



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Eetu-Pekka Weurlander

Talotekniikka työmaan tahtiaikataulus- sa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

13.5.2020

Tekijä Otsikko	Eetu-Pekka Weurlander Talotekniikka työmaan tahtiaikataulussa
Sivumäärä Aika	36 sivua + 1 liite 13.5.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-urakointi
Ohjaajat	työpäällikkö Timo Valpola talotekniikkajohtaja Kimmo Liljeström lehtori Markku Leino
<p>Insinööri työ käsitteli työmaan tahtituotantoa ja talotekniikkaa. Sen tarkoituksena oli luoda NCC Suomi Oy:lle ohjeistus talotekniikan sovittamisesta tahtiaikatauluun. Työ tehtiin työn ohella kohdetyömaana toimineena Vallila Folks -hotellin työmaalla.</p> <p>Työssä käytiin läpi tahtituotannon juuret, leanin ja lean-rakentamisen kautta. Tahtituotanto on tullut Suomeen viime vuosina, ja sen tavoitteena on vähentää hukkaa rakentamisessa. Työssä lisäksi vertailtiin ja analysoitiin hieman viikkotahdin ja päivätahdin aikatauluja, sekä pidettiin haastatteluja.</p> <p>Tehtyjen analyysien pohjalta selvisi, että suurin osa ongelmista voidaan välttää jo tahtiaikataulun suunnitteluvaiheessa. Näitä ongelmia olivat mm. työvaiheiden pituudet verrattuna tahdin pituuteen ja LVIS-suunnitelmien käyttökelpoisuus. Ongelmia syntyi myös työskentelyvaiheessa, kun huomattiin, että putkimiehet erikoistuvat selkeästi enemmän kuin oletettiin. Oleelliseksi asiaksi havaittiin myös tahtia edeltävien työvaiheiden tärkeys, kuten LVI-runkolinjojen asennukset.</p> <p>Lopulta tehdyn tiedon keruun perusteella kerättiin oleelliset tiedot ja luotiin niiden pohjalta ohjeistus talotekniikan sovittamisesta tahtiaikatauluun. Ohjeistus tehtiin NCC:n omalle Powerpoint-pohjalle ja se lisätään työhön liitteenä, mutta se jää vain NCC:n käyttöön.</p>	
Avainsanat	tahtituotanto, tahtiaikataulu, talotekniikka, aikataulu

Author Title	Eetu-Pekka Weurlander Building Services Engineering in takt time planning
Number of Pages Date	36 pages + 1 appendix 13 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Contracting
Instructors	Timo Valpola, Project Manager Kimmo Liljeström, Head of Building Engineering Markku Leino, Senior Lecturer
<p>The goal of this thesis was to study takt time planning a relatively new concept in Finland used to reduce waste on construction sites, on a real construction site and the to create instruction on how to accommodate building services engineering to it.</p> <p>First the roots of takt time, one of the tools used in Lean Construction were studied. Then, the two types of takt time schedules used on the sample site, one takt and week takt, were analysed, the problems that had surfaced were collected. Furthermore, interviews conducted and analysed, and these problems were also collected.</p> <p>The thesis established that most of the problems encountered on site and in the interviews could be avoided at the planning phase. Some of the problems could however, prove to be catastrophic for takt time planning, for example if the blueprints are not good enough or changed, which could require the re-planning of the takt time schedule.</p> <p>The final result of the thesis was a set of instruction for the commissioning company.</p>	
Keywords	takt, schedule, building services, takt time planning

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn taustoitus	1
1.2	Työn tarkoitus	1
2	Lean	3
2.1	Lean-filosofian taustoitus	3
2.2	Lean-rakentaminen	5
3	Tahtiaikataulu	8
3.1	Tahtituotanto taustoitus	8
3.2	Tahtituotannon ”ongelmat”	9
3.3	Tahtimallit maailmalla	11
3.4	Tahtisuunnittelu	11
4	Talotekniikka tahtiaikataulussa	14
4.1	Kohdetyömaan esittely	14
4.2	Kohdetyömaan tahtiaikataulujen esittely ja analysointi	15
4.2.1	A2-osan tahtiaikataulu	15
4.2.2	A1-osan tahtiaikataulu	21
4.2.3	Yhteenveto aikatauluista	23
4.3	Haastatteluiden läpikäynti ja analysointi	24
4.3.1	1. haastattelu (talotekniikkaurakoitsijan työnjohto)	24
4.3.2	2. haastattelu (NCC:n talotekniikka-asiantuntija)	26
4.3.3	3. haastattelu (NCC:n työmaainsinööri)	28
5	Ongelmien yhteenveto ja ohjeistuksen teko	30
6	Yhteenveto	33
	Lähteet	35
	Liitteet	
	Liite 1. Ohjeistus talotekniikan sovittamisesta työmaan tahtiaikatauluun	

