

Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Niko Nordman

Talotekniikan aikataulu- ja resurssi- suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari, LVI (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Opinnäytetyö

1.6.2020

Tekijä Otsikko	Niko Nordman Talotekniikan aikataulu- ja resurssisuunnittelu
Sivumäärä Aika	43 sivua + 2 liitettä 1.6.2020
Tutkinto	rakennusmestari (AMK)
Tutkinto-ohjelma	rakennusalan työnjohto
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaajat	talotekniikkavalvoja Mika Eloranta lehtori Jyrki Viranko
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia talotekniikan resurssisuunnittelua ja tuotannonohjausmenetelmiä. Työssä tutkittiin erilaisia käytössä olevia aikataulumalleja hankkeen eri vaiheissa sekä massalistojen avulla luotuja resurssikaavioita. Tutkimuksessa arvioitiin käytettävien aikataulumallien soveltuvuutta tuotannonohjaamiseen ja laadunhallintaan sekä sitä, kuinka erilaiset tuotannonohjausmenetelmät vaikuttavat urakoitsijan resurssitehokkuuteen.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin resurssisuunnittelun vaiheita sekä massaluettelon ja BIM-tietomallin hyödynnettävyyttä tuotannonsuunnittelussa. Tutkielmassa tarkasteltiin sopimusteknisesti sitovia resurssisuunnitelmia sekä tutkittiin erilaisia tuotannonohjauksen ennustettavuutta helpottavia sovelluksia ja resurssitehokkuutta kehittäviä tuotannonohjausmenetelmiä.</p> <p>Työssä käsiteltiin lohkojaon merkitystä ajalliseen hallintaan sekä tahtituotannon tuomia etuja tuotannon virtaustehokkuuteen ja resurssitehokkuuden kehittämiseen. Tutkielmassa arvioitiin erilaisten aikataulumallien soveltuvuutta rakennushankkeen eri ajankohtina sekä tuotannaikaisia tuotannonohjausmenetelmiä kuten lean-johtamisfilosofian sovelluksia ja Last Planner -menetelmää. Tuotannonohjausmenetelmillä pyritään tehostamaan tuotannon virtaustehokkuutta, hallittavuutta sekä resurssitehokkuutta. Tutkielmassa arvioitiin resurssien oikea-aikaisuuden merkitystä tuotantoon sekä resurssitehokkuuden kehitystä Last Planner -menetelmän ja tahtituotannon myötä.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena on esitelty erilaisia tuotannonohjaus ja laadunvarmistusmenetelmiä sekä työvaiheiden ja resurssien standardisoinnin tuomia etuja tuotannon hallittavuuteen ja tuotannollisen laadunhallintaan. Tutkielmaa voidaan hyödyntää rakennushankkeen aikataulusuunnittelussa, resurssitarpeiden arvioinnissa sekä työmaan aikataulun seurannan ja ennustettavuuden tukena. Opinnäytetyötä voidaan käyttää lähteenä kehittäessä tuotannaikaisten riskien hallittavuutta ja ajallisten puskureiden optimointia. Työssä esiteltävät tuotannonohjausmenetelmät edesauttavat talotekniikkaurakoitsijoiden resurssisuunnittelua sekä urakoitsijoiden sitoutumista tuotantotapaan.</p>	
Avainsanat	resurssikaavio, resurssisuunnittelu, tahtituotanto

Author Title Number of Pages Date	Niko Nordman Resource and Schedule Planning for Building Services Engineering Production 43 pages + 2 appendices 1 June 2020
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Site Management
Professional Major	HVAC Engineering
Instructors	Mika Eloranta, Building Services Supervisor Jyrki Viranko, Senior Lecturer
<p>The purpose of the final year project was to study the process of scheduling and resource planning for building services engineering contractors. The study included various scheduling models and methods for planning resources used in the construction industry. The applicability of the scheduling models and the effects of production management models on production controllability were reviewed.</p> <p>The Bachelor's thesis reviewed resource diagrams used as a supplement in the contract agreements of building services engineering contractors. The survey included the process of planning resources by utilizing parts lists and building information models. The study reviewed the resource efficiency of a contractors and examined methods to improve production rates. Production models from Lean philosophy such as Takt Time production and Last Planner method to improve productions productivity, manageability, and quality control were included in the review.</p> <p>The study displayed the importance of block division in production planning and the benefits of synchronized production for production flow and for resource efficiency development. Projects result demonstrates the progress in production of the reviewed schedule and resource planning models and the improvement in production flow with work standardization.</p>	
Keywords	resource diagram, resource planning, takt time production

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Tutkielman tausta	2
1.2	Tutkimusmenetelmät	2
1.3	Haahtela-malli	3
2	Yleisaikataulu	3
2.1	Kriittinen polku	6
2.2	Hossin sääntö	7
3	Lohkojako ja tuotannosuunnittelu	7
3.1	Lean	8
3.2	Hyöty, tuki ja hukka	9
3.3	Tahtiaikataulu	10
3.4	Last Planner	14
4	Virtaus- ja resurssitehokkuus	15
5	Massat ja menekit	18
5.1	Building Information Modeling	19
5.1.1	Tietomallit määrälaskennassa	19
5.1.2	Yleiset tietomallivaatimukset	20
5.2	Ratu-tiedostot	21
5.3	Työehtosopimuksen normituntitaulukko	22
6	Resurssien suunnittelu rakennushankkeessa	24
6.1	Urakkakohtainen resurssisuunnittelu	25
6.1.1	Ilmanvaihtourakoitsija	25
6.1.2	Putkiurakoitsija	26
6.1.3	Sähköurakoitsija	27
6.1.4	Rakennusautomaatiourakoitsija	28
6.2	Toteuman seuranta	29
6.2.1	Tuotantokaavio	33

6.2.2	Valvontavinjetti	34
7	Laadun varmistus	34
7.1	Tehtäväsuunnittelu	35
7.2	Malliasennus	36
7.3	Itselleluovutus ja viimeistelyohjelma	37
8	Yhteenveto ja päätelmät	38
	Lähteet	42
	Liitteet	
	Liite 1. Vaisala rakennus 4, yleisaikataulu	
	Liite 2. KV1, talotekniikan luovutusvaihe aikataulu	

1 Johdanto

Talotekniikan osuus uudis- sekä saneerauskohteissa on kasvanut merkittävästi talotekniikan kehityksen sekä nykyisten energiavaatimusten myötä. Myös talotekniikan monipuolistuminen ja monimutkaistuminen esimerkiksi hybridijärjestelmien kehittyessä luo talotekniikan toteutuksista yhä haastavamman osakokonaisuuden rakennushankkeessa aikataulullisesti sekä rajallisten resurssien myötä. Talotekniikkaurakoitsijoiden sitouttaminen aikatauluun sekä tarvittaviin resursseihin vaatii yhteistyökykyä ja suunnitelmallisuutta. Resurssivajeet aiheuttavat viiveitä sekä painostaa kiireeseen työvaiheiden edetessä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia talotekniikkaurakoitsijoiden resursseja rakennushankkeessa sekä tuotannonohjaukselle rakennushankkeen eri vaiheissa. Työn tilaajana toimi Haahtela-rakennuttaminen Oy, joka tuottaa projektinjohtopalveluja asiakasyrityksilleen. Opinnäytetyössä tutkittiin talotekniikka-alan resurssien suunnittelua ja suunnitelmien soveltamista rakennushankkeen tuotannossa. Tutkielmaa voidaan hyödyntää rakennushankkeen aikataulusuunnittelussa, resurssitarpeiden arvioinnissa sekä työmaan aikataulun seurannan ja ennustettavuuden tukena.

Tuotannonsuunnittelun tulos on rakennustyömaan aikataulu, joka toimii merkittävimpana tuotannonohjauksen työkaluna rakennushankkeessa. Aikataulun perusteella ohjataan ajanhallinnan lisäksi tuotannollista laatua, turvallisuutta ja kustannuksia. Toteuman seurannalla ja ennakoivalla suunnittelulla myös rakennustyömaan aikana pyritään luomaan edellytykset tuotannon jokaiselle vaiheelle. Tarkentavalla suunnittelulla mahdollistetaan riskien ja poikkeamien tunnistaminen ja niiden realisoitumisen ehkäisy. (1, s. 63.)

Rakennushankkeen edetessä talotekniikan resurssitarpeita on vaikea ennustaa ilman perusteellista ennakoivaa suunnittelua. Tarpeet vaihtelevat jopa viikoittain, ja urakoitsijan samanaikaiset työmaat tasapainottelevat saman ongelman kanssa. Usein hankkeen edetessä loppua kohden urakoitsijat joutuvat ryntäilemään ja paikkaamaan edellisten vaiheiden vajaita resursseja. Kiireestä ja ryntäilystä koituu taas kustannuksia hankkeen osapuolille, ja laatu sekä työturvallisuus kärsivät. Tarkemman suunnittelun myötä

voidaan kehittää rakennushankkeen aikataulua ja vähentää aikataulupuskureita sekä luoda luotettavia sovelluksia päivittäiseen johtamiseen aikataulua hyödyntäen.

1.1 Tutkielman tausta

Työssä tutkittiin laskennallisiin ohjemenekkeihin ja asennusmetreihin perustuvaa resurssisuunnitelmaa, jonka seurannan ja toteuman perusteella arvioitiin suunnitelman toimivuutta ja mahdollisia kehitystarpeita. Rakennushankkeiden kireä aikataulu vaatii resurssien optimointia ja tarkkaa suunnittelua. Opinnäytetyössä tutkittava resurssisuunnitelma on otettu käyttöön tämän opinnäytetyön tilaajan kohteessa jo neuvotteluvaiheessa, ja sen on tarkoitus toimia sopimusteknisenä tukena aina taloudelliseen loppuselvitykseen asti.

Työsuoritusten ja urakoiden vaiheistus harvoin mahdollistaa stabiilit resurssitarpeet. Väärin ajoitettu, kuten myös puutteelliset resurssit luovat kiirettä. Oikein ajoitettu ja mitoitettu resurssitarve tulisi suunnitella mahdollisimman aikaisessa vaiheessa rakennushanketta. Suunniteltujen resurssien seuranta myös mahdollistaa reagoinnin, mikäli näissä havaitaan poikkeamia. Lisäksi suunnittelemalla ja seuraamalla toteutuneita resursseja voidaan välttyä mahdollisilta ryntäyskuluvaateilta.

Opinnäytetyö tehdään rakennushankkeen päätoteuttajan ja rakennuttajan aikataulun seurantaan ja osaurakoitsijoiden resurssitarpeiden ennakointiin sekä näiden suunnitteluun. Projektissa tarkastellaan massaluetteloa hyödyntävää laskentatapaa resurssien optimointiin ja tästä laadittua aikataulua verraten toteumaan käynnissä olevalla työmaalla. Suunnitelman perusteella voidaan arvioida myös talotekniikkaurakoitsijoiden resurssitehokkuutta ja sen tehostamista aikataulun kannalta. Lisäksi projektissa tutkitaan erilaisia sovelluksia aikatauluohjaamiseen sekä erilaisia tuotannosuunnittelu menetelmiä ja aikataulumalleja.

1.2 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyössä tutkittiin käynnissä olevalla työmaalla käytettävää laskentamenetelmää talotekniikkaurakoitsijoiden resurssien tarpeesta. Laskentatapaa arvioitiin suunnitelman

ja toteuman perusteella ja sen toimivuutta johtamisessa. Rakennushankkeen päätoteuttajan toimihenkilöiden haastatteluilla selvitettiin, kuinka osaurakoitsijoiden resurssitehokkuus toteutuu ja minkälaisia prosesseja liittyy resurssien suunnitteluun. Työssä myös tutkittiin erilaisia suunnitteluun ja tehokkuuteen vaikuttavia työkaluja ja menetelmiä kuten Last Planner, työmaan logistiikkasuunnittelu ja BIM-tietomallin hyödynnettävyys. Tutkielmaa täydennettiin lisäksi kirjallisuustutkimusten perusteella.

1.3 Haahtela-malli

Rakennushankkeen osapuolia ovat lähtökohtaisesti tilaaja, käyttäjä, rakennuttaja, pää toteuttaja, urakoitsijat sekä omalla osallaan viranomaiset ja konsultit. Tavallisesti projektinjohtourakoinnissa projektinjohto toimii rakennuttajan ja pääurakoitsijan roolissa. Haahtela-mallissa pääurakoitsijaa ei ole, jolloin pääurakoitsijan vastuut jakautuvat sekä pää toteuttajan, että osaurakoitsijoiden kesken. Haahtela-mallissa työmaan päivittäinen johto-organisaatio koostuu perinteisesti vastaavasta työnjohtajasta, työmaainsinööristä ja valvojista. Rakennushankkeessa maankäyttö- ja rakennuslain edellyttämät ilmanvaihtolaitteiston rakentamisesta vastaava työnjohtaja ja kiinteistön vesi- ja viemärlaitteiston rakentamisesta vastaava työnjohtaja sovitaan tavallisesti urakoitsijoiden vastuulle.

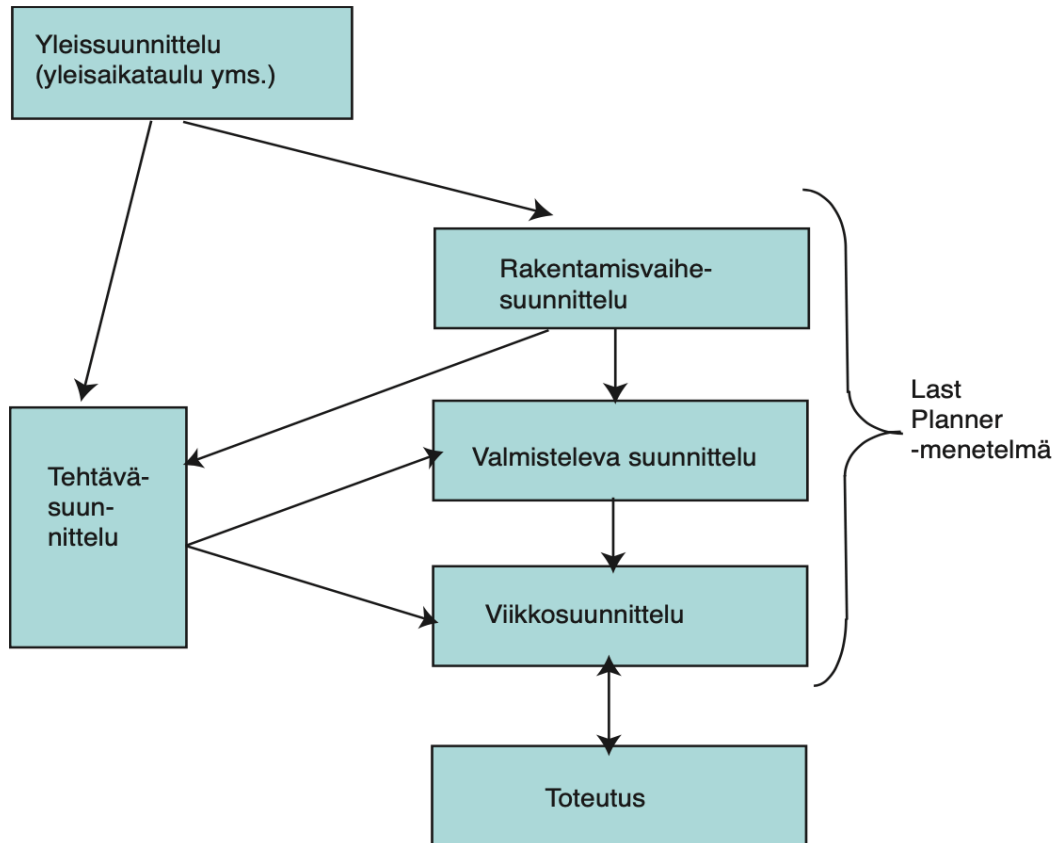
Haahtela-rakennuttaminen Oy:n tarjoama projektinjohtopalvelu eroaa joltakin osin perinteisestä projektinjohtourakoinnista. Haahtela-mallissa projektinjohtopalvelu kattaa rakennushankkeen rakennuttajan tehtävät ja päätoteuttajan velvollisuudet. Yhteistyö asiakkaan kanssa alkaa jopa tarvesuunnittelusta ja hankeaikataulun laadinnasta jatkuen aina takuuajaksiin tukitoimintoihin asti. Merkittävänä erona perinteisestä projektinjohtourakoinnista on, että urakkasopimukset sovitaan osaurakoina suoraan tilaajan nimiin, jolloin urakoitsijat ovat suorassa sopimussuhteessa tilaajan kanssa. Haahtela-rakennuttaminen vastaa osaurakoiden hankinnasta ja tarjoaa työmaan johto-organisaation. (2.)

