriä, koska lisäresursseja ei tyypillisesti saada riittävän nopeasti työmaalle. Loppuun jätetyn puskurien siirtäminen viivästyneiden tahtien jälkeen tai jälkeen jääneen sijainnin siirtäminen myöhemmäksi ovat tyypillisiä toimenpiteitä. Sen sijaan paikka-aikakaaviopohjaisessa ohjauksessa resurssimuutokset olivat tyypillinen ohjaustoimenpide, jota ennusteella voitiin hyvin laskea.

6.2 Yksinkertainen ennuste-esimerkki

Taulukossa 4 on esitetty yksinkertaisen kahden vaunun tahtiaikataulun laskelmat, ja kuvassa 6 on esitetty tahtiaikataulu, jossa resurssien määrä ja kapasiteettipuskuri on merkitty numeroilla. Vaikka tahtiaika on vakio, lähtötiedoista käy ilmi, että resurssit ja kapasiteettipuskurit vaihtelevat kohteissa, koska työmäärä vaihtelee eri alueilla.

Taulukko 4: Esimerkin lähtötiedot. Tahtiaika on viisi päivää (Seppänen 2025, käännetty)

Alue	Resurssit, tehtävä 1	Kesto ilman kapasiteettipuskuria, tehtävä 1	Kapasiteettipuskuri, tehtävä 1	Resurssit, tehtävä 2	Kesto ilman kapasiteettipuskuria, tehtävä 2	Kapasiteettipuskuri, tehtävä 2
1	2	2.5	2.5	2	4	1
2	2	4	1	3	4	1
3	2	4	1	3	4.7	0.3
4	2	2.5	2.5	3	3.3	1.7
5	1	3	2	2	4	1

		Viikot									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sijainnit	5					1 (3)	2 (1)				
	4				2 (2.5)	3 (1.7)					
	3			2 (1)	3 (0.3)						
	2		2 (1)	3 (1)							
	1	2 (2.5)	2 (1)								

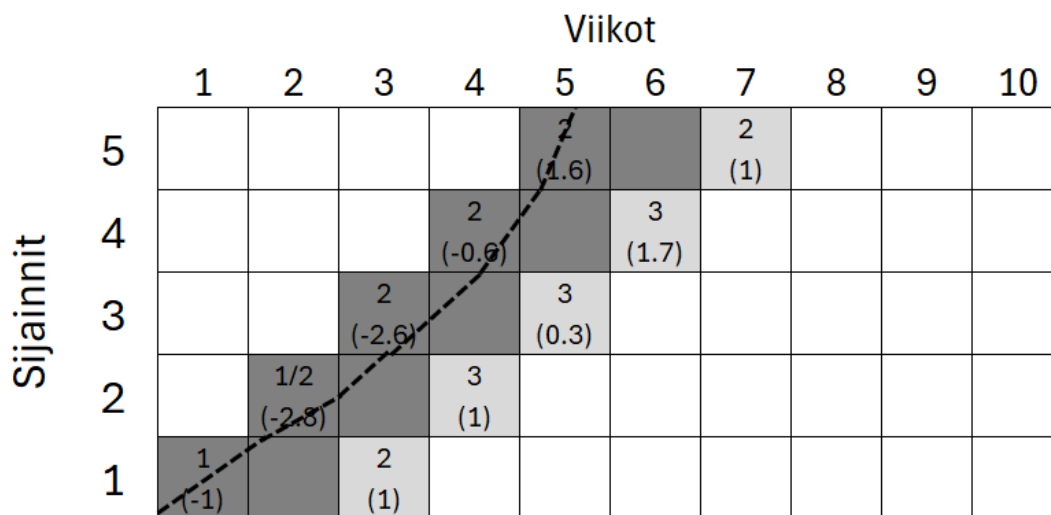
Kuva 6: Tahtiaikataulu, jossa resurssit on näytetty kunkin tahdin osalta ylhäällä ja kapasiteettipuskuri alhaalla (Seppänen 2025, käännetty)