Lyhenteet

IV	ilmanvaihto
LVI	lämpö-, vesi- ja ilmanvaihtotekniikka
PEX	taipuisa muoviputki suojaputkessa
RATU	Rakennustieto Oy:n rakennustuotanto- kortisto
TATE	talotekniikka
TPS	Toyota Production System. Toyotan itse kehittämä tuotantomalli autoteollisuudessa.

1 Johdanto

1.1 Työn taustoitus

Tahtiaikataulu on yksi lean-rakentamisen menetelmistä, joilla pyritään vähentämään hukkan määrää työmaalla. Rakennustyömaalla hukka määritetään ajalla, jolloin työntekijä tekee työtä tai siihen liittyvää toimintaa, joka ei lisää tuotteen, eli rakennuksen arvoa (Forsberg & Saukkoriipi 2007: 67). Esimerkiksi putkimies tuottaa arvoa, kun hän asentaa viemäriä, mutta tehdessään jotain muuta, esimerkiksi sahatessaan tai kantaessaan putkea asennuspaikalle hän ei tuota arvoa eli syntyy hukkaa. Hukkana pidetään myös alueita ja tiloja, joissa ei ole asennuksia tai muita töitä juuri sillä hetkellä käynnissä. Työmaan tuotettavuutta ei ole saatu nostettua 40 vuoteen, toisin kuin teollisuudessa, jossa arvoa lisäävä tuotettavuus on noussut nelinkertaisesti. Tähän haetaan ratkaisua juuri lean-ajattelutavalla ja töiden tiukemmalla tahdistamisella. (Lohilahti 2017.) Tahtiaikataulu pyrkii nostamaan työn tuotettavuutta vähentämällä hukkaa, joka syntyy tilan ollessa tyhjillään, eli pyritään nostamaan tilan käyttöastetta.

1.2 Työn tarkoitus

Insinööriyön tarkoituksena on luoda ohjeistus talotekniikan sovittamisesta tahtiaikatauluun. Työn tilaajana toimiva NCC Suomi Oy näkee työn olevan yritykselle hyödyllinen, sillä alalle on tulossa aina uusia työmaainsinöörejä, joilla ei vielä välttämättä ole minikäänlaista kokemusta talotekniikan töistä. Ei tiedetä, mitä kaikkea on otettava huomioon, jotta on edellytykset aloittaa talotekniset työt, eikä ymmärretä töiden kestoja tai niiden tekijöitä. Tämä näkyy varsinkin, kun lähdetään toteuttamaan melko uutta rakentamistapaa tahtiaikataulua. Siinä jokainen pienikin virhe näkyy heti työn valmistumisessa, ja mikäli aikataulua tehdessä on tehty virhe, voi tämä johtaa hukkan kasvuun. Tästä syystä ohjeistus pyritään tekemään juuri tahtiaikataulun luomista varten, mutta se tulee kertomaan myös edeltävien työvaiheiden merkityksestä.

Työn ohjeistus tulee olemaan tilaajan työntekijöiden apuna, kun lähdetään suunnittelemaan tahtiaikataulun käyttöä. Tavoitteena on saada riittävän kattavasti tietoa, jotta voidaan luoda mahdollisimman vähän muokkausta tarvitseva aikataulu, joka on realistis-

tinen ja voidaan toteuttaa sellaisenaan. Siinä tulee käymään ilmi oleellisia asioita, jotka pitää ottaa huomioon aikataulua tehdessä.