2 Yleisaikataulu

Rakennushankkeen yleisaikataulu on ensimmäinen työkalu rakennushankkeen projektioorganisaatiolle työmaan aikatauluseurantaan. Alustava yleisaikataulu on aikataulumalli, jolla kuvataan suunniteltua tuotantoa esimerkiksi sopimusneuvotteluissa.

Sopimusneuvottelussa alustava yleisaikataulu käydään läpi ja suunnitelman toteutuskelpoisuus hyväksytään osapuolten kesken. Mahdolliset välitavoitteet myös suunnitellaan mukailemaan alustavaa aikataulua ja yhdessä hyväksytty aikataulu liitetään sopimukseen. (1, s. 45.)

Yleisaikataulu ei erottele yksittäisiä työsuorituksia vaan visualisoi tuotannon vaiheiden keskinäisen järjestyksen ja urakat kokonaisuuksiksi (3, s. 8, 30–31). Yleisaikataulun suunnittelun myötä alkavat hahmottua rakennushankkeen suorituspaikkojen, urakoiden ja suoritusten riippuvuudet, saavutusten välitavoitteet sekä tuotannon erityispiirteet. Yleisaikataulun pohjalta työmaan johtovelvollisuuksista vastaava laatii rakennushankkeen työaikataulun yhdessä urakoitsijan ja tilaajan kanssa. (4, 4 § ja 5 §.) Yleisaikataulua ja siihen suunniteltuja urakoiden ajankohtia ei lähtökohtaisesti muuteta tuotannon aikana. Tämän vuoksi sopimusvaiheessa suoritusten toteutettavuus ja tarvittavat resurssit tulisi olla selvillä, jotta rakennusaikainen tuotanto voidaan toteuttaa sovitussa aikataulussa. (1, s. 45.) Aikataulumalleja, kuten yleisaikataulua tarkennetaan edelleen sopivammiksi tuotannon seurantaan, ohjaamiseen sekä johtamiseen esimerkiksi rakentamisvaiheikatauluksi ja viikkoaikatauluksi (kuva 1).



Kuva 1. Yleisaikataulusta johdettuja tuotannonsuunnittelumenetelmiä (1, s.17).

Erilaiset aikataulumallit palvelevat hanketta sekä tuotantoa niiden eri tarpeisiin. Aikataulusuunnittelussa on otettava huomioon *Rakennusurakan yleiset sopimusehdot 1998* (YSE 1998), joka edellyttää aikataulusuunnittelussa yhteistoimintaa osapuolten välillä. Rakennusurakan yleisten sopimusehtojen 5 §:ä sovelletaan monella tapaa ja työpanos aikataulusuunnittelussa vaihtelee päätoteuttajan ja urakoitsijan välillä hankkeittain. Lähtökohtana työaikataululle ja rakentamisvaiheaikataululle on yhteisesti sovittu aikataulu, joka mukailee hankkeen yleisaikatauluja ja sen tavoitteita (3, s. 34).

Koko tuotantoa kuvaavaa aikatauluja usein tarkennetaan osiin. Esimerkiksi sisävalmistusvaiheen aikataulu on monesti kuvattu erillisenä jana-aikakaaviona tai tahtiaikatauluna. Tarkempi ja yksityiskohtaisempi lohkojaoltaan sekä työsuorituksiltaan kuvattu

aikataulu antaa mahdollisuuden havaita helpommin mahdolliset tuotannolliset riskit ja aikatauluviiveet. Ajoissa havaittu riski tai viive tuotannossa voidaan tarvittaessa suunnitella tarkemmin ennen näiden realisoitumista. Talotekniikan osalta tuotanto, yhteensovittaminen ja resurssit tulisi suunnitella aina urakoitsijoiden kanssa yhteistyössä. (3, s. 41.)

Aikataulun luominen on ennen kaikkea tuotannosuunnittelua. Suunnittelussa otetaan huomioon työvaiheiden riippuvuudet ja edellytykset sekä pyritään ennakoimalla varmistamaan jokaisen työvaiheen onnistuminen suunnitelmien mukaisesti. Heikosti toteutettu tuotannosuunnittelu lisää tuotantovaiheen riskejä, jotka voivat vaikuttaa hankkeen kustannuksiin, turvallisuuteen ja laatuun heikentävästi. Aikatauluun on myös varattava puskuja, eli aikajaksoja, joilla voidaan kuroa mahdollisia häiriöitä tai suunnitelmamuutoksia, jotka muutoin aiheuttaisivat myöhästymisen suunnitellusta valmistumisesta. Tuotannon suunnittelussa on otettava huomioon työryhmien vapaat ja jatkuvat työkohteet. (3, s. 20.) Aikataulu- ja resurssisuunnittelussa on pyrittävä suunnittelemaan ehyt ja tasainen jatkumo. Vaihtelevat resurssitarpeet sekä epäsäännöllinen tuotannon tahti on vaikea hallita ja työmaalta hetkellisesti toisaalle siirretyt resurssit voivat olla työläitä palauttaa.

Työmaan ylläpitokustannukset ovat merkittävä osa koko hankkeen budjetista, minkä vuoksi panostus tuotannosuunnitteluun voi tuoda huomattavia säästöjä hankkeen kokonaiskustannuksissa. Viikkojen tai jopa vain päivien ajalliset säästöt voivat tuoda tällöin ratkaisevat säästöt hankkeen kokonaiskustannuksiin. Ajalliset säästöt voidaan usein tehdä osittelemalla kohdetta ja työsuoritteita, vertailemalla vaihtoehtoisia toteutustapoja tai käyttämällä esivalmistettuja elementtejä.

2.1 Kriittinen polku

Aikataulun luomiseen oleellisin informaatio on rakentamisen kriittinen polku, joka tahdistaa ja vaiheistaa työsuoritukset kronologisesti toteutettavaan järjestykseen. Kriittinen polku käsittää tehtävät, joiden onnistuminen laadukkaasti aikataulussa on edellytys onnistuneelle tuotannolle. Rakennusosan tai urakan siirtäminen vaikuttaa lähtökohtaisesti aina aikatauluun. (3, s. 51.) Esimerkkinä voidaan tarkastella putkieristysten asennusajankohtaa, jonka ehdottomana riippuvuutena on talotekniikka-asennukset tai kylpyhuoneen laatoitusta, jota ennen on vedeneristykset oltava valmiita. Mikäli tarkkaa tuotannon

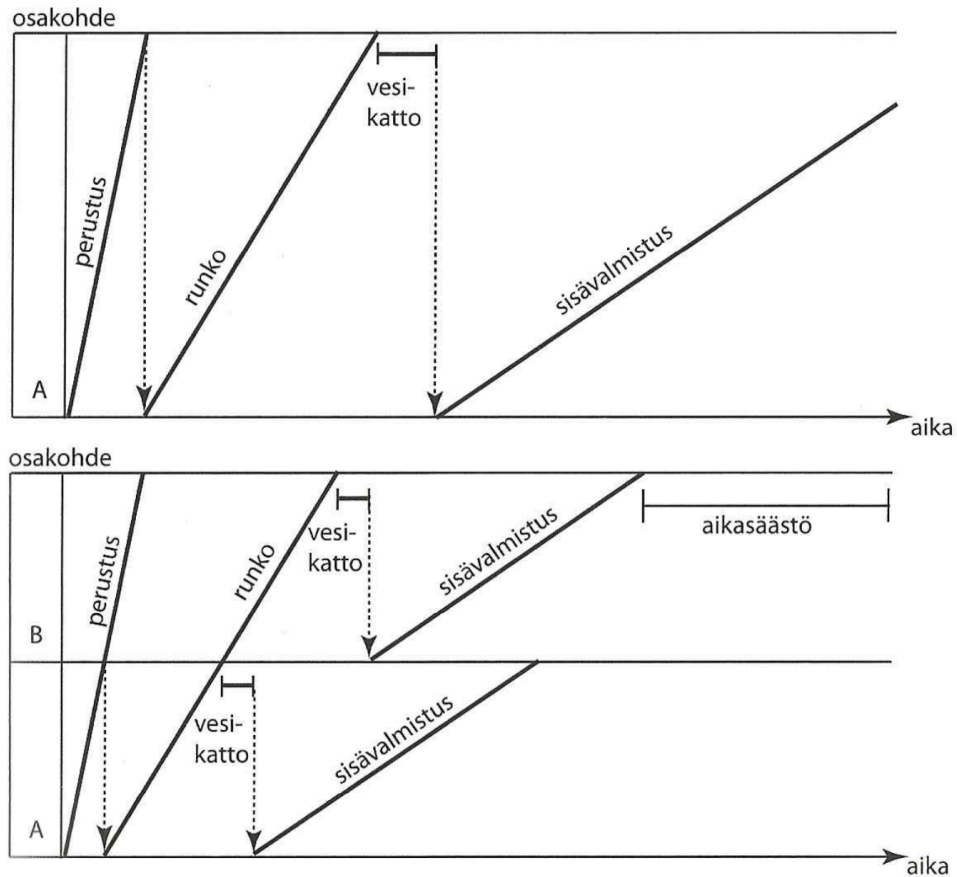
suunnittelua tehdään aikaisessa vaiheessa, voidaan näihin riippuvuuksiin vaikuttaa esimerkiksi materiaali valinnoilla tai esivalmistetuilla elementeillä.

2.2 Hossin sääntö

Rakennushankkeen aikataulusuunnittelussa sovellettava Hossin sääntö pyrkii käynnistämään mahdollisimman monen työvaiheen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Työsuunnitellaan käynnistettävän lohkosta, jossa esimerkiksi perustus- ja runkovaiheesta sisävalmistukseen on ajallisesti lyhyin kesto. (3, s. 24.) Hossin sääntö ohjaa ositettujen lohkojen tuotantojärjestystä pyrkien lyhentämään hankkeen kokonaiskestoa.

3 Lohkojako ja tuotannosuunnittelu

Rakennushankkeen yleisaikataulu ei laajassa kohteessa sovellu työkaluksi rakentamisen johtamiseen tai ohjaamiseen vaan on pikemminkin tuotannosuunnitteluun ja seurantaan. Yleisaikataulun pohjalta voidaan kehittää työmaa-aikaiseen johtamiseen paremmin soveltuvia aikataulumalleja, joissa rakennus tai alue ositellaan, eli jaetaan pienempiin lohkoihin, jolloin alueiden yksittäiset työsuoritukset alkavat hahmottua. Ositellun lohkon koko voi vaihdella rakennuksen kerroksesta yksittäisiin tiloihin tai huoneisiin (3, s. 24). Kuvassa 2 on esitetty osittelun merkitys aikatauluun ja tuotannosuunnitteluun. Kohteen osittelulla mahdollistetaan esimerkissä runkotöiden työvaiheen aikaistaminen edeltävän työvaiheen valmistuessa ositetulla osakohteella.



Kuva 2. Osituksen merkitys ajansäästöön (3, s. 25).

3.1 Lean

Lean on lähtöisin Toyota Motor Corporationin kehittämän Toyota Production Systemiin pohjautuvasta arvoperusteisesta johtamisfilosofiasta, jossa tuotannon toimintastrategian teemoihin sisältyy muun muassa asiakaslähtöisyys, hukkamateriaalin minimointi ja tuotannon virtaustehokkuuden jatkuva kehittäminen (5, s. 7–8; 6, s. 138). Lean-malli sisältää joukon tuotannon kehittämiseen tarkoitettuja työkaluja, joiden lähtökohdat ovat asiakkaiden ja henkilöstön kunnioittamisessa. Tuotantokapasiteetti pyritään sovittamaan asiakkaiden tarpeisiin eli tilauksiin, jolloin ylituotantoa ei synny. Tällä tavoin tuotantoon saadaan niin sanottu imuohjaus, jossa tuotanto synkronoidaan tilauskantaan.

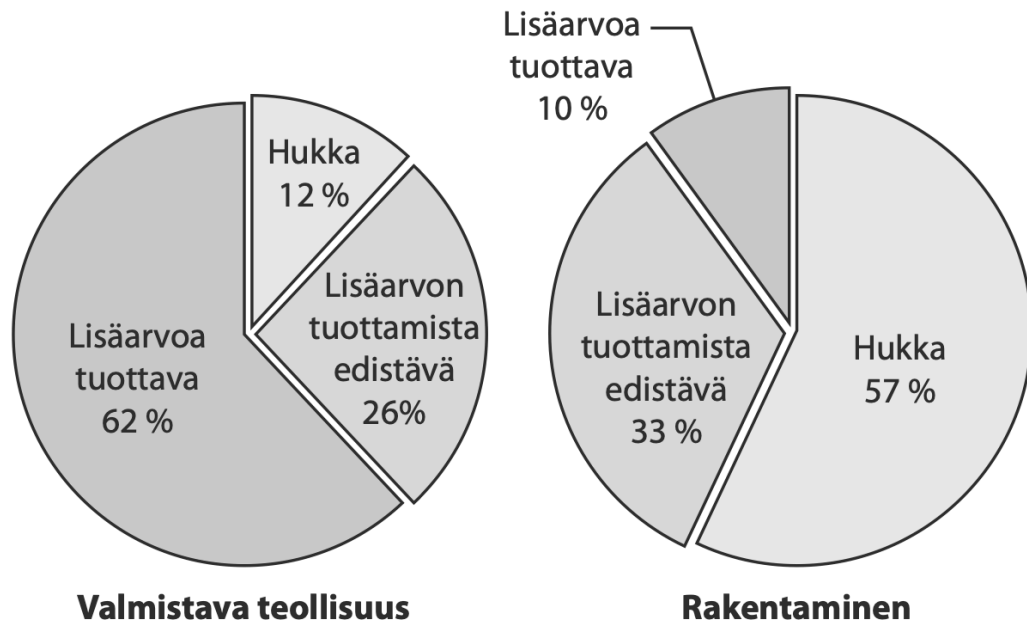
Toyotan filosofiaa on kehitetty useille eri aloille. Tuotantomallin kulmakiviä ja keskeisiä teemoja on kehitetty myös rakennusalalle, joihin sisältyvät muun muassa Just In Time (JIT) -logistiikka ja Standard Work eli tuotannon vaiheiden vakioiminen. Työn standardoinnilla kyetään luomaan tuotannon jokaiseen yksittäiseen työvaiheeseen ammattitaitoisuutta toistuvien suoritusten myötä. Tällä tavoin standardoimalla työvaiheita voidaan parantaa tuotannon virtausta ja minimoida prosessin häiriöt. Vakioimalla työvaiheet tavoitellaan laadun parannusta sekä tunnistamaan tuotannon arvoa tuottavat toiminnot arvoa tuottamattomista. (1, s. 13; 6, s. 140.) Just In Time -periaate pyrkii vähentämään hukkaa täsmätoimituksiin. Materiaalit, koneet ja toimitukset tulisi suunnitella toimitettavaksi oikea-aikaisesti, oikeaan paikkaan ja vain tarvittavissa määrin (1, s. 8). Rakennus- alalla materiaaleja on totuttu varastoimaan pitkiäkin aikoja työmaalla, jolloin ne altistuvat vaurioille tai katoavat ennen niiden asennusta.