Oletetaan, että yksi henkilö (suunniteltu kaksi henkilöä) aloittaa tahtialueen 1 ja on saanut puolet tahtialueesta valmiiksi keskiviikkoon mennessä. Hän on käyttänyt 24 h saadakseen aikaan 20 h edestä suunniteltua työtä, joten työmenekki on 1,2 h / suunniteltu tunti. Taulukossa 5 nähdään ennustelaskelmat eri työryhmien ko'oilte. Jos lisää ongelmia ei ilmene, lauantai-työllä saadaan ensimmäinen tahti kiinni mutta toinen tahti vaatii toisen henkilön ja lauantai-työt tai kolme henkilöä. Näitä laskelmia ei ole triviaalia päätellä pelkästään tahdin toteutuksesta, jos työkuormat vaihtelevat.

Taulukko 5: Vaihtoehtoisia ennustelaskelmia eri ohjaustoimenpiteille (Seppänen 2025, käännetty)

Alue	Jäljellä olevat tunnit	Ennustettu kesto / kapasiteettipuskuri (1 henkilö)	Ennustettu kesto / kapasiteettipuskuri (1 henkilö + lauantaityo)	Ennustettu kesto / kapasiteettipuskuri (2 henkilöä)	Ennustettu kesto / kapasiteettipuskuri (3 henkilöä)
1	20	24 h / -8h	24 h / oh	12 h / 4h	8h / 8h
2	64	76.8 h / -36.8h	76.8 h / -28.8h	38.4 h / 1.6h	25.6h / 14.4h
3	64	76.8 h / -36.8h	76.8 h / -28.8h	38.4 h / 1.6h	25.6h / 14.4h
4	40	48 h / -8h	48 h / oh	24 h / 16 h	16 h / 24 h
5	24	28.8h / 11.2h	28.8h / 19.2h	14.4h / 25.6h	9.6 h / 30.4

Ennusteella voi tutkia myös, riittääkö puskurivaunun lisääminen tahtien väliin. Kuvassa 7 on esitetty ennuste laskettuna siten, että lisäresurssi tulee mukaan alkaen tahdistusta kolme. Puskurivaunu mahdollistaa kiinnioton, vaikka lisäresurssia ei saada välittömästi.