2 Lean

2.1 Lean-filosofian taustoitus

Toyota loi oman tuotantomallin, joka tunnetaan nimellä TPS (Toyota Production System). Sen isänä pidetään Taiichi Ohnoa, joka aloitti uransa Toyota-konsernissa vuonna 1932. Hän kehitti TPS:iä jatkuvasti lähes 60 vuotta. Vuonna 1978 hän julkaisi kirjan *Toyota Production System: Beyond Large Scale Production*. Ohno esitti, että tuottavuuden parantamiseksi pitää saada aikaan virtaus. Vaikka *lean* käsitteenä on luotu Toyotan pohjalta, ovat *lean* ja *TPS* eri käsitteitä. (Modig & Åhlström 2013)

Lean-tuotanto käsitteenä tuli ensimmäistä kertaa yleisön tietoon vuonna 1988 John Krafcikin kirjoittamassa artikkelissa *Lean-tuotantojärjestelmän riemuvoitto*. Artikkelissa verrataan myöskin eri autovalmistajien tuotantoja ja niiden tuotettavuutta. Verrattiin ns. järeää ja haurasta. Järeällä tarkoitettiin tuotettavuuden tavoittelua mittakaavaeduilla ja huipputekniikalla. Hauraalla hän tarkoitti Toyotan mallia, jossa oli pienet varastot, pienet puskurit ja yksinkertainen tekniikka. Krafcik osoitti, että hauraallakin tuotantojärjestelmällä voi taata sekä hyvän tuotettavuuden, että hyvän laadun. Hänestä kuitenkin hauras-sanassa oli kielteinen sävy, joten hän muutti termin leaniksi.

Lean-filosofia eli lean-tuotanto termi tuli suurelle yleisölle tutuksi, kun se esitettiin Womackin ym. (1990) kirjoittamassa kirjassa ”*The machine that changed the world*”. Kirja vertaa amerikkalaisen- ja japanilaisen autoteollisuuden tuotantoa, tarkemmin sanottuna Toyotan tuotantoa. Se perustuu vuosien tutkimustyöhön, jonka perusteella kirjoittavat osoittivat Toyotan päässeen paljon paremmalle tehokkuustasolle kuin kilpailijat. He kertovat leanin koostuvan neljästä periaatteesta:

1. Tiimityö
2. Viestintä
3. Resurssien tehokas hyödyntäminen ja hukan poistaminen
4. Jatkuvat parannukset.

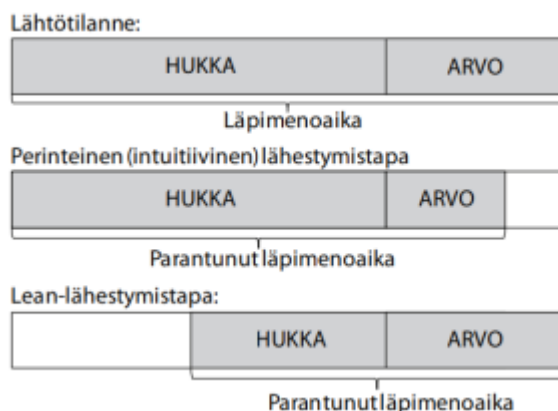
Womack ja Jones jatkoivat käsitteen kehittelyä ja ovat julkaisseet useita artikkeleita ja kirjoja. Näistä voidaan mainita vuonna 1996 julkaistu *Lean Thinking*, jossa he kertovat, miten yrityksen pitää toimia, mikäli he haluavat olla *lean*. Kirjassa esitetään viisi periaatetta edellisten neljän lisäksi:

1. Määritä arvo lopullisen asiakkaan näkökulmasta
2. Tunnista kaikki virtauksen vaiheet ja poista ne, jotka eivät tuota arvoa (hukka)
3. Järjestä arvoa tuottavat vaiheet niin, että tuote virtaa sujuvasti asiakasta kohti
4. Kun virtaus on valmiina, anna asiakkaiden ”vetää” arvoa ylävirtaan
5. Kun nämä neljä vaihetta on tehty, prosessi alkaa alusta ja jatkuu, kunnes on päästy tilanteeseen, jossa tuotetaan täydellistä arvoa ilman hukkaa.

Näitä periaatteita seuraamalla voivat organisaatiot alkaa ”leanata” toimintaansa ja parantaa prosessiensa virtausta. Kirjoja on myyty ympäri maailmaa suurina painoksia ja voidaan sanoa niiden vaikuttaneen lean-käsitteen kehittymiseen ja leviämiseen enemmän kuin muut kirjalliset lähteet. (Modig & Åhlström 2013.)