3.2 Hyöty, tuki ja hukka

Lean-filosofiassa yksi merkittävimmistä tuotannon tehostamisen työkaluista on prosessin arvoa tuottavan työn tunnistaminen, jolloin tehottoman resurssin tai ajan, eli hukan osuutta voidaan poistaa prosessista. Mikä tahansa arvoa tuottava työsuoritus, esimerkiksi ilmanvaihtokanavan asennus, vaatii prosessissa muutakin kuin pelkän asennukseen käytetyn ajan. Prosessiin sisältyy materiaalin tilaaminen, varastointi, haalaus asennuspaikalle ja oikeiden työkalujen ja asennuksessa tarvittavien pientarvikkeiden kerääminen. Hyödyn, hukan ja tukitoimintojen tunnistaminen on oleellinen osa resurssitehokkuuden kehityksessä. Hyötyä tuottava osuus on lähtökohtaisesti ne prosessin vaiheet, jotka ovat asiakkaalle arvoa tuottavaa toimintaa, eli edellä olevassa esimerkissä vain kanavan osan asennus laadukkaasti ja suunnitelmien mukaisesti. Tukitoiminnot voidaan tunnistaa prosessista välttämättöminä mahdollistavina valmisteluina arvoa tuottavalle työlle. Hukan osuus työvaiheessa erotellaan prosessista tunnistuen ei välttämätön, turha ja tarpeeton, kuten esimerkiksi tavaroiden etsiminen, materiaalihukka ja hukan toimittaminen jätekierrätykseen. (6, s. 74–76.)

Arvoa tuottavan osuuden tunnistamisella ja erottamisella tukitoiminnoista ja hukasta voidaan prosessia pyrkiä tehostamaan kasvattamalla tukitoimintojen osuutta esimerkiksi suunnittelemalla logistisia ratkaisuja sujuvimmiksi, investoimalla esivalmistukseen tai panostamalla enemmän esteiden poistamiseen. Suunnittelulla pyritään parantamaan

prosessin virtaustehokkuutta vähentämällä etsimiseen, tehostamaan valmisteluun ja siirtymisiin käytetty aika. Kuvassa 3 on vertailtu teollisuuden ja rakennusalan tehokkuutta erottelemalla arvo, tuki ja hukka.



Kuva 3. Rakennusalan ja valmistavan teollisuuden vertailu tuottavuudesta (7, s. 140).

Lean-mallin hyöty, tuki ja hukka -menetelmän tuloksella voidaan kasvattaa tehtävien tuottoimintojen osuutta ja vähentää työsuorituksen arvoa tuottamattoman osuuden, eli hukan osuutta. Panostamalla työmaan logistiikkaan voidaan kasvattaa tuotannon resurssitehokkuutta jopa yli 50 % ja saavuttaa merkittäviä säästöjä rakentamiskustannuksissa sisävalmistusvaiheessa. (8, s. 58–60, 66.)

3.3 Tahtiaikataulu

Tahtituotanto ja tahtiaikataulu on yksi osa Toyota Production Systemin (TPS) ja Lean-mallin tuotannon kehityksen sovelluksista. Tahtituotanto eli *Taktzeit* tai *Takt Time* on alun perin Saksassa 1930-luvulla kehitetty tuotantomalli lentokonetuotantoon (9, s. 54–55).

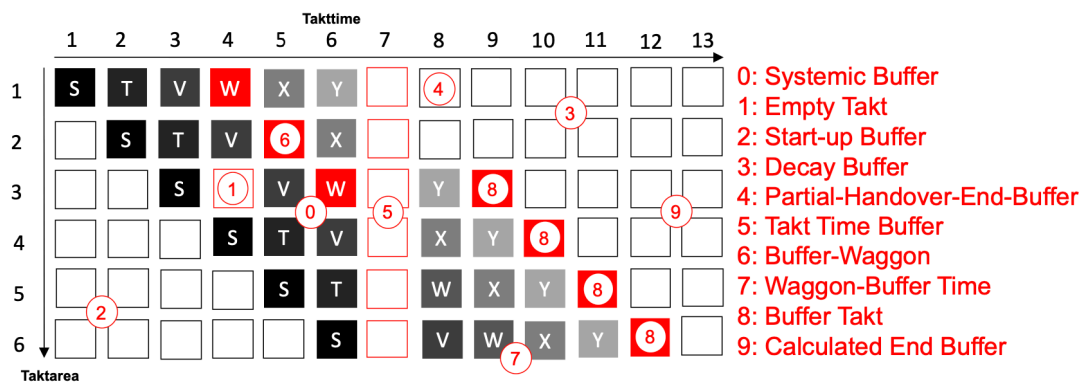
Tahtituotantoa on sittemmin jalostettu käytettäväksi useilla eri teollisen tuotannon aloilla. Muun muassa telakka- ja laivateollisuudessa tahtituotannolla on saatu merkittäviä hyötyjä resurssitehokkuudessa sekä tuotantomäärissä. Rakennusalaalla tahtituotannon kehitystä on ajanut autoteollisuuden ja sittemmin laivateollisuuden tuotantoa kehittänyt Porsche Consulting. (10, s. 551–554.)

Tahtituotanto pyrkii tuottamaan jalostettavan tuotteen lyhyemmässä ajassa ilman resursien lisäämistä optimoimalla ja vähentämällä aikataulun puskureita (11, s. 429–432). Aikataulun tahti on aika, jonka yksi työryhmä käyttää virtausyksikköä kohden eräkoon ollessa yksi. Rakennusalaalla yhden tahdin pituus voidaan suunnitella esimerkiksi yhden työvuoron mittaiseksi. Muilla teollisen tuotannon aloilla tahdin pituus voi olla esimerkiksi 40 minuuttia. (12, s. 300, 306.)

Kuvassa 4 on esimerkki tahtiaikataulun esitysmuodosta. Taulukon vasemmassa reunassa pystyakselilla kohde on ositeltu kerroksiin sekä tiloihin ja kohtisuoraan vaakatasossa ylhäällä ajankohta päivätarkkuudella. Jokainen tila on tällöin oma vaakasolu, jonka hetkittäistä työvaihetta voidaan seurata tarkasti ja riippuvuudet sekä työjärjestys on helposti luettavissa. Kuvan aikataulu on alustava tahtiaikataulu Lyyra-keskuksen tuotantoon. Aikataulu laadittiin purkutyövaiheessa alustavilla suunnitelmilla ilman talotekniikka-suunnitelmia. Ratkaisut ja tehtäväsuunnittelu tehtiin päätoteuttajan suunnittelunohjauksen perusteella. Kohteen tahtiaikataulun on tarkoitus palvella runko- ja sisävalmistusvaiheessa rakentamisvaihe aikatauluna. Kuvassa 4 näkyvä osuus on hotellihuoneiden sisävalmistusvaiheesta. Aikataulun esitystavassa vasemmalla pystysarakkeella tilat järjestetään toteutusjärjestykseen, jotta vaunujen riippuvuudet ja aikataulun visuaalisuus olisivat selkeitä ja helposti tulkittavia.

Tehtävien kestot pyritään vakioimaan eli tahdistamaan resursoimalla työvaiheet. Tehtävän kesto, eli yksittäisen vaunun sisältämä tehollinen aika käsittää vain työsuoritukseen suunnitellun ajan. Materiaalitoimitukset ja muut tehtävään tarvittavat tukitoiminnot tulee suunnitella erikseen. Joidenkin tehtävien ollessa laajempia voidaan varata niille useampi vaunu aikataulusta. Tehtäville, joiden suorittaminen vaatii suuremman alueen kuin ositeltu lohko, voidaan työvaiheen eräkoko kasvaa. Sisävalmistusvaiheessa haasteena ovat työsaumat ja usean lohkon tilaa vaativat tai pitkäkestoiset työvaiheet kuten mattoasennukset ja sähkökaapeloinnit, joille saatetaan joutua varaamaan useampi tahtialue.

Tahtituotannon virtaustehokkuus syntyy työvaiheiden vakionnista, mutta myös tarkemman tehtäväsuunnittelun ja osittelun myötä näkymättömien puskureiden poistumisella. Puskureita on kuitenkin suunniteltava häiriöiden ja suunnitelmamuutosten vuoksi. Tahtituotannon puskureita voidaan suunnitella usealla eri tavalla. Kuvassa 5 on esimerkkejä erityyppisistä puskureista tahtiaikataulussa.



Kuva 5. Tahtiaikataulun puskurityypit (11, s. 430).

Tyypillisimpiä tahtituotannossa käytettäviä puskureita ovat kuvan 5 kohdat 6: *Buffer-Waggon* eli puskurivaunu, jossa vaunujen väliin jätetään tyhjä tahti esimerkiksi kuivumiselle tai mahdollisesti tarvittavalle kiinniottoajalle sekä kohta 5: *Takt Time Buffer* eli tahtiaikapuskuri, joka voi olla esimerkiksi arkipyhäpäivä. Yllä olevassa kuvassa myös junia edeltävä aika sekä työvaiheiden jälkeinen aika mielletään puskuriksi, mutta lähtökohtaisesti näitä ei käytetä suoritusaikoina, jotta tahtituotannon tuoma hallittavuus säilyy. (11, s.

429–431.) Tahtituotannon hallittavuuden perustana on pyrkiä pitämään eräkoot pieninä, jotta kokonaisuuden hallinta helpottuu.

Ottamalla aikataulumalli ja työmaan tuotannonohjausmalli esille hankinta- ja neuvotteluvaiheessa voidaan luoda edellytykset, että urakoitsijat sitoutuvat tuotantomalliin ja hyödyntävät tahtituotannon luomat edut.

3.4 Last Planner

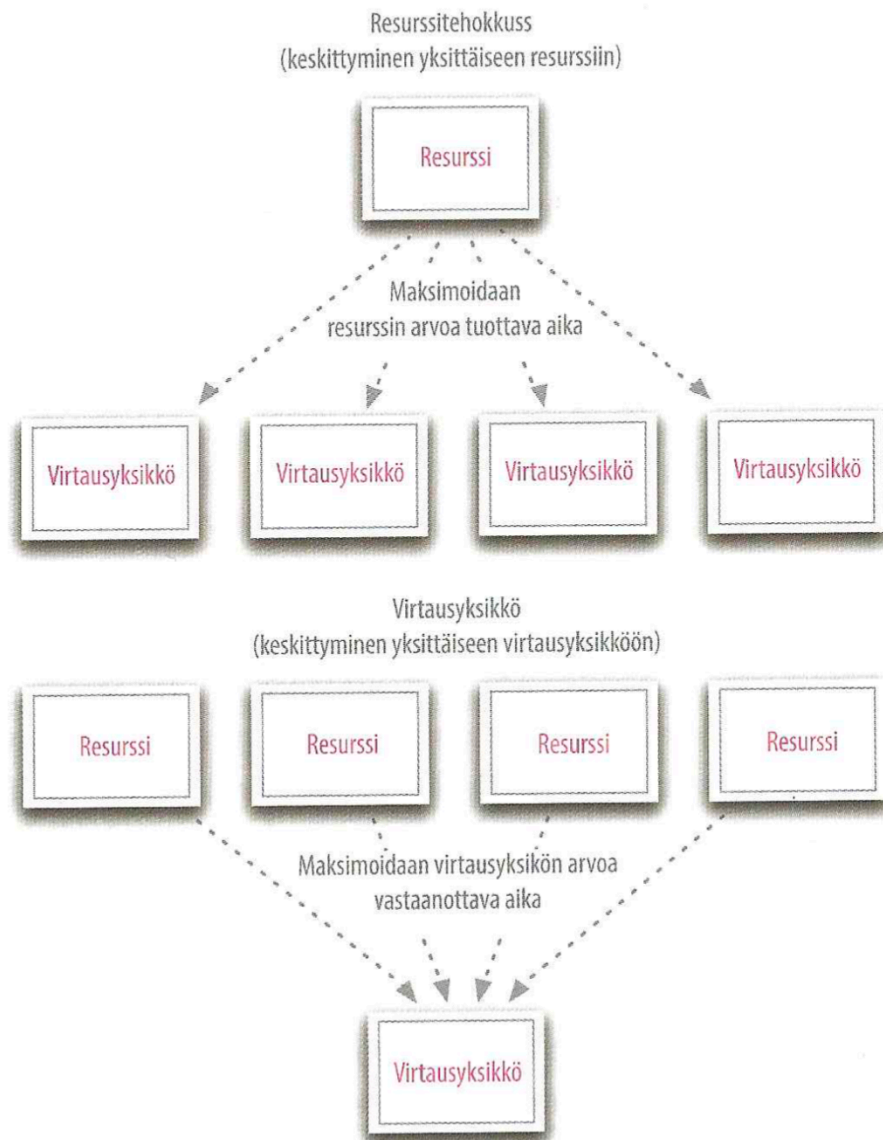
Last Planner on lyhyen aikavälin johtamiseen ja suunnitteluun käytettävä tuotannonohjausmenetelmä. Last Planner -menetelmän on tarkoitus tukea työmaan yleisaikataulua ja toimia päivittäisjohtamisen työkaluna. Menetelmä pyrkii luomaan edellytykset suunniteltavan ajanjakson työsuorituksille poistamalla esteet, eli näitä edeltävät työvaiheet sekä varmistamalla olosuhteet suorituksille. Suunniteltava aikajakso voi olla esimerkiksi yhdestä viikosta kolmeen viikkoon, tai vaihtoehtoisesti voidaan kartoittaa tiettyä tuotannon vaihetta varten tehtävät edeltävät työvaiheet ja edellytykset. Last Planner -menetelmää voidaan verrata lyhytaikaisempaan kriittisen polun suunnitteluun. Last Planner -suunnittelu keskittyy tuotannon osan edellytyksiin sen sijaan, että suunnitellaan yksittäisiä työsuoritteita tai urakoita erillään. Suunnitelmaa lähdetään monesti rakentamaan virstapylväiden eli tavoitteen kautta käänteisessä aikajärjestyksessä. Tällä tavoin menetelmä pyrkii tavoittamaan kaikki tehtävän suorittamiseen vaikuttavat riippuvuudet ja edeltävät työvaiheet. (13, s. 6–8.)