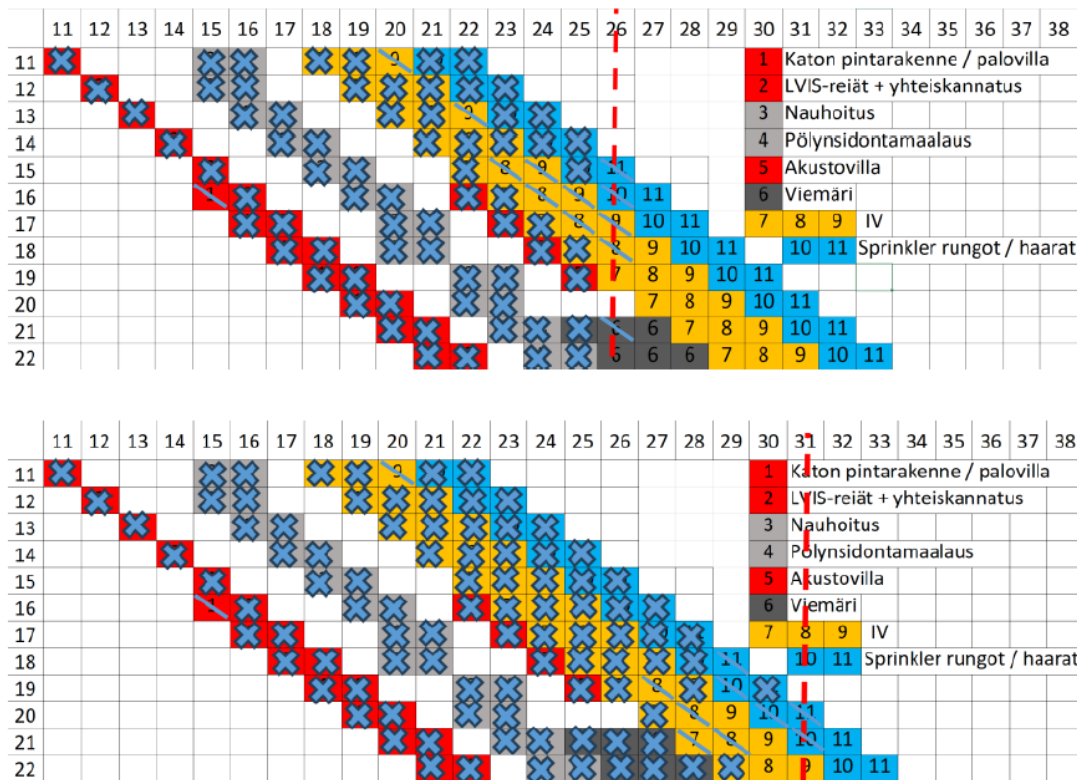


Kuva 7: Ennusteen kulmakerroin kasvaa tahdistusta kolme lähtien, kun resursseja saadaan lisättyä. Puskurivaunu tarvitaan, koska alueet 1–4 eivät pysy lisäresurssillakaan alkuperäisen tahdin sisällä (negatiivinen kapasiteettipuskuri). (Seppänen 2025, käännetty)

Esimerkin pohjalta voidaan todeta, että jo yksinkertaisessa tilanteessa ennuste tuottaa hyödyllistä tietoa, jos työkuormat vaihtelevat sijainneittain ja toteutuneet resurssit poikkeavat suunnitelluista. Ennusteella voidaan tukea ohjaustoimenpidettä päätöksiksi.