Seuraavaksi avataan hieman, mitä näillä periaatteilla tavoitellaan ja miten tämä näkyy yrityksen sisällä. Jotta voidaan ymmärtää, mitä lean-ajattelulla haetaan takaa pitää selittää mitä tarkoitetaan resurssitehokkaalla ja virtaustehokkaalla. Resurssitehokkuudella, joka mielletään yleisesti niin sanotuksi tehokkuuden perinteiseksi muodoksi, tavoitellaan paremman tehokkuuden saavuttamista korostamalla arvoa tuottavien resursien tehostamisella. Virtaustehokkuudella taas tavoitellaan parempaa tehokkuutta poistamalla tuotteen hukkaa. Tämä tapahtuu siten, että pyritään pääsemään eroon ajasta, jolloin tuotteelle ei tuoteta arvoa. Tätä olisi esimerkiksi jonkin tuotteen välivarastointi, jolloin keskeneräiselle tuotteelle ei tehdä mitään. Tämä olisi rakennustyömaalla verrattavissa tyhjään tilaan missä ei tehdä työtä. (Modig & Åhlström 2013.)

Lean-ajattelutavan mukaan lähdetään keskittymään hukan eliminointiin toisin kuin perinteisessä yrityksessä, jossa keskitytään arvoa tuottavien toimintojen tehostamiseen (Haapasalo & Malvalehto 2020). Kuvassa 1 havainnollistetaan, mitä tällä erolla tarkoitetaan ja sekä lean että perinteinen ajattelutapa vaikuttavat tuotteen läpimenoaikaan.



Kuva 1. Perinteisen- ja lean-lähestymistapojen läpimenoaikojen ero (Haapasalo & Malvalehto, 2012)

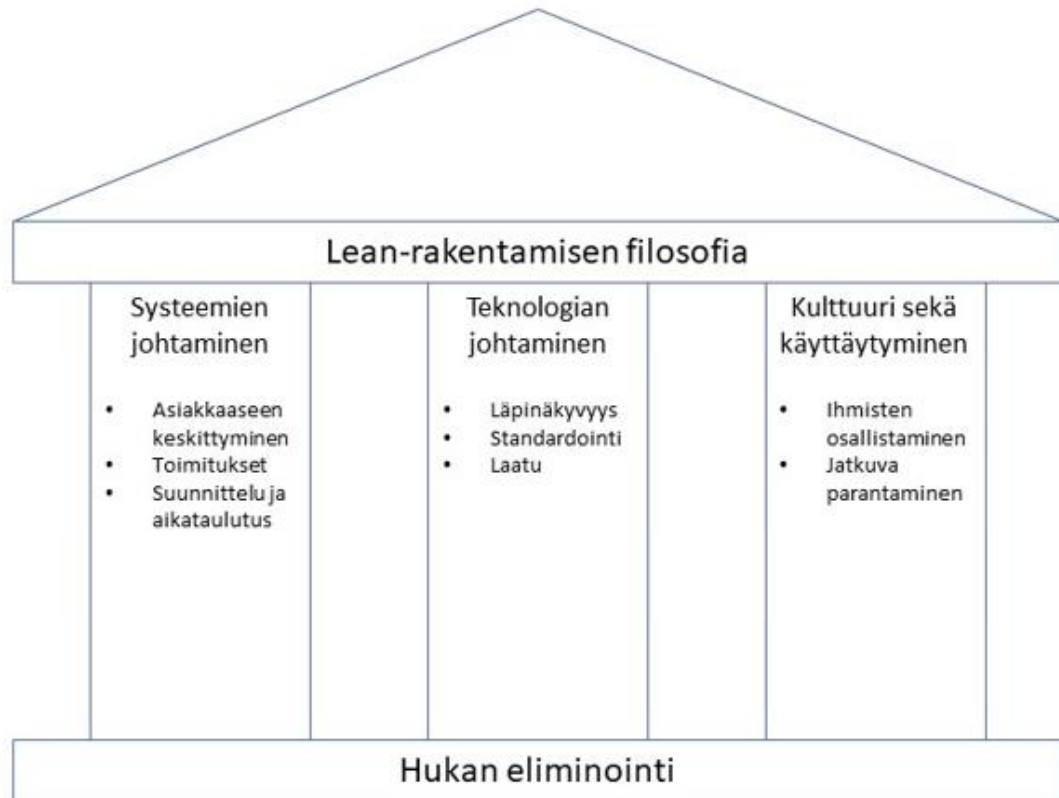
Kuten kuvasta 1 on havaittavissa, on hukan määrä työn läpimenoajasta selkeästi suurempi kuin itse arvoa tuottava aika. Tällöin voidaan myös todeta, että vähentämällä hukkaa saadaan tehokkuutta kasvatettua enemmän kuin vähentämällä arvoa tuottavan prosessin aikaa. Juuri tällä hukan vähentämisellä saadaan parannettua työn virtausta, jolla on muitakin positiivisia vaikutuksia kuin pelkästään läpimenoajan lyhentyminen. Esimerkiksi on huomattu hyvän virtauksen parantavan huomattavasti laatua, sillä virheitä ei pääse enää tapahtumaan niin usein ja ne huomataan nopeammin kuin vanhoilla tekniikoilla. Lisäksi kun päästään eroon varastoinnista ja turhasta tavaroiden siirtelystä, vapautuu resursseja muihin arvoa tuottaviin töihin.