Yhteinen, projektin edun mukainen hyöty syntyy myös yksittäiselle työntekijälle selkeästä toimintamallista ja edeltävien työsuoritteiden valmiudesta oikea-aikaisesti. Tällä tavoin jokaisen yksittäisen työntekijän suoritus kehittyy, kun arvoa tuottamattoman ajan osuutta saadaan pienennettyä, jolloin resurssitehokkuus kasvaa. Yhteistyö ja jokaisen osapuolen panoksen asettaminen sekä vaikuttamisen mahdollisuus tuotantoon myös sitouttaa osapuolet yhteistyön kehittämiseen (13, s. 9).

4 Virtaus- ja resurssitehokkuus

Tutkimukset osoittavat rakennusalan resurssitehokkuuden kärsivän puutteellisesta ja tehtäväsuunnittelusta ja työn keskeytyksistä. Alan kehitystä verrattaessa muiden alojen, kuten teollisuustuotannon kehitykseen viimeisen vuosikymmenten aikana on rakennusalan resurssitehokkuus säilynyt pitkälti samana, kun taas teollisuuden alojen kehitys on ollut moninkertaista. (14.)

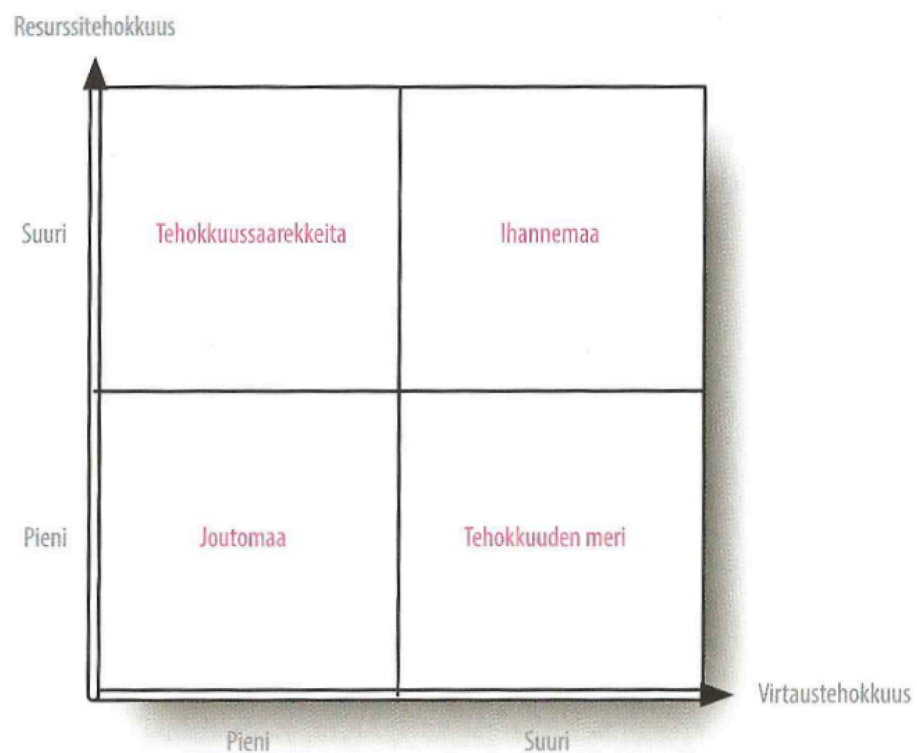
Lean-mallin tuotannon suunnittelussa pyritään resurssitehokkuuden merkityksen lisäksi korostamaan tuotannon virtaustehokkuutta. Virtaustehokkuudella tarkoitetaan jalostettavan tuotteen kehitystä prosessissa, kun taas resurssitehokkuutta yksinkertaisimmillaan mitataan resurssin käyttöasteella suhteessa investointiin. (6, s. 7–16.) Kuvassa 6 havainnollistetaan käsitystä, jossa prosessitehokkuus mitataan tuotteesta, jota nimitetään virtausyksiköksi.



Kuva 6. Havainnollistava kuva resurssi- ja virtaustehokkuuden erosta (6, s. 21).

Teollisen tuotannon suunnitteluun syntyneitä toimintamallia ei kuitenkaan voida sellaisenaan soveltaa rakennusalalla, jonka vuoksi resurssitehokkuuden kehittymättömyyttä ei voi jättää huomioimatta. Rakennusalalla työntekijän resurssitehokkuuteen voivat vaikuttaa materiaalitoimitusten täsmällisyys, työkokemuksen tuoma nopeus tai malliasennus. Virtaustehokkuutta tilanteessa voivat taas heikentää asiat kuten suunnitelmien

muutokset, epäedulliset työsuorituspisteiden sijainnit tai vajaa valmiusaste tilassa, jossa työsuoritusta tehdään. Jokaista edellä mainittua asiaa voidaan kehittää suunnittelulla ja tukitoiminnoilla. Resurssitehokkuuteen keskittyminen lähtökohtaisesti pidentää seurattavan yksikön läpimenoaika ja altistaa yksikön vahingoille, joihin taas vaaditaan lisää resursseja, jolloin prosessista tulee tehoton (6, s. 48–50). Resurssitehokkuutta kehittämällä sekä virtaustehokkuutta parantamalla tavoitetaan kustannustehokkain, mutta samalla hallittu ja tehokas prosessi tuotantoon. Kuvassa 7 esitetään resurssitehokkuuden ja virtaustehokkuuden visuaalinen kaavio, jossa osoitetaan molempien tehokkuuksien olevan yhtä lailla merkittäviä tehokkaan prosessin saavuttamiseksi.



Kuva 7. Kaavio resurssitehokkuuden ja virtaustehokkuuden yhdistelmästä (6, s. 100).

Rakennustuotannossa usein keskitytään resurssitehokkuuteen. Jokaiselle työntekijälle pyritään luomaan edellytykset ja olosuhteet työn tekemiselle, jolloin työsuoritteiden sijainnilla ohjataan tuotantoa suunnitelman mukaisesti. Resurssitehokkuuteen keskittyminen on toisaalta luonnollinen lähestymistapa, kun tyhjäkäynnillä oleva resurssi tuottaa jatkuvia kustannuksia. Tuotantoa kehittäessä tulisikin pitää sama ajatusmalli resurssitehokkuudesta, mutta pyrkiä mittaamaan tehokkuutta virtausyksiköstä, eli tuotteen jalostamisesta. Keskeneneräisten tilojen määrää tulisi supistaa, jolloin tuotannon hallittavuus paranee. Samalla keskeneneräisten virtausyksiköiden etenemistä tulisi suunnitella ja valvoa kriittisemmin. Samoin tavoin tyhjäkäynnillä oleva virtausyksikkö tuottaa lopulta kustannuksia hankkeelle. Virtaustehokkuutta voidaan kehittää suunnittelemalla ja rajoittamalla aloitettavien tilojen työvaiheiden aloitusta ja tehostamalla tehtävien välistä virtausta.

5 Massat ja menekit

Massojen eli elementtien, tarvikkeiden ja osien määrät ovat ensimmäinen asia, josta resurssitarpeet alkavat tarkentua tuotannon vaiheisiin. Osaluettelo voidaan tuoda suunnitelmakuvista, mallista tai hyödyntää suunnittelijan massalistaa. Hetkittäiset resurssitarpeet lasketaan asennettavasta määrästä suhteessa aikaan. Työvaiheiden keskinäiset riippuvuudet ja kriittinen polku edellyttävät työvaiheiden etenevän suunnittelussa järjestyksessä, jolloin resurssit on optimoitava aikataulun toteutumiseksi. Kerros- tai tilatunnuksin lajiteltuihin massoihin saadaan arvioidut ohjeelliset asennusajat esimerkiksi Ratu-työsaavutuksista (kuva 8) tai työehtosopimuksista.

tuotannosuunnittelussa on monesti tietomallin taso suunnitteluvaiheessa. Yleisaikataulu tai sopimusyleisaikataulu luodessa tietomallin sisältämä informaatio ei välttämättä ole riittävällä tasolla resurssisuunnitteluun talotekniikan osalta. Suunnitteluajatauluun ja hankintojen ajankohtiin vaikuttaa hankkeen urakamuoto, rahoitus ja projektiorganisaatio. Tietomallin hyödynnettävyyttä tuotannonohjauksessa pyritään kehittämään jatkuvasti standardisoimalla tietomallin sisältämää tuotetietoa ja koordinoimalla tietomalliin tasoa. Tilaajan tai päätoteuttajan osoittaman tietomallikoordinaattorin tehtävänä on ohjata eri alojen suunnittelijoita sekä muita tietomallinnukseen osallistuvia osapuolia ylläpitämään tietomallia ajan tasalla ja tarvittavalla tarkkuus- ja tavoitetasolla hankkeen aikana. Tietomallin tarkkuustasoa tarkennetaan suunnitelmien yhteensovittamisen sekä suunnitelmaratkaisujen myötä. (15, s. 13–17.) Riittävällä tasolla toteutettu malli hyödyttää rakennusta sen suunnitteluvaiheesta aina käytönaikaiseen kiinteistöhuoltoon. Suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa etuja saadaan komponenttien yhteensovituksessa sekä rakenteiden ja työvaiheiden suunnittelussa (15, s. 19).

Tietomallista tuotavat massaluettelot tai määrälaskenta nopeuttaa tuotannosuunnittelua aikataulu- ja resurssisuunnittelun osalta. Tietomallinnus tulisi kuitenkin olla riittävällä tasolla, jotta tarkkuus, määrät, tuotteet ja niihin sidotut tilatunnukset olisivat todenmukaisia. (15, s. 19.) Myös kehitteillä olevat hankkeet tietomallien nimikkeistöjen, tietosisällön ja tiedostomuodon vakiointikehityksistä yhteneväistävät tietomallien ja yhdistelmämallin käytäntöjä ja helpottaisivat massalaskentaa. Sisällön vakiointia ohjaa muun muassa vuonna 2020 julkaistu ISO-standardi ISO 23386 ja kehitteillä oleva ISO 23387, jotka pyrkivät edistämään tietosisällön vakioimista eri alustojen välillä ja tällä tavoin yhtenäistämään yhdistelmämallin luettavuutta kansainvälisellä tasolla. (16; 17.)

5.1.2 Yleiset tietomallivaatimukset

Yleiset tietomallivaatimukset 2012 (YTV 2012) on tietomallinnuksen ohjaamiseen ja suunnitteluun tarkoitettu julkaisusarja, jonka tarkoitus on asettaa vaatimustaso tietomallinnukselle. Julkaisusarja on 14-osainen dokumentti, joka sisältää ohjeet eri alojen ja organisaation osapuolten tietomallin sisältöön ja vaatimustasoihin. Vaatimusten on määrä toimia yleisenä vähimmäistasona, josta voidaan poiketa lisävaatimuksilla tapauskohtaisesti. Tietomalliselostus kertoo tietomallin sisällön, sen tarkkuustason ja mahdolliset

poikkeamat yleisistä vaatimuksista sekä tietomallin tarkoituksen. (15, s. 5–6, 9.) Talotekniikan tietomallivaatimukset esitetään julkaisusarjan osassa 4.

Yleiset tietomallivaatimukset 2012 pyrkii lähtökohtaisesti ohjaamaan eri suunnittelualojen tietomallinnuksen johdonmukaiseksi, jotta yhdistelmämallia voidaan käyttää niin tuotannonaikaisessa ohjaamisessa kuin myös määrälaskentaa tehdessä. Mikäli objektit, tilat ja muu mallista saatava informaatio on mallinnettu eri tavalla rakennuksen eri alueilla, hankaloittaa se mallin käyttöä, vähentää sen luettavuutta sekä vaikeuttaa määrälaskentaa. (18, s. 6.)

5.2 Ratu-tiedostot

Ratu-tiedostot tarjoaa muun muassa tuotanto- ja tehtäväsuunnitteluun hyödynnettävää tietoa, jonka tietopankkia ylläpitää Talonrakennusteollisuus Ry ja Rakennussäätiö RTS. Aineistoa ja toteumatietoa on ylläpidetty 50 vuotta, ja niitä päivitetään työmaiden toteumatietojen perusteella. (1, s. 5.)

Menekki voidaan arvioida myös kokemuseräisesti, mikäli voidaan odottaa haastavia ja epätavanomaisia suoritteita tai olosuhteita. Menekkilaskelman arviointiin voidaan hyödyntää myös ohjeellisia keskimääräisiä työsaavutuksia. Kuvassa 9 on Talo 2000 -hankemikkeistöön perustuva tekniikkaosien taulukko, jossa on esitetty rakennustyypeittäin yksikerroksisen rivitalon, kerrostalon sekä toimistorakennuksen laskennalliset saavutukset eli työntekijätunnit bruttoneliötä (brm²) kohti.

RAKENTAMISVAIHEAIKATAULU, tekniikkaosat

Talo 2000 Hankenimikkeistö	Yksikkö	Työryhmä	Työmenekki		Työsaavutus yks/tv T3
			tth/yks	T3	
	RAM+RM				
2 TEKNIikkaOSAT					
21 Putkiosat					
Yksikerroksinen rivitalo					
Ulkopuoliset putkistot ja liittymät	pohja-m ²	1 + 0	0,03		267
Kaivot	pohja-m ²	1 + 0	0,03		267
Pohjaviemärit	pohja-m ²	1 + 0	0,03		267
Lämmönjakohuoneen asennustyöt	brm ²	1 + 0	0,04		200
Jako-, nousu- ja kytkentäjohtot (LVV)	brm ²	1 + 0	0,44		18
Lämmityspatteriasennukset	brm ²	1 + 0	0,05		160
Vesi- ja viemärikalusteet	brm ²	1 + 0	0,09		89
Eristystyöt	brm ²	1 + 0	0,12		67
Kerrostalo					
Ulkopuoliset putkistot ja liittymät	pohja-m ²	1 + 0	0,13		62
Kaivot	pohja-m ²	1 + 0	0,05		160
Pohjaviemärit	pohja-m ²	1 + 0	0,03		267
Lämmönjakohuoneen asennustyöt	brm ²	1 + 0	0,03		267
Jako- ja kytkentäjohtot	brm ²	1 + 0	0,36		22
Nousujohtot	brm ²	1 + 0	0,18		44
Lämmityspatteriasennukset	brm ²	1 + 0	0,05		160
Vesi- ja viemärikalusteet	brm ²	1 + 0	0,09		89
Eristystyöt	brm ²	1 + 0	0,12		67
IV-konehuoneiden putkiasennukset	brm ²	1 + 0	0,03		267

Kuva 9. Laskennalliset työsaavutusarviot työlajeittain (3, s. 102).

Tehtävän tai työvaiheen työmenekki lasketaan määrätietojen ja tehtävämenekkien perusteella. Tehtävämenekillä saadaan laskettua työntekijätunnit tehtävä-, alue- tai urakakohtaisesti. Laskettujen työntekijätuntien perusteella voidaan suunnitella työvaiheen työryhmien koko tai määrä, eli suunnitella tarvittavat resurssit, jotta tuotanto toteutuu suunnitellussa aikataulussa. (3, s. 38.)

5.3 Työehtosopimuksen normituntitaulukko

Työehtosopimuksen normituntitaulukko antaa viitteellisen ohjemäärän eli osan tai asennusmetrin asennus tuntia kohden. Esimerkkinä alkavan työvaiheen suunniteltu aloitusajankohta on viikon kuluttua. Edeltäviä keskeneräisiä työvaiheita olisi kerroksen

ilmanvaihtokanavien asennukset. Suunniteltujen kanavien massa eli määrä on 300 metriä alle 200 mm pyöreää kanavaa, josta 70 metriä on eristetty alle 50 millimetrin vahvuudella. Yhden asentajan työsaavutus voidaan laskea työehtosopimuksen normituntitaulukon (kuva 10) avulla. Normituntitaulukko on työehtosopimuksen ohjeellinen taulukko urakkalaskentaa varten. (19, s. 98, 136.)