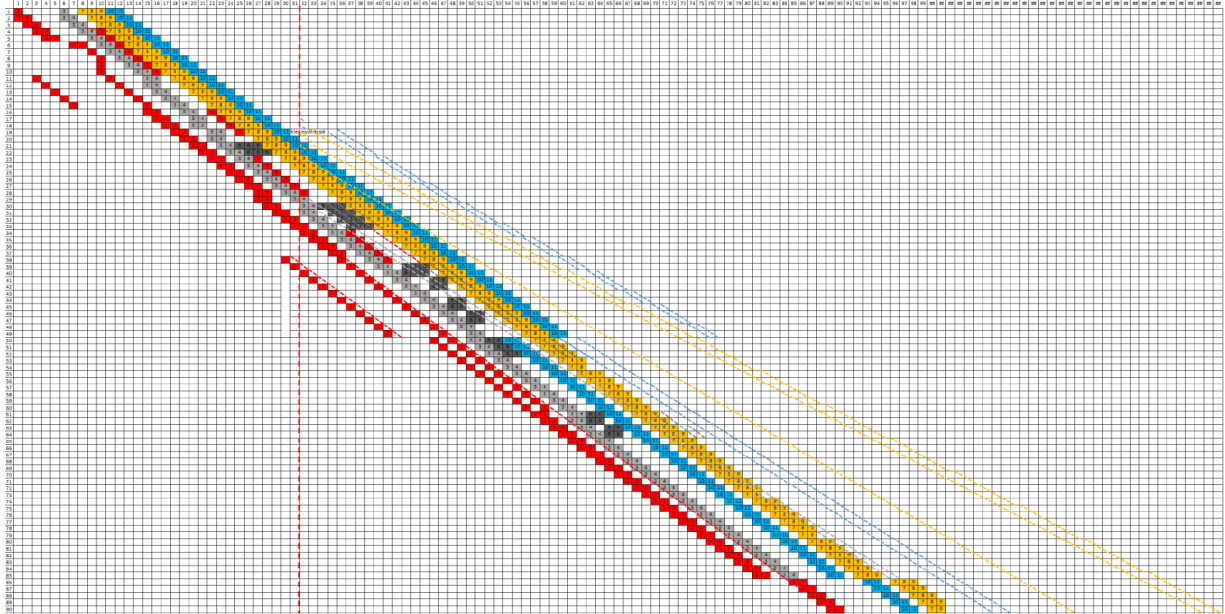
6.3 Todellinen esimerkki

Ennusteet laskettiin myös yhdelle tutkimuksessa käsitellystä todellisesta tapauksesta. Hankkeessa ei ollut saatavilla toteutuneita resurssitietoja. Kyseessä oli toimistokohde päivän tahdilla. Sisävalmistusvaiheessa oli pientä lipsumista aikataulusta. Valittujen vaunujen tilanne on esitetty kuvassa 8 perinteisellä tahtimerkinnällä, jossa ruksittu tahti on kokonaan valmis ja viiva tahdin läpi on aloitettu mutta kesken oleva tahti. Kuvien eroja vertailemalla on vaikea päätellä, eteneekö tahti riittävällä nopeudella. Vaikuttaa siltä, että ylemmässä kuvassa olevia viiveitä on saatu kiinni mutta riittääkö nopeus valmistumiseen aikataulussa?



Kuva 8: Esimerkkicasesta valitut tahdit. Yläpuolisessa kuvassa tilanne tahdin 26 aikana ja alapuolisessa kuvassa tilanne tahdin 31 aikana. (Seppänen 2025, käännetty)

Ennusteet laskemalla on selvää, että nykytahti ei riitä ja viive kasvaa yli 25 tahtiin, jos samaa nopeutta jatketaan loppuun asti (kuva 9). Todellinen esimerkki osoittaa, että ennuste on hyödyllinen myös silloin, jos työmäärät on laskettu vakioina ja toteutuneita resursseja ei ole tiedossa. Vertaamalla kahden viikon toteutumaa visuaalisesti ei ole helppoa saada käsitystä tuotantonopeudesta. Ennuste voisi kannustaa työmaita nopeampaan reagointiin tahdin lipsuessa suunnitellusta.



Kuva 9: Toteutuneen tuotantonopeuden perusteella laskettu ennuste näyttää pitkää viivettä hankkeen lopussa, jos ohjaustoimenpiteitä ei tehdä.

6.4 Pohdintaa ennusteiden käytöstä

Konsortion työpajoissa keskusteltiin ennusteiden hyödyistä. Työpajoissa todettiin, että tahdin lipsumista tapahtuu käytännössä esimerkin tavoin useissa hankkeissa, joissa on lyhyet tahdit. Viiveiden vaikutuksen ymmärtäminen tai tärkeimpien viiveiden tunnistaminen on vaikeaa, koska toteutumatietaa tulee niin monesta vaunusta. Ennusteilla voisi näyttää matalien tuotantonopeuksien vaikutukset urakoitsijoille ja priorisoida ohjaustoimenpiteitä.

Toisaalta viiveet johtuvat usein muista asioista kuin resursseista. Usein pohjalla on suunnitelmien rakennettavuus, suunniteltua vaikeammat asennukset tai logistiikkaongelmat. Ohjaustoimenpiteiden laskenta vain resursseja lisäämällä ohjaa väärään suuntaan, koska ongelman juurisyy on ratkaistava ennen resurssien lisäämistä. Ennuste tunnistaa siis tärkeimmän pullonkaulan mutta ohjaustoimenpidelaskelmat ovat teoreettisia, ellei ongelman juurisyyä ole resurssipula.

Kokonaisuutena ennusteet ovat siis tahdin ohjauksen kannalta relevantteja, joten tahtituotantoa tekevien urakoitsijoiden ja tilaajien kannattaa edellyttää niiden laskemista ja näyttämistä ohjelmistotoimittajiltaan. Konsortion ohjelmistotoimittajia suositellaan sisällyttämään ennusteominaisuudet ohjelmistoihinsa. Riittävät tiedot ennusteiden laskemiseen löytyvät tutkimusraportista (Seppänen 2025).