2.2 Lean-rakentaminen

Lean-rakentamisen tarkoituksena kuten muussakin lean-filosofian mukaisissa prosesseissa on asiakkaalle tuotetun arvon maksimoiminen poistamalla mahdollisimman paljon hukkaa tuotannosta. Lean-rakentamista esiteltiin 1990-luvun puolen välin tienoina uutena konseptina. Tästä syntyi kaksi eriävää käsitystä siitä mitä Lean-rakentaminen on. Näkemyksistä toinen käsittelee lean-rakentamista enemmän filosofisessa mielessä, joka on saanut enemmän kannatusta maailmalla. Toinen näkemyksistä taas käsittelee sitä valikoimana erilaisia työkaluja tuotannon tehostamiseen ja hukan vähentämiseen. (Koskela ym. 2002.) Lean-rakentamista on kritisoitu siitä, ettei sillä ole kovinkaan selkeää yhteisesti sovittua näkemystä vaan sillä on monia erilaisia näkemyksiä asiayhteydestä riippuen.

Lean-rakentamiselle on olemassa useita eri tahojen kehittämiä malleja. Bajjou ja Chafi (2018) pyrkivät tutkimuksessaan tuomaan näitä yhteen ja luomaan niiden perusteella lean-rakentamiselle peruseriaatteet. Niiksi muodostui asiakkaaseen keskittyminen, jatkuva parantaminen, ihmisen osallistuminen, hukan eliminointi, toimitukset, suunnittelu, sekä aikataulutusta, standardointi, laatu, ja läpinäkyvyys. Nämä yhdeksän elementtiä muodostavat lean-rakentamisen pilarit (kuva 2), jotka perustuvat lean-rakentamisen ydinajatukseseen, joka on hukan eliminointi. Peruseriaatteet on jaettu kolmeen pilariin, jotka ovat systeemien johtaminen, teknologian johtaminen ja kulttuuri sekä käyttäyty-

minen.



Kuva 2. Lean-rakentamisen peruspilarit suomennettuna (Bajjou & Chafi 2018)

Työmailla lean-rakentamisen filosofia näkyy pääasiassa käytetyissä toimintamalleissa. Seppo Mölsä kertoo Rakennuslehden artikkelissaan ”*Suomen parhailla työmailla lean on kirosana – silti se saa ihmiset hymyilemään ja työt sujumaan*” kuinka, Rakennuslehden työmaakilpailun raati oli halunnut selvittää, miten lean näkyy työmaan käytännön tekemisessä. Heille oli tullut yllätyksenä, että työmailla oli ajateltu tahtituotannon ainoksi leanin työkaluksi. Vaikka tahtituotanto onkin yksi käytetyimmistä ja keskeisimmistä menetelmistä, ei se ole kuitenkaan ainoa asia, mitä lean on. Työmailla oli käytössä *last planner* ja *big room*, jotka molemmat ovat myös aivan leanin ydintä. Hän jatkaa artikkeliaan kertomalla, kuinka juuri nämä kaksi ovat auttaneet paljon työmailla ja johtaneet siihen, että rakentamista tehdään enemmän yhdessä aliurakoitsijoiden kanssa ja heidän kanssaan ideoidaan, miten vastaan tulevia ongelmia voidaan ratkaista. Tämä kuuluu täysin leanin ajatusmaailmaan, siitä miten asioita kuuluu tehdä yhdessä ja niitä kuuluu jatkuvasti parantaa. Ajatukset voidaan johtaa suoraan takaisin kuvaan 2 lean-rakentamisen filosofian pilareihin.