IV-URAKAN NORMITUNTITÄULUKKO

Mom. 1. PYÖREÄT KANAVAT JA OSAT

Sarake	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Halkaisija		- 50 mm	50 - mm							
D cm	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH
- 125	0,8	0,7	0,58	0,18	0,48	1,98	0,37	0,28	0,70	0,23
- 200	0,21	0,40	0,63	0,30	0,53	1,98	0,40	0,30	0,75	0,26
250	0,25	0,48	0,75	0,35	0,58	1,98	0,48	0,36	0,90	0,31
315	0,28	0,60	0,93	0,44	0,75	1,98	0,60	0,45	1,13	0,35
400	0,32	0,68	1,06	0,53	0,96	2,84	0,68	0,51	1,28	0,40
500	0,41	0,84	1,34	0,67	1,03	2,84	0,85	0,63	1,58	0,51
630	0,54	1,08	1,69	0,80	1,46	2,84	0,96	0,80	2,00	0,68
800	0,60	1,30	2,04	1,07	1,98	3,97	1,30	0,97	2,43	0,75
1000	1,02	1,60	2,48	1,34	2,65	3,97	1,59	1,18	2,90	1,28
1250	1,34	1,98	2,92	1,79	3,44	3,97	1,87	1,33	3,33	1,68

1. Eristämätön kanava

2. Eristetty kanava ÄE, LE, PE - 50 mm

3. Eristetty kanava ÄE, LE, PE 50 - mm

4. Eristämätön, MY, KY, TY, LKP, TULPPA, EP, ulkoliitin kanavasta < 1 m, SP, YHDEPL

5. Eristetty KY, TY, MY, LKP, TP, EP, JATKO, kylmäkutistepantaliitos

6. Ulospuhallinhajoittaja, Esim. Eyma

7. Äänenvaimennin

8. Eristämätön haara, saapasosa

9. Eristetty haara, saapasosa

10. Suutinkanava

Kuva 10. Talotekniikan työehtosopimuksen IV-urakan normituntitaulukko pyöreille kanaville (19, s. 146).

Taulukko antaa viitteellisen keston, eli normitunnin (NH) asennettavaa yksikköä kohden. Normitunnin ja massan tulo kertoo kokonaistuntimäärän eli työmenekin.

$$\Sigma tth = NH \times m$$

=

$$\Sigma tth = 0,21NH \times 230m + 0,4NH \times 70m$$

Tulokseksi saadaan yhden asentajan työmenekin (tth) kestoksi 76,3 tuntia. Tämä voidaan laskea työvuoroiksi (tv) alla olevalla kaavalla.

$$tv = \frac{tth}{8h}$$

Yhden asentajan työvuoroiksi lasketaan 9,5 päivää eli noin kaksi työviikkoa. Tuloksesta voidaan todeta, että yhden asentajan resurssilla asennettavaa määrää kohden seuraava työvaihe ei pääse alkamaan suunniteltuna ajankohtana. Mikäli resursoidaan käytettäväksi kahta asentajaa alueella, päästään noin viikon työvuoroihin, jolloin asennusten tulisi olla valmiita aikataulun mukaisena ajankohtana.

6 Resurssien suunnittelu rakennushankkeessa

Työmaa-aikaiset resurssit vaihtelevat usein vaiheiden mukaan. Rakennustöiden suorituksia on haastava standardisoida, joka aiheuttaa luonnostaan vaihtelua suorituksiin ja resurssitarpeisiin. Resurssien ennakointi mahdollisimman aikaisessa vaiheessa sitoo projektiorganisaation osapuolia tehokkaampaan suoritukseen ja mahdollistaa reagoinnin mahdollisiin poikkeamiin. Yhtä aikaa resurssisuunnittelulla varmistetaan aikataulun kireys tehtävien mitoituksen perusteella. (1, s. 64.) Talotekniikan resurssisuunnittelu usein edellyttää, että suunnitelmien valmiusasteet on oltava sillä tasolla, että massat voidaan laskea mallista tai hyödyntää suunnittelijoiden massaluetteloja eli osalistaa. Kireä suunnittelu-aikataulu ei aina mahdollista tarkkaa resurssisuunnittelua hankesuunnitteluvaiheessa.

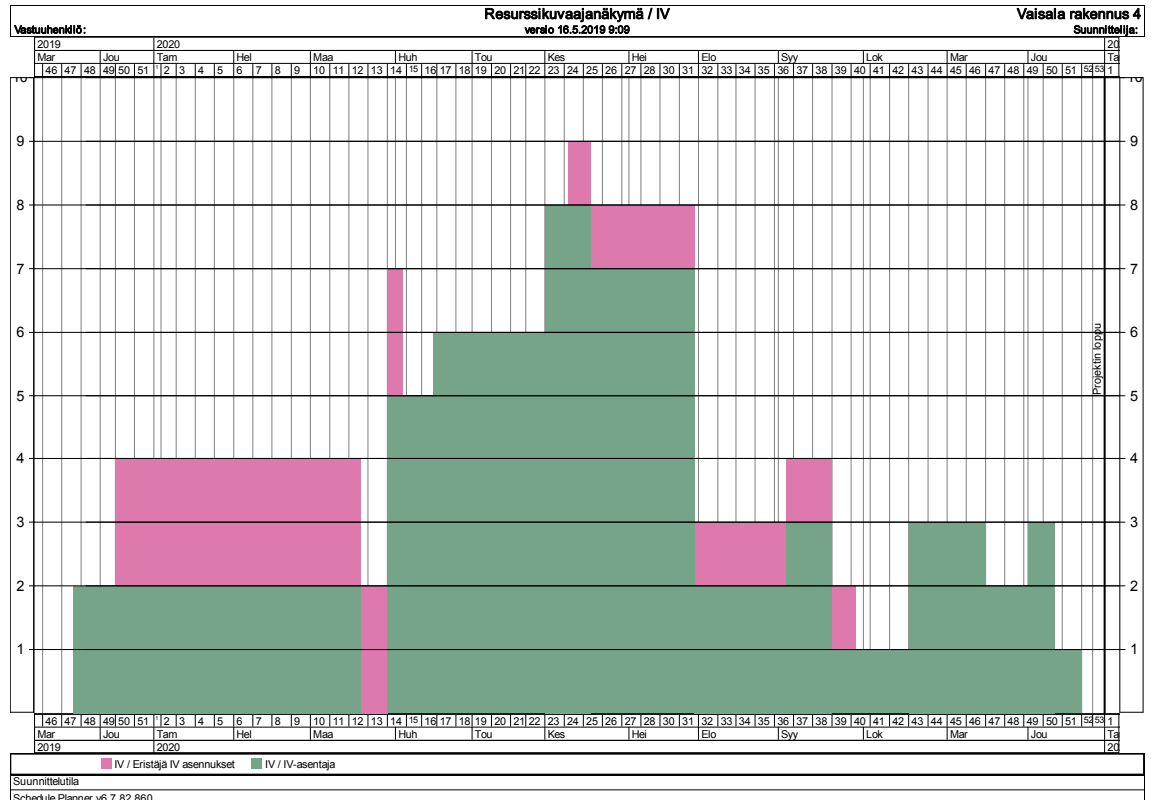
6.1 Urakkakohtainen resurssisuunnittelu

Kuvissa 11, 12 ja 13 olevat suunnitelmat ovat talotekniikkaurakoitsijoiden resurssisuunnitelmia uudisrakennuskohteesta, johon rakennetaan Vaisala Oyj:n toimisto- ja laboratoriotiloja. Kohteen suunnitteluaste rakennushankkeen alkaessa mahdollisesti massojen avulla laskettavan resurssisuunnittelun aikaisessa vaiheessa, joten resurssikuvaajanäkymät voitiin lisätä urakkasopimuksen liitteeksi. Tarkoitus on ennakoida, mutta myös sitouttaa urakoitsijoita hankkeen tuotantoon. Suunnitelma pyrkii edellyttämään talotekniikkaurakoitsijoiden oikea-aikaiset resurssit sekä varmistamaan hyvissä ajoin riittävä työaika jokaiselle urakoitsijalle. (20.)

Kohteessa saatiin käyttöön suunnittelijoiden massalistat sekä kerättiin tietomallista määrätietoja, joista muodostettiin Excel Pivot -taulukko kerroskohtaisella tarkkuudella. Massalistan osille syötettiin työehtosopimuksista ja Ratu-työsaavutuksista ohjeelliset asennusajat, jolloin näistä laskettu kokonaistuntimäärä voitiin suhteuttaa yleisaikataulun kerroskohtaiseen keston ja arvioitua tarvittavat resurssit. Kohteen yleisaikataulu on esitetty liitteessä 1.

6.1.1 Ilmanvaihtourakoitsija

Kohteen ilmanvaihtourakoitsijan asentajat on kuvattu kuvassa 11 vihreällä ja kanavaeristyksiin suunnitellut resurssit vaaleanpunaisella. Urakan aloitus on sovittu alkavan viikon 47 aikana ja työaika urakalle on varattu yhteensä noin 13,5 kuukautta. Urakoitsijan asentajaresurssit kasvavat maaliskuun lopulla ilmanvaihdon runkokanava-asennusten myötä ja edelleen kesäkuussa runkokanava-asennusten lisäksi ilmanvaihdon haarakanava-asennusten alkaessa. Mittauksille ja säädöille sekä virhe- ja puutekorjauksille on resursoitu projektin loppua kohden tarvittava vahvuus.



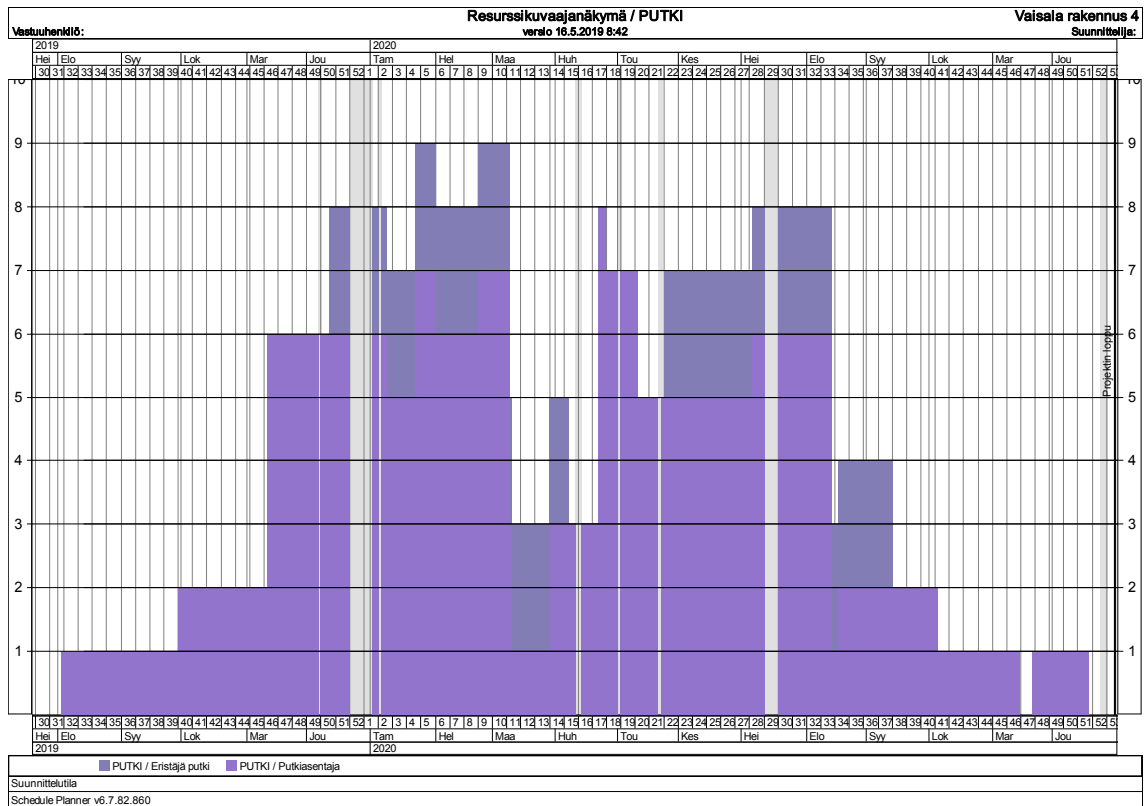
Kuva 11. Ilmanvaihtourakoitsijan resurssikuvaajanäkymä.

Kuvaajan resurssit on suunniteltu melko tasaisiksi. Runko- ja haarakanavien asennusta varten resursseja on nostettava alun kahdesta asentajasta kahdeksaan asentajaan kesäkuun aikana. Kuvaajan mukaisesti suurin vahvuus on kuitenkin urakan puolivälissä, mikä helpottaa urakan viimeistelyä sekä luo puskuria mahdollisten häiriöiden varalle.

6.1.2 Putkiurakoitsija

Putkiurakoitsijan resurssit on jaettu suunnitelmissa putkiasentajiin sekä putkieristäjiin. Tekniikkakuiluihin asennettavien runkolinjojen asennus suunniteltiin käynnistettäväksi marraskuussa 2019, mikä näkyy kuvan 12 resurssikuvaajassa lisämiehityksenä viikon 46 kohdalla. Lämmitysverkosto suunniteltiin otettavaksi työmaa-aikaiseen käyttöön huhtikuussa 2020, jota ennen runkolinjojen ja lämmitysverkoston on oltava

toimintakunnossa. Ennen käyttöönottoa on varattu aikataulusta puskuria mahdollisia häiriöitä varten sekä muiden rinnakkaisten työvaiheiden tahdistuksen vuoksi.