7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksessa arvioitiin erilaisia suorituskyvyn mittareita projektitasolla ja ohjauspäätösten tukena. Mittareita arvioitiin käyttämällä niiden laskemiseen kahdeksan eri tahtihankkeen tietoja. Pääosa tutkimukseen valituista mittareista perustui toteutuneisiin aloitus- ja lopetushetkiin sekä resursseihin. Toteutuneita resurssitietoja ei kuitenkaan hankkeista ollut saatavilla riittävällä tarkkuudella, mikä rajoittaa useimpien mittareiden toimintaa. Mittaamisen edellytys on luotettavan datan kerääminen toteutusvaiheesta, mikä tutkimuksen mukaan on edelleen haastavaa, koska työmaan henkilöstöä on haastavaa saada motivoitua tekemään kattavasti kirjauksia hankkeen aikana.

Käsitellyt mittarit olivat hyödyllisimpiä projektitasolla, kun yritetään selvittää, onko projekti kokonaisuutena myöhässä. Näitä mittareita voisi hyödyntää esimerkiksi työmaan ulkopuoliset toimihenkilöt, esim. työpäälliköt ja yksikön johto. Mittareiden lukuarvoista voidaan tunnistaa hankkeet, joilla on haasteita pysyä suunnitellussa aikataulussa. Mittauksen ongelmana on se, että jos aikatauluja ei päivitetä, useat mittarit menettävät merkityksensä. Toisaalta, jos aikatauluja päivitetään jatkuvasti, viiveet jäävät piiloon. Jatkossa tarvitaankin mittareita, jotka ottavat huomioon mahdolliset aikataulupäivitykset.

Ohjaustoimenpiteiden suunnitteluun tahtituotantoon esitetyistä mittareista ei löytynyt juurikaan hyötyä. Ne ovat liian karkeita ohjaustoimenpiteiden kohdistamiseen. Hankkeen aikana kehitettiin paikka-aikakaavion oppien pohjalta tahtituotannon ennustemalli (Seppänen 2025), joka mahdollistaa yksinkertaisten ohjaustoimenpiteiden, esimerkiksi resurssilisäyksien, ylittöiden tai suoritusjärjestysten muutosten analysoinnin. Tämänkin mallin haasteena on se, että jos toteutuneita resursseja ei ole tiedossa, lisäresurssien tarvetta on mahdotonta analysoida. Lisäksi ennustetta ei ole vielä toteutettu käytössä oleviin tahtiohjelmistoihin.

Rakennusliikkeiden, jotka haluavat tietoon perustuvaa johtamista rakennushankkeisiin, pitäisi ensimmäisenä panostaa laadukkaan datan keräämiseen työmailta. Data pitää kerätä vähintään tahtiajan ja tahtialueen tarkkuudella. Lisäksi tarvitaan keinoja saada toteutuneet resurssit tahtialueittain tai esimerkiksi tahtisuunnitelman mitoituksen tiukkuutta ei voida arvioida tai resurssilisäysten vaikutusta ei voida laskea. Mahdollisesti teknologia voisi auttaa tässä, esimerkiksi sisäpaikannusta hyödyntämällä. Vaihtoehtoisesti urakoitsijat voisivat raportoida tarkemmin resurssien käyttöä tahtihankkeissa. Nykyisellä tiedon laadulla voidaan tehdä päätelmiä työmaan aikataulutilanteesta kokonaisuutena mutta ei voida vielä analysoida ohjaustoimenpiteiden vaikutusta.

Lähdeluettelo

- Riecki, J., Lehtovaara, J., Seppänen, O. & Peltokorpi, A.. (2025). Building the Capabilities for Takt Production Performance Measurement. In Seppänen, O., Koskela, L., & Murata, K. (Eds.), *Proceedings of the 33rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 33)* (pp. 400–411). <https://doi.org/10.24928/2025/0107>
- 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. (2025). Integrated Forecasting Approach for Takt and Location-Based Scheduling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 151(12), 04025199. <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/JCEMD4.COENG-16877>