Artikkelissa mainittu tahtituotanto on pikkuhiljaa tullut yhä enemmän esille Suomessa. Isojen pääurakoitsijoiden johdolla sitä on ruvettu istuttamaan ja hakemaan sen avulla aikatauluetua muihin urakoitsijoihin. Tahtituotannon lisäksi leaniin perustuu useita muitakin toimintatapoja ja työkaluja, mutta tässä työssä keskitytään tahtiaikatauluun. (Mölsä 2019.)

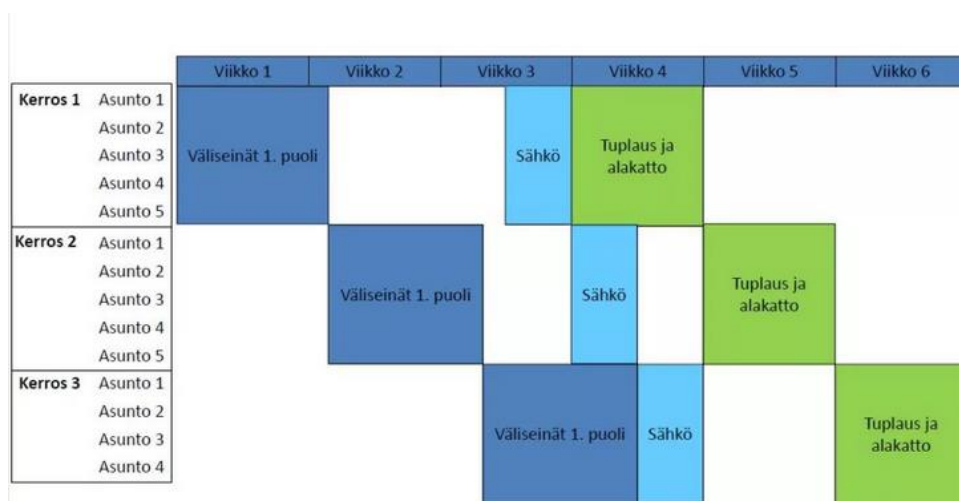
3 Tahtiaikataulu

3.1 Tahtituotanto taustoitus

Tahtituotanto on alun perin teollisuuden puolelta ja sen tavoitteena oli tuottaa tuotteita asiakkaan kysynnän mukaan. Sen nimi eli tahtiaika tulee englannin kielisestä lausunnasta ”takt time” ja sillä tarkoitetaan aikaa minkä sisällä pitää saada jokin tuote valmiiksi, jotta vastataan kysynnän tasoa. Tästä esimerkkinä, vaikka jokin autonosa. Tahtituotanto onkin edelleen varsinkin autoteollisuudessa käytetty tapa ja sitä käytetään edelleen esimerkiksi Toytoan tehtailla. (Haghsheno ym. 2016.)