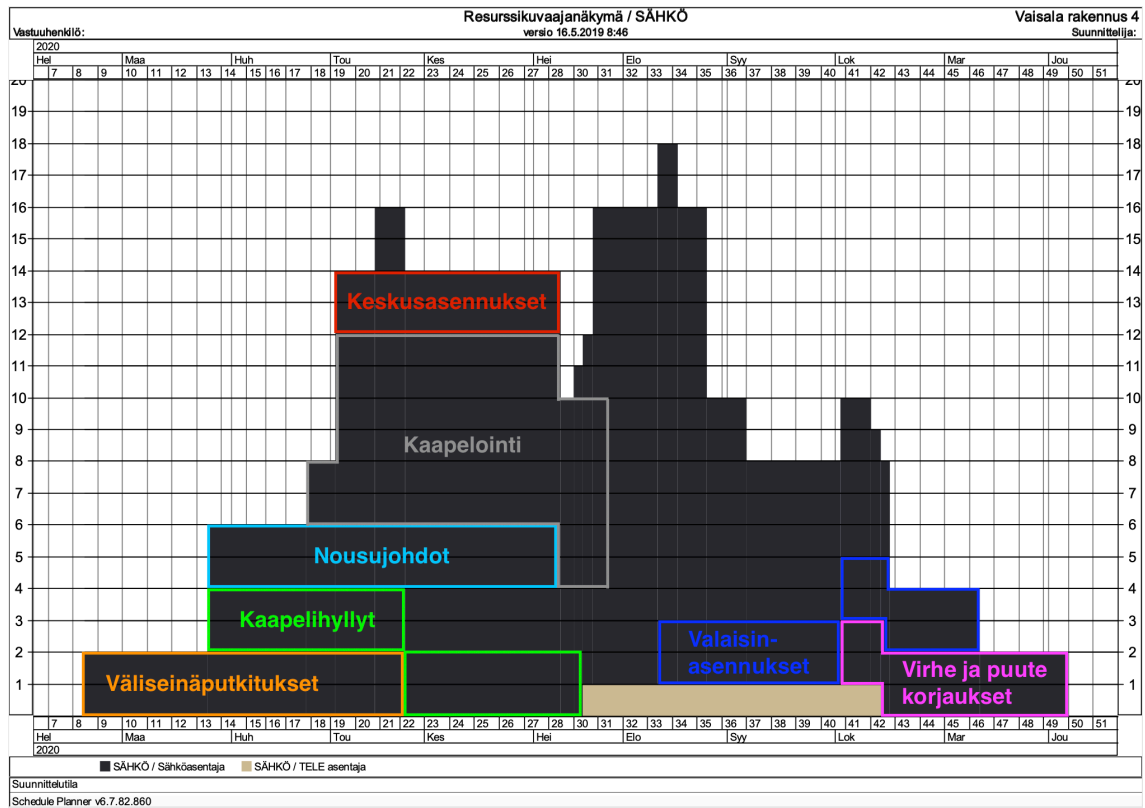
Kuva 12. Putkiurakoitsijan resurssikuvaajanäkymä.

Putkiurakan resurssikuvaajassa on merkittävästi enemmän vaihtelua kuin edellä olevassa ilmanvaihtourakan kuvaajassa. Tämä johtuu osin huomattavasti pidemmästä urakka-ajasta putkiurakoitsijan aloittaessa jo runkoviemäriasennuksilla elokuussa.

6.1.3 Sähköurakoitsija

Sähköurakoitsijan resurssikaavioon (kuva 13) on rajattu muutamia alkavia ja viimeisiä työvaiheita kuten nousujohtojen asennus sekä virhe- ja puutekorjauksille varattu aika urakan loppuvaiheilta. Urakoitsijan suunnitellut resurssit vaihtelevat kulloinkin käynnissä

olevien työvaiheiden mukaan. Resurssikaavion suurimmat piikit ovat kerroskaapeloinnin ja valaisin ja rasiakojeiden asennuksen aikana.



Kuva 13. Sähköurakoitsijan resurssikuvaajanäkymä.

6.1.4 Rakennusautomaatiourakoitsija

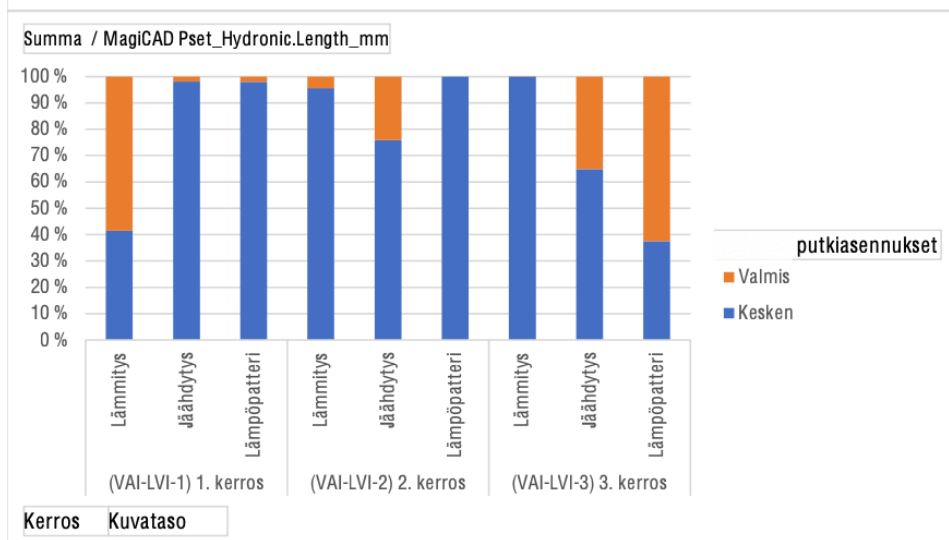
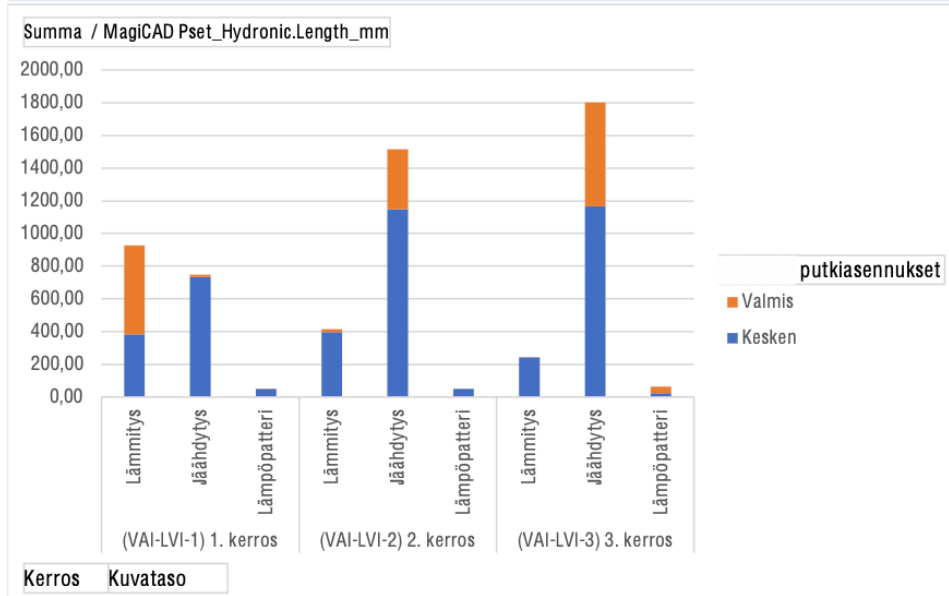
Rakennusautomaatiourakoitsijan työmaalla tapahtuva urakkasuoritus tapahtuu useimmiten rakentamisajan loppuvaiheilla, riippuen hieman urakan luonteesta ja sisällöstä. Monesti automaatioon liittyvä kaapelointi on sisällytetty sähköurakoitsijan urakkaan, jolloin rakennusautomaatiourakoitsijalle jää tehtäväksi automaatiolaitteiden asennus ja kaapelointien kytkentä. Rakennusautomaation työvaihe on yksi viimeisimpiä rakentamisvaiheissa, ja näin ollen on myös varmistettava, että riippuvaisuudet ja edeltävät työvaiheet pysyvät aikataulussa, jotta rakennusautomaatiourakoitsijalle jää riittävä aika työvaiheelle. Erillistä resurssisuunnitelmaa rakennusautomaatiourakkaan ei ole luotu, sillä varsinainen työmaalla tapahtuva työsuorite on vähäinen suhteessa muihin

talotekniikkaurakoitsijoihin. Aikataulussa on kuitenkin huomioitava rakennusautomaation asennuksille ja toimintakokeille riittävä aika.

6.2 Toteuman seuranta

Kuten aikataulua seurataan jatkuvasti ja tuotantoa ohjataan toteuman perusteella, myös resursseja ja saavutuksia tulisi seurata tuotannon aikana, jotta ennustettavuus säilyy. Resurssitoteumia voidaan verratta suunnitelmiin esimerkiksi kulunvalvontatapahtumien perusteella. Lähtökohtaisesti oleellisempi tieto on kuitenkin varsinaisen tuotannon sujuvuus ja työsaavutukset, joita seurataan työvaiheiden etenemisen perusteella. Kuvassa 14 on esitetty seuranta putkiasennusten työsaavutuksista kerroskohtaisella tarkkuudella. Seurannasta saadaan tarkka käsitys keskeneräisistä työmääristä ja sitä seuraamalla voidaan ennakoida mahdolliset aikataululliset riskit sekä tarvittaessa korjata resurssitarpeita. Resurssitietojen kerääminen ja työsaavutusten kirjaaminen on arvokasta tietoa, jota voidaan hyödyntää tulevien hankkeiden tuotannosuunnittelussa.

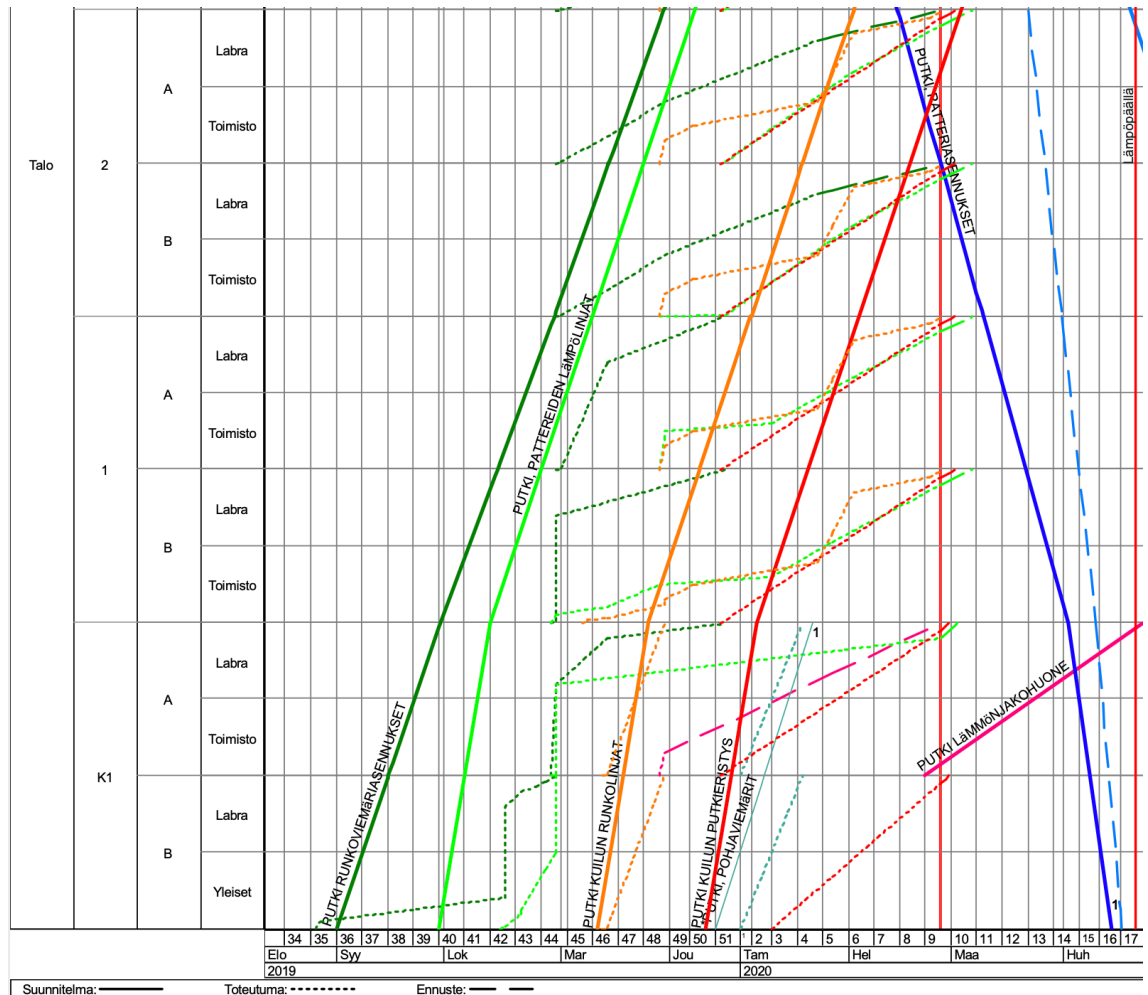
Summa / MagiCAD Pset_Hydronic.Length_mm	Sarakeotsikot		
Riviotsikot	Kesken	Valmis	Kaikki yhteensä
(VAI-LVI-1) 1. kerros	1166,80	557,84	1724,64
Lämmitys	383,74	542,62	926,36
Jäähdytys	733,06	14,22	747,28
Lämpöpatteri	50,00	1,00	51,00
(VAI-LVI-2) 2. kerros	1597,02	384,24	1981,26
Lämmitys	397,00	18,39	415,39
Jäähdytys	1150,02	365,85	1515,87
Lämpöpatteri	50,00		50,00
(VAI-LVI-3) 3. kerros	1434,17	673,00	2107,17
Lämmitys	242,24	0,13	242,37
Jäähdytys	1167,93	632,87	1800,80
Lämpöpatteri	24,00	40,00	64,00
Kaikki yhteensä	4197,98	1615,08	5813,06



Kuva 14. Pylväsdiagrammi putkiasennusten työsaavutusseurannasta.

Resurssikuvaajat olivat liitteenä tarjouskyselyvaiheessa, jotta tarvittavat resurssit urakkaan olisivat selvillä jo tarjousta laadittaessa ja urakoitsija voi myös varmistaa käytettävissä olevien resurssien riittävyyden tarjottavaan urakkaan. Työaikaisen seurannan avulla voidaan päivittää resurssisuunnitelmaa asennettujen määrien ja toteutuneiden resurssien avulla. Kohteen massat ositeltiin kerroskohtaisella jaolla ja toteutuneet määrät kirjataan aikatauluohjelmaan. Mikäli työn aloitus viivästyy tai työ etenee vajailla resursseilla, voidaan ohjelman avulla helposti laskea tarpeelliset toimenpiteet kiinniottoa varten ja käydä tilannetta läpi esimerkiksi viikoittaispalavereissa yhdessä urakoitsijan kanssa.

Työsaavutusten seuranta on informaatio, jota verrataan esimerkiksi TATE-aikatauluun, jotta voidaan varmistaa tuotannon eteneminen halutussa tahdissa. Kuvassa 15 on esimerkki Vico Schedule Planner -aikatauluohjelmaan syötettyjen saavutusten näkymästä, jolloin ohjelma näyttää saavutukset suhteessa suunnitelmaan sekä ennusteen toteuman tehokkuudella. Ominaisuus on hyvä visuaalinen tapa seurata saavutuksia ja ennustaa mahdolliset yhteentörmäykset ja aikatauluviiveet.



Kuva 15. Toteuman ja ennusteen vertaus suunnitelmaan Vico Schedule Planner -ohjelmalla.