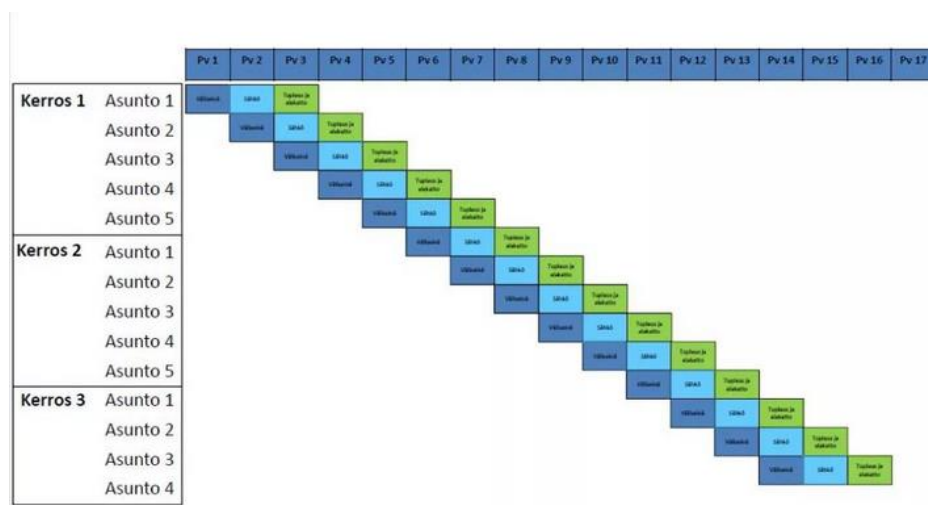
Tahtituotannossa virtaus luodaan aikataulutamalla työvaiheet samanpituiseksi ja suunnitelmalla se seuraamaan toisiaan (Lean Construction Institute 2015). Tämän tarkoituksena on löytää työn pullonkaulat, joidenka perusteella aikataulutus tehdään. Mikään työvaihe ei saa edetä pullonkaulaa nopeammin, sillä silloin ei tuoteta tuotteelle lisä arvoa vaan syntyy hukkaa. Pullonkaulat työmaalla voisivat olla esimerkiksi laatoitustyöt, sillä niiden teko vaatii tarkkuutta ja jos laatu on heikkoa liiallisen kiireen takia, havaitaan se nopeasti. Toinen hidas vaihe on kuivumisajat. Tämä toistuu sekä maalauksissa, että saumauksissa. Maalin on vain annettava kuivua, sen hitaudelle ei mahda mitään, tästä syystä se on pullonkaula.

Rakennusalalla ollaan pyritty tahtituotantoon paikka-aikakaavion avulla. Paikka-aikakaaviossa työvaiheet tasautetaan suhteessa toisiinsa ja suunnitellaan seuraamaan toinen toistaan.



Kuva 3. Normaali aikataulu. Puskuriajat ovat nähtävissä heti työvaiheiden jälkeen, ja läpimenoaika on pitkä. (Mölsä 2019)

Käytännössä tämä ei kuitenkaan onnistu, sillä työsuunnittelu on yleensä ylimitoitettua, joka sisältää erilaisia puskuriaikoja, jotka estävät todellisen tahtituotannon saavuttamisen. Itse tahtiaikatutuotanto on rakennusalalle lupaava työkalu uudisrakentamisen lisäksi myös korjauspuolelle missä on paljon toistuvuutta. Näitä ovat esimerkiksi putkiremontit, jossa suoritetaan samoja työvaiheita useissa samankaltaisissa tiloissa. Näihin soveltuu lean-tuotannon tahtiaikaperiaate, mutta autoteollisuudessa käytetty liukuhihna korvataan ”tuotantojunalla”, joka koostuu tarkkaan mitoitetuista työvaiheista (junan vaunuista), jotka laitetaan seuraamaan toinen toistaan. (Lean Construction Institute 2015.)



Kuva 4. Tahtiaikataulu ilman puskureita. Läpimenoaika selkeästi lyhentynyt. (Mölsä 2019.)

Kuvissa 3 ja 4 on nähtävissä eri tuotannonohjausmenetelmien aikataulut. Kuvassa 3 on havaittavissa, että siinä jokaisella urakoitsijalla on oma ”valtakuntansa” käytettävissä pitkän aikaa. Lisäksi työllä on melko suuret puskurit jätetty ennen seuraavan työvaiheen alkua. Tästä aiheutuu turhaa hukkaa. Kuvassa 4 taas on kuvattuna samat työvaiheet tahdistettuna, työt kulkevat saumattomasti peräkkäin, eikä puskureita ole jätetty. Tästä syystä on myös läpimenoaika selkeästi lyhyempi (6–2,5 viikkoa). (Mölsä 2019.)

3.2 Tahtituotannon ”ongelmat”

Yleisesti tahtituotanto mielletään hyvinkin joustamattomaksi ja raskaaksi toteuttaa. Joustamattomuudella tarkoitetaan sitä, että virheen sattuessa on se mahdollisesti jopa

pienoinen katastrofi työmaalle. Miten pitää toimia, kun ei ole mitään aikapuskureita tehtävien välissä ja jokin menee pieleen? Todellisuudessa vastaus on helppo ”Sehän laitetaan joustamaan, jos on pakko joustaa”, kertoo Aleks Heinenon Rakennuslehden artikkelissa ”*Onko tahtituotanto työmaalle riski? – 25 mestarin kokemukset kertovat joustavuudesta ja laadun paranemisesta*” (2019).