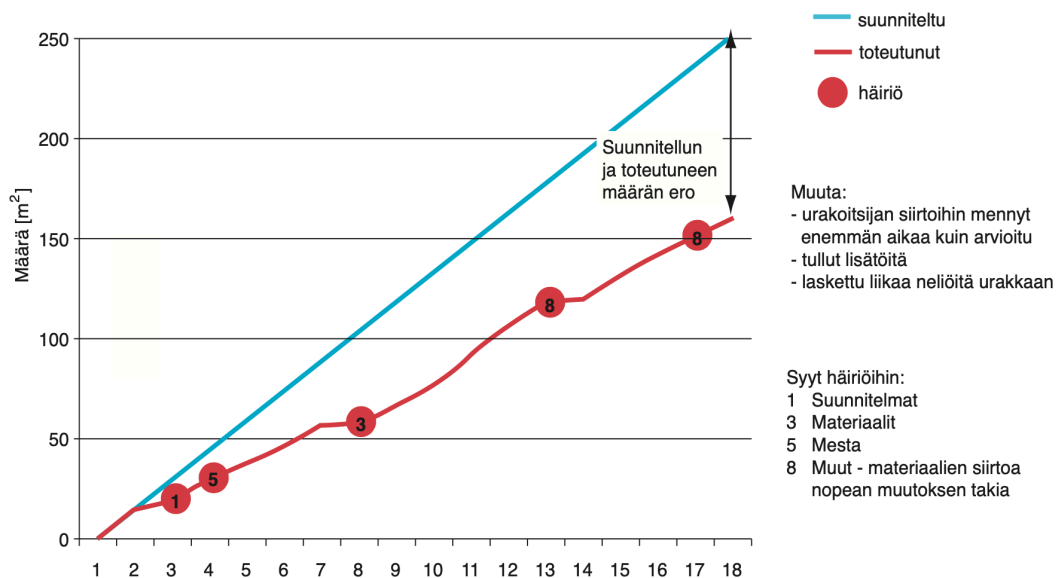
Kuvan 15 aikataulussa viikolla 17 on suunniteltu punaisella pystyviivalla merkitty ajankohta rakennuksen lämpöverkoston käyttöönotolle, joka edellyttää verkoston valmiutta. Mikäli käyttöönottoa edellyttävien työvaiheiden katkoviivalla esitetty ennuste ylittää suunnitellun käyttöönoton ajankohdan, voidaan todeta, että lämpöverkoston käyttöönotto viivästyy, mikäli työvaiheet jatkuvat nykyisellä tehokkuudella.

Kohteen talotekniikkaurakoitsijoiden resurssikaaviot sitouttavat urakoitsijat neuvotteluvaiheessa tuotantoon sekä auttavat urakoitsijoita hahmottamaan pidempiaikaiset resurssitarpeet. Suunnittelulla voidaan ehkäistä hankkeen loppuajan ryntäily ja niistä koituvat ylimääräiset kustannukset projektin osapuolille. Saavutusten aktiivinen päivittäminen

sekä tehokkuuden seuranta mahdollistaa ajantasaisen tiedon käytettäväksi tuotannon-ohjauksessa. Ennusteen vertailulla voidaan ennakoida tuotannollisia sekä ajallisia riskejä ennen niiden toteutumista.

6.2.1 Tuotantokaavio

Tuotantokaavio näyttää tarkasteltavan aikavälin ja määrätiedon perusteella hetkittäistä tuotantonopeutta ja mahdollistaa reagoinnin, mikäli se poikkeaa suunnitellusta. Työn etenemistä voidaan arvioida valmiusasteprosentteina esimerkiksi ositeltujen lohkojen tarkkuudella tai kerroskohtaisesti. Valmiusasteprosentti arvioidaan tehtävään suunnitellulla työmäärällä suhteessa toteumaan. Valmiusastetta ja suunniteltua kokonaistyömäärää kuvataan tuotantokaaviossa, jolla voidaan ennustaa nykyisen tehokkuuden tuottama tulos. Kuvassa 16 on esitetty malli, jossa työsaavutuksia verrataan toteutunutta saavutusta suunniteltuun määrätietoon. Kaavio antaa selkeän kuvan tuotantonopeudesta, jonka perusteella voidaan arvioida työn todellinen kesto nykyisillä tehokkuuksilla. (1, s. 27.)



Kuva 16. Esimerkkikaavio työsaavutustoteuman seurannasta (1, s. 27).

Seuraamalla toteumaa voidaan tarvittavia korjauksia tehdä riittävän aikaisessa vaiheessa, jottei se aiheuta suurempia häiriöitä tuotannon edetessä.

6.2.2 Valvontavinjetti

Valvontavinjetillä seurataan työvaiheiden etenemistä aloitus- ja valmistumistarkkuudella. Vinjetti voidaan esittää esimerkiksi laaditun tehtäväkohtaisen viikkoaikataulun perusteella tai pohjakuvalla, johon merkitään työvaiheet aloitetuksi ja valmistuneeksi. Valvontavinjetti toimii lyhyen aikavälin toteuman seurantaan sekä yksittäisten urakoiden valvontaan. (1, s. 30.)

Mikäli tuotantokaavion avulla tai valvontavinjetillä havaitaan poikkeamia tuotantonopeudessa, voidaan tarkastella syitä, jotka vaikuttavat työsaavutuksiin. Syynä voi olla esimerkiksi kärsinyt resurssitehokkuus, jonka voi aiheuttaa hankintojen ja materiaalitoimitusten epäonnistuminen, työmaan logistiikka, suunnitelmapuutteet tai edellisten työvaiheiden keskeneräisyys.

7 Laadun varmistus

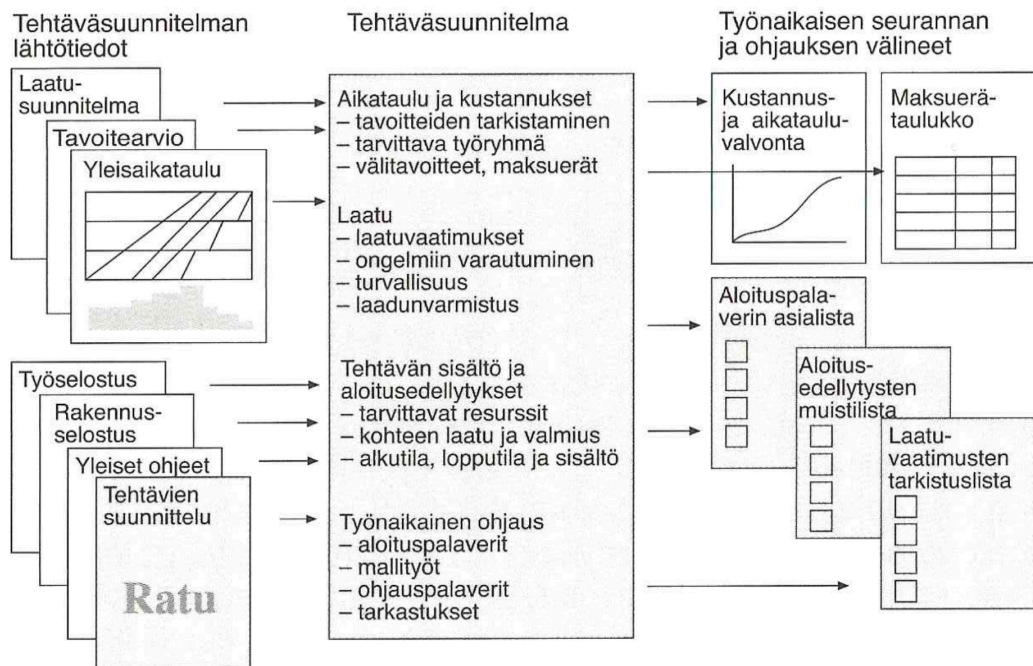
Laadun tavoittaminen käsittää muutakin kuin materiaalien mittatarkkuutta ja lopullisen pinnan ulkonäköä. Tuotannollisen laadun tavoittaminen edellyttää tuotteelle asetettujen standardien, viranomais määräysten ja lakien noudattamista, sovittujen laatutasojen täyttymistä, mutta myös kustannushallintaa, aikataulun ja turvallisuuden tavoittamista sekä mahdollisia arvoperusteisia, kuten ympäristöarvojen noudattamista tai materiaalihukan määrän hallintaa (21, s. 538–539). Työkaluina laadun seuraamiselle ja tavoittamiselle ovat muun muassa tehtäväsuunnittelu, malliasennukset, itselleluovutukset, toimintakokeet ja käyttöönottotarkastukset. Laatu, jota rakennuskohteessa tavoitellaan, koostuu yleisimmin lakien, asetusten ja standardien noudattamisesta, ajallisten tavoitteiden täyttymisestä sekä tilaajan tai käyttäjän tarpeiden huomioimisesta. Asiakkaan asettamia laadullisia tavoitteita voivat olla esimerkiksi standardien asettamien laadullisten tasojen ylittäminen, taloteknisten laitteiden käytettävyyden ja toiminta tai rakennukselle tai rakentamiselle asetettujen päästötavoitteiden alittaminen. Asiakkaan kokemat laatuvaikutelmat voivat olla asiakkaan tarpeista lähtöisin olevia oletettuja tai sovittuja toimintoja.

Vaihtoehtoisesti asiakkaan kokemaan laatuvaikutelmaan voivat vaikuttaa kokemusperäiset asiat, kuten odotukset ylittävä asiakaspalvelukokemus tai brändin tuoma lisäarvo.

7.1 Tehtäväsuunnittelu

Tehtäväsuunnittelu sekä malliasennukset pyrkivät ennaltaehkäisemään rakennusteknisiä virheitä, kustannusten kestämätöntä kasvamista ja aikataulullisia tappioita (3, s. 37). Molemmat menetelmät pyrkivät standardisoimaan suorituksia tai työvaiheita tuotannon sisällä, jolloin tavoitteet ja tulokset ovat selviä organisaation osapuolille.

Tehtäväsuunnittelun tarkoitus on tukea yksittäisten työvaiheiden tavoitteiden saavuttamista laadun tason kannalta. Sillä pyritään ennaltaehkäisemään suunnitelma-, materiaali-, olosuhde- tai resurssipuutteita ja varmistamaan työsuorituksen valmistumisen suunnitelmien mukaisella laatutasolla työturvallisella suorituksella (kuva 17). Tehtäväsuunnitelmia voidaan laatia yksittäisille urakoille esimerkiksi aloituspalaverissa tai jopa yksittäisille työsuorituksille tuotannon sisällä. Mikäli tuotantovaiheessa on tunnistettu riskejä, puutteita tai aikaisemmat kokemukset osoittavat työvaiheen epävarmaksi, voidaan tehtäväsuunnittelulla pyrkiä näitä ennakoimaan. (3, s. 36.) Tehtäväsuunnitelma on suositeltavaa tehdä työvaiheille, joissa tunnistetaan aikataulullisia riskejä, työvaihe on kustannuksiltaan merkittävä, työturvallisesti haastava tai epäselvä tai tuotteelle on asetettu erityisen korkeat laatuvaatimukset. (21, s. 538.)



Kuva 17. Tehtäväsuunnittelun vaiheet ja rakenne (3, s. 36).

7.2 Malliasennus

Malliasennus tai mallityö on yksittäinen työsuorite tai valmistettava tila, missä pyritään saavuttamaan laadullinen taso, jota voidaan monistaa rakennuksessa tai työsuorituksessa. Malliasennus voidaan tehdä esimerkiksi yksittäisen kylpyhuoneen laatoituksesta, jolla varmistetaan osapuolten käsitys vaaditusta laatutasosta rakennuksen muissa kylpyhuoneissa. Malliasennuksella pyritään myös välttämään asennus- tai suunnitteluvirheiden toisto tuotannon edetessä. Mallityö toimii vertailukohtana hyväksytystä laatutasosta. (3 s. 39.)

Malliasennuksesta voidaan sopia pidettäväksi erillinen katselmus, jossa mallityö käydään läpi ja kirjataan tarvittavat korjaukset tai hyväksytään yhteisesti malli toteutuskelpoiseksi. Mallityön katselmusta voidaan vaatia YSE 1998 65 §:n mukaisesti.

7.3 Itselleluovutus ja viimeistelyohjelma

Rakennuskohteen viimeistelyvaiheen suunnittelulla pyritään varmistamaan hankkeen luovutus sovittuna ajankohtana sovituissa laatutasossa (1, s. 57). Viimeistelyvaiheeseen on varattava riittävä aika virheiden ja puutteiden korjaamiselle sekä toimintakokeille ja käyttöönottotarkastuksille. Viimeistely- ja luovutusvaiheen suunnittelussa on otettava huomioon toimijoiden suoritusten keskinäiset riippuvuudet ja järjestys. (1, s. 58.)

Talotekniikan osuus on merkittävä osa viimeistelyvaiheen aikataulussa ja vaatii huolellista suunnittelua. Säädot ja kojeiden käyttöönottestaukset usein vaativat pölyttömän ja puhtaan ympäristön. Säästöjen ja urakoitsijoiden mittausten ja tarkastuksen jälkeen pöytäkirjat luovutetaan talotekniikkavalvojille. Toimintakokeet voidaan tarkastaa pistokoemaisesti tai yhteistyössä urakoitsijoiden ja suunnittelijoiden kanssa ennen viranomaistarkastuksia. Viimeistelyvaiheella ja toimintakokeilla varmistetaan kohteen luovutus ja käyttöönotto sovittulla laatutasolla ja toiminnalla. (1, s. 58.) Liitteessä 2 on esimerkki talotekniikan vastaanottovaiheen aikataulusta. Vastaanottovaiheen aikataulu kuvaa viimeistelyvaiheaikataulun tavoin kohteen viimeistelytyöt sekä muut tarvittavat toimenpiteet tarkastuksia ja vastaanottoa varten. Aikataulu on opinnäytetyön tilaajayrityksen projektinjohtokohteesta Vantaalla, joka valmistui vuonna 2019.

Urakoitsijoiden itselleluovutukset edellyttävät oman työsuorituksen tarkastusta ja laadunvalvontaa. Itselleluovutus tarkoittaa, että työvaiheen laatutaso, toiminta ja valmiusaste varmistetaan suorituksen tai urakan päättyessä. Itselleluovutukseen urakoitsijoilla on monesti käytössään oman työn läpikäyntiä helpottamiseksi valmiita itselleluovutusmatriiseja, jotka toimivat itselleluovutuksen muistilistana. Suorituksen tai osakokonaisuuden läpikäynti toimii pääasiassa urakoitsijan oman työn valvonnan apuna. Itselleluovutus helpottaa samalla sekä urakoitsijaa, että hankkeen päätoteuttajaa, kun valvonnan vastuuta ositetaan myös tekijälle. Tarkastuksia ei pidä jättää urakan tai kohteen loppuun, vaan tehtävä sitä mukaa kuin tarkastukset ovat mahdollisia pidettäväksi. Itselleluovutusten suorittamista usein edellytetään maksuerätaulukon ehdoissa, jolloin voidaan varmistaa myös urakoitsijan työnjohdon valvonta omaa suoritustaan kohtaan hankkeen aikana. Tällä tavoin hallitaan myös viimeistelyvaiheen kustannuksia ja resurssitarpeita.

8 Yhteenveto ja päätelmät

Talotekniikan aikataulu- ja resurssisuunnitteluun on olemassa useita vakiintuneita käytäntöjä ja osittain haasteena onkin tyytyminen totuttuihin menetelmiin. Tapa arvioida ja suunnitella tuotantoa riippuu paljolti hankemuodosta, suunnitelmien tasosta ja rakentamisvaiheesta. Aikataulu ja aikataulun suunnittelu on yksi merkittävimmistä tekijöistä hankkeen kustannushallinnassa ja lopullisessa budjetissa. Kuten kustannuseurannan edellytyksenä, myös aikatauluseurannan edellytyksenä voidaan pitää ajantasaista ja täsmällistä tietoa tilanteesta, jotta ennustettavuus säilyy. Rakennushankkeen päätoteuttajan velvollisuuksiin kuuluu tuotannon hallinta ja suunnittelu sekä kustannusten, laadun, turvallisuuden ja ajallisen läpiviennin ohjaus. Laadittua suunnitelmaa on valvottava ja varmistettava tuotannon mallin toteutuminen. (1, s. 19.) Kuten aikataulu niin myös päätoteuttajan tuottamat resurssisuunnitelmat ovat lähtökohtaisesti sitovia molemmin puolin. Työmaan tuotannossa tapahtuvat aikatauluviiveet, jotka voivat aiheuta esimerkiksi epäedullisista sääolosuhteista, jonka seurauksena betonin kuivumisaika pitkittyy ja olosuhteita työmaan tuotannolle ei synny suunnitellusti, saattavat vaikuttaa usean osaurakoitsijan aikatauluun ja resurssitehokkuuteen.

Urakkasopimus ja sopimuskoriin lisätyt liitteet ovat sitovia asiakirjoja. Tuotannon aikaisen suunnittelun tueksi onkin hyvä ottaa yhteistyötä kehittäviä sovelluksia kuten Last Planner, joka edesauttaa osapuolten sitoutumista ja informaation kulkua. Last Planner -menetelmä ja Lean-johtamisfilosofia sisältävät keskeisenä teemana yhteistyön merkityksen, koko projektiorganisaation sitoutumisen sekä avoimen ja kunnioittavan ilmapiirin. Osapuolten avoin keskinäinen keskustelu edesauttaa kommunikaatiota ja näin ollen vähentää tuotannossa esiintyviä häiriöitä. Tavoitteena on yhteisesti kehittää tuotannon sujuvuutta tehtäväsuunnittelun kautta ja luoda jokaiselle parhaat mahdolliset edellytykset työsuorituksen aloittamiselle ja valmistumiselle. (13, s. 3.) Yhdessä suunniteltu viikkosuunnitelma samalla sitouttaa osapuolet omiin suorituksiin, kun ymmärretään oman panoksen vaikutus muiden suoritteisiin ja koko tuotannon kulkuun. Tuotannonohjaussovelluksissa, kuten Last Planner ja tahtiaikataulu, korostetaan visuaalisuutta ja esitystavoista pyritään luomaan selkeälukuinen sekä tuomaan esille tuotannon kriittinen polku. Visuaalinen näkymä tuo esille myös tuotannon imun ja virtauksen työvaiheiden kesken. (13, s. 5–6.) Tuotannon aikaiset tehtäväsuunnittelumenetelmät sekä hankkeen tuotantomalli on syytä esittää sopimusasiakirjoissa sekä tuoda esille neuvotteluvaiheessa.

Ennakoivalla suunnittelulla vältytään monilta yllätyksiltä tuotannon aikana ja rakentamisajanhallinta on selkeää. Projektioorganisaation osapuolet sitoutuvat yhdessä sovittuun aikatauluun ja työmaan ohjaaminen on sekä päätoteuttajalle että osurakoitsijan työnjohtajalle selvää. Resurssisuunnittelu ennen urakan alkua keventää päätoteuttajan kuin myös urakoitsijan työkuormaa urakan aikana. Panostamalla edelleen työmaan suunnitelmallisiin tukitoimintoihin voidaan tehostaa resurssien käyttöä sekä kehittää tuotannollista laatua.

Rakentamisvaiheessa korostuu erilaisten työvaiheseurantatyökalujen sekä valvonnan merkitys. Pienet häiriöt toimituksissa tai poikkeamat laadussa saattavat aiheuttaa merkittäviä aikataulullisia sekä taloudellisia tappioita hankkeen osapuolille. Ennakoiva suunnittelu pyrkii kartoittamaan riskialttiit työvaiheet sekä varmistamaan tuotannon eteneminen ja saavutukset sovittujen kustannusten, laatutason ja aikataulun puitteissa. Etuina aikaisessa vaiheessa tehdystä tarkasta tuotannosuunnittelusta on myös vaikutusmahdollisuus suunnitelmiin, mutta samalla suunnitelmien taso vaikuttaa tuotannosuunnittelun menetelmiin. Yksityiskohtainen ja tarkasti suunnitelluin puskurein laadittu tuotantoaikataulu mahdollistaa tiiviimmän tuotantotahdin ja helpottaa sen hallittavuutta. Pienetkin aikatauluviiveet tai häiriöt toimituksissa voidaan havaita helposti ja niiden aiheuttamat välittömät ja välilliset vaikutukset saadaan arvioitua. Myös viikko- tai jopa päivätarkkuudella suunniteltu resurssikaavio on helposti seurattava ja poikkeamat havaitaan vahvuuden seurannalla. Tehtävien kestojen arvioinnissa ja resurssitarvesuunnittelussa voidaan käyttää myös edellisten kohteiden toteutuneita laskentatietoja. Toteumatiedon kerääminen tulevaisuutta varten resurssien, tehokkuuden ja saavutusten osalta onkin arvokasta informaatiota, jota tulisi kerätä käytettäväksi tulevaisuuden suunnittelussa.

Työvaiheiden teknisten toteutusten sekä ajallisen keston standardisointi vakioi tuotantoa ja helpottaa sen hallittavuutta. Toistettavuuden mahdollisuus rakennustuotannossa riippuu pitkälti kohteesta ja sen luonteesta. Mikäli kohteessa valmistetaan useita samanlaisia tai samankaltaisia tiloja kuten hotellihuoneita tai vuokra-asuntoja, joissa työvaiheet toistuvat eri lohkoilla lähes samanlaisina, on niiden tunnistettavuus ja vakiointi helpompaa. Standardisoimalla työsuoritteet voidaan kehittää työmaan tuotantoa ajallisesti sekä laadullisesti. Myös resurssioptimointi sekä tuotannon tahdistus toistuvuuden kautta tehostaa tuotannon virtaustehokkuutta ja helpottaa valvonnan tehtäviä. Rakentamisvaiheen aikataulu on työkalu, jota tulisi päivittää ja kehittää hankkeen edetessä

toteutuneiden työsuoritusten ja -saavutusten perustella. Jokaiselle työvaiheelle on suunniteltava riittävä aika työsuoritukselle ja päin vastoin, jotta vältytään tilojen imu- ja virtaustehokkuuden heikentymiseltä tyhjäkäynnin myötä.

Tahtituotanto, joka perustuu tuotannon virtaustehokkuuteen sekä toistuvien työvaiheiden tunnistamiseen, vaatii tarkkaa tehtäväsuunnittelua jokaisen vaunun sisällöstä. Tahtiaikataulu mielletään helposti herkemmäksi häiriöille pienempien puskureiden vuoksi, mutta häiriö ja sen vaikutus havaitaan välittömästi. Häiriövaran eli puskureiden ollessa pienemmät on myös kehitettävä logistiikkaa esimerkiksi työmaata palvelevalla logistiikkakeskuksella. Tahtituotanto vaatii tiivistä yhteistyötä koko projektiorganisaatiossa ja tuotantomallia onkin käytetty allianssi hankemuodoissa tuotantotapana (12, s. 303).

Tiivis tuotantotahti vaatii jokaisen vaunun panoksen ja sitoutumisen tuotantotapaan. Työvaiheiden riippuvuudet, ajoitukset ja hetkittäinen tilanne tulisi pitää kaikkien nähtävillä, jotta tuotannon kulkuun vaikuttaviin yksityiskohtiin voidaan reagoida avoimesti. Myös tietoisuus siitä, että jokaisen työntekijän tehokkuus ja työpanos on merkittävä ja vaikuttaa kaikkien ympärillä olevien työntekijöiden työntekoon, lisää resurssitehokkuutta. Työyhteisön luoma kollektiivinen paine voi tällä tavoin tehostaa jokaisen työntekijän tehokkuutta kehittäen samalla koko prosessia. Jokaisen osapuolen sitoutuminen tuotantomalliin vaatii yhteistyötä ja mahdollisesti sopimusteknisiä muutoksia. Uuteen tuotantomalliin sitouttaminen voidaan tehdä esimerkiksi sitomalla maksuerät tuotannon tahteihin ja aikatauluun.

Opinnäytetyössä käsitellyt tuotantomallit eroavat toisistaan pääosin resurssien vaihtelun ja läpivirtauksen osilta. Molemmissa, sekä tahtituotannossa, että perinteisemmän tuotantomallin apuna voidaan suunnitteluvaiheessa hyödyntää Ratu-tiedostot-ohjemenekkejä ja BIM-tietomallin digitaalisen automaation tuomia etuja massaluettelon ja työkuormien laadinnassa.

Kussakin kohteessa käytettävä tuotantomalli riippuu paljolti projektiorganisaatiosta sekä kohteen luonteesta. Tahtituotanto soveltuu lähtökohtaisesti hankkeisiin, joissa työvaiheet toistuvat samankaltaisten tilojen kautta. Perinteisempi tuotantotapa eli tässä työssä esitelty Vaisalan rakennus 4, jonka resurssisuunnitelmaa tarkasteltiin luvussa 6, noudattaa tuotantomenetelmissä lohkomisen tuomia hyötyjä tuotantonopeuteen sekä tarkasti

laadittua resurssikaaviota massaluettelon kautta. Lähtökohtana onnistuneelle tuotannon suunnittelulle ja sen toteutukselle on kuitenkin projektiorganisaation jokaisen osapuolen sitoutuminen tuotantotapaan ja hankkeen aikatauluun. Lähtökohtaisesti Vaisalan resurssikaavion tarkoituksena oli sekä varmistaa osaurakoitsijan resurssien riittävyys hankkeen tuotantoon että sitouttaa urakoitsija jo aikaisessa vaiheessa hankkeen aikatauluun sitomalla resurssit oikea-aikaisesti.

Joseph Schumpeterin esittämän teorian *luova tuho* mukaisesti talous ja tuotanto kehittyvät innovaation seurauksena, jolloin uusi laadukkaampi tuotantomenetelmä tai tuote korvaa käytössä olevan vanhan menetelmän (22). Tietomallinnuksen sekä jatkuvasti kehittyvien ohjelmien myötä voidaan odottaa automatisoitua aikataulusuunnittelua tulevaisuudessa, jossa kokemusperäistä tietoa keräämällä ja BIM-mallia hyödyntämällä tuotetaan rakentamisvaihe aikataulu toteutuneiden saavutusten perusteella. Tuotannon tehokkuutta parantavia sovelluksia ja työkaluja kehitetään jatkuvasti rakennusosalalle, jonka tehokkuuden kehittämättömyyttä kyseenalaistetaan yleisesti. Menetelmät tuotannon suunnittelussa kuin myös itse tuotannossa ovat kuitenkin kiistatta kehittyneet merkittävästi uusien hankemuotojen, esivalmisteiden sekä tietotekniikan kehityksen myötä.

Lähteet

- 1 Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. 2017. Ratu KI-6031. 3., tarkistettu painos. E-kirja. Rakennustieto Oy.
- 2 HAAHTELA-malli rakennusprojektien johtamisessa. Verkkoaineisto. Haahtela. <<https://www.haahtela.fi/fi/projektinjohto/#haahtela-malli>>. Luettu 25.4.2020.
- 3 Aikataulukirja 2016. 2015. Ratu KI-6028. 13., uudistettu painos. Tampere: Rakennustieto Oy.
- 4 Rakennusurakan yleiset sopimusehdot, YSE 1998. RT 16-10660. Rakennustieto Oy.
- 5 Hell, Mikko. 2015. Lean-teorian soveltaminen rakennussaneerauksen aikataulu-suunnittelussa. Opinnäytetyö. Turun Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 6 Modig, Niklas & Åhlström, Pär. 2013. Tätä on Lean. Halmstad: Rheologica Publishing.
- 7 Koskenvesa, Anssi. 2011. Rakennustyön tuottavuus 1975–2010. Rakentajan kalenteri 2011. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy, Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL Ry.
- 8 Fagerlund, Emil. 2019. Logistiikkakeskuksen vaikutus rakennushankkeen kokonaiskustannukseen. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Aalto.doc-tietokanta.
- 9 Hagsheno, Shervin; Binnering, Marco; Dlouhy, Janosch & Sterlike, Simon. 2016. History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control. 24th Annual Conference of the IGLC. Boston, MA. Verkkoaineisto. The International Group for Lean Construction. <<https://pdfs.semanticscholar.org/269e/994517fa6287547efbeb3cc09557eedcd0dd.pdf>> Luettu 2.4.2020.
- 10 Helgi Gardarsson, Matthias; Lædre, Ola & Svalestuen, Fredrik. 2019. Takt Time Planning in Porsche Consulting, the Boldt Company and Veidekke. 27th Annual Conference of the IGLC. Dublin. Verkkoaineisto. The International Group for Lean Construction. <<https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-bf2974b0-14ba-4bbe-8fed-9c34bc206987.pdf>> Luettu 4.4.2020.
- 11 Dlouhy, Janosch; Binnering, Marco & Hagsheno, Shervin. 2019. Buffer Management in Takt Planning – An Overview of Buffers in Takt Systems. 27th Annual Conference of the IGLC. Dublin. Verkkoaineisto. The International Group for Lean Construction. <<https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/iglc-9264d6a7-5e55-4e10-bbb7-fdb460c41313.pdf>> Luettu 4.4.2020.

- 12 Tetik, M; Peltokorpi, A; Seppänen, O; Viitanen, A & Lehtovaara, J. 2019. Combining Takt Production with Industrialized Logistics in Construction. 27th Annual Conference of the IGLC. Dublin. Verkkoaineisto. The International Group for Lean Construction. <<https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/iglc-26f2c130-29be-459d-a331-de58f593bcc9.pdf>> Luettu 4.4.2020.
- 13 Leivo, Hanna. 2018. Työmaahenkilöstön sitouttaminen Last Planner -menetelmään. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 14 Lohilahti, Oona. 2017. Rakennusalalla työn tuottavuus ei ole kasvanut 40 vuodessa – onko allianssista tai leanista apua? Verkkoaineisto. Rakennuslehti. <<https://www.rakennuslehti.fi/2017/09/rakennusalalla-tyon-tuottavuus-ei-ole-kasvanut-40-vuodessa-onko-allianssista-tai-leanista-apua/>>. 4.9.2017. Luettu 15.2.2020.
- 15 Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 1. Yleinen osuus. 2012. RT 10-11066. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 16 Rannisto, Jukka. 2020. Tietomalli- ja aikataulukehitys. Haahtela-rakennuttaminen Oy. Helsinki. Haastattelu 15.4.2020.
- 17 Daskalova, Mariela. 2020. A major step forward for BIM Standardisation – EN ISO 23386 published. Verkkoaineisto. Cobuilder. <<https://cobuilder.com/en/a-major-step-forward-for-bim-standardisation-en-iso-23386-published/>>. Päivitetty 20.3.2020. Luettu 18.4.2020.
- 18 Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 7. Määrälaskenta. 2012. RT 10-11072. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 19 Talotekniikka-alan LVI-toimialan työehtosopimus 2018–2020. 2018. Vaasa. Rakennusliitto Ry.
- 20 Heiskanen, Tuomas. 2020. Työmaainsinööri. Haahtela-rakennuttaminen Oy. Helsinki. Haastattelu 17.4.2020.
- 21 Mäki, Tarja. 2000. Tehtäväsuunnittelu työmaan johtamisen välineenä. Mittaviiva Oy. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020503.pdf>>. Luettu 18.4.2020.
- 22 Alm, Richard & Cox, W. Michael. Creative Destruction. Verkkoaineisto. The Library of Economics and Liberty. <<https://www.econlib.org/library/Enc/Creative-Destruction.html>>. Luettu 20.3.2020.