Yleiset pelot joustamattomuudesta ovat artikkelin mukaan aivan turhia, sillä kaikki ongelmat, jotka keskeyttäisivät tahtituotannon etenemisen täysin ovat sellaisia, jotka pysäyttäisivät minkä tahansa tuotannonohjausmenetelmän. Lisäksi aikapuskurien puute on ratkaistavissa lisäämällä niitä aikatauluun. Tämä onnistuu esimerkiksi asettamalla tuotanto 85 %:n teholle, jolloin puskuria jää 15 %:n verran, eli lisäämällä kapasiteettipuskureita tai vain lisäämällä päivän puskureita eli lisäämällä tilapuskureita. Nämä kuitenkin merkittävästi vähentävät hukkaa sillä, kun määritellään puskureiden paikat, voidaan niitä tarvittaessa hyödyntää johonkin muuhun, mikäli työt ovat onnistuneet aikataulussa. (Mölsä 2019.) Toki kapasiteettipuskurien käyttö työmaalla ei ole paras vaihtoehto, sillä työn virtaus saattaa kärsiä, mikäli edellinen ”vaunu” saa työnsä nopeammin valmiiksi kuin toinen, se joutuu odottamaan edellä olevaa eikä täten pääse etenemään seuraavalle työpisteelle. Tästä syystä voitaisiin suosia enemmän tilapuskureita, sillä nopeammasta suorittamisesta huolimatta ei työporukalta lopu työpisteet kesken. (Seppänen 2014.)

Toinen ongelmakohta on toteuttamisen raskaus. On selvää, että tahtituotannon toteutus vaatii urakoitsijan työnjohdolta paljon enemmän kuin normaalit tuotannot. Aliurakoitsijoita on johdettava päivittäin ja oltava tietoisia siitä, mitä työmaalla tapahtuu. Lisäksi aliurakoitsijoiden hankkiminen voi hankaloitua, sillä ei ole totuttu työskentelemään yhdessä muiden kanssa vaan omat työt on tehty nopeasti pois alta ja siirretty toiselle työmaalle. Jos aliurakoitsijan sitouttaminen tahtiin ei onnistu, voivat koko työmaan muut työt olla vaarassa. Tästä syystä tarvittaisiin sopiva sopimusmalli, sillä on todennäköistä, ettei sitoutumista tapahdu ilman sopimuksen velvoitusta. Tähän liittyen on haasteena myös saada aliurakoitsijan työnjohto osallistumaan vaadittuihin palavereihin. Aluksi joudutaan usein pakottamaan, mutta onneksi kun aliurakoitsijan työnjohto huomaa palaverien hyödyttävän juuri itseään, alkaa käytäntö toimia. (Mölsä 2019.)

Myös varsinainen tahtituotannon käyttöönotto on haastavaa rakennusalalla, sillä melkein kaikki työntekijät on hankittu erikoistuneilta aliurakoitsijoilta. Aliurakoitsijoilla on oma työnjohtonsa, ja urakoitsijat yleensä hoitavat oman logistiikkansa. Tahtituotannon

kannalta tämä on huono sillä ajatuksella, että yritetään saada aikaan virtausta, mutta koska esimerkiksi logistiikka ei ole pääurakoitsijan alla, voi helposti käydä niin, että työpaikan vapautuessa käytettäväksi ei olekaan materiaaleja tehdä työtä. Tästä syytä pitää pääurakoitsijan työnjohdon yrittää pitää kontrollissa aliurakoitsijoiden hankintoja ja logistiikkaa. (Heinonen & Seppänen 2016.) Erikoistumisen toinen haitta varsinkin talotekniikkatöissä on työntekijöiden erikoistuminen. Kun tahtituotantoa suunnitellaan, joudutaan usein erilaisia töitä enemmän tai vähemmän liittämään toisiinsa, jotta saadaan ne sopimaan valittuun vaunun läpimenoaikaan. Esimerkiksi voitaisiin liittää samaan vaunuun viemäriasennuksia ja pex-putkien asennuksia. Yleensä näissä töissä on omat putkimiehensä, jotka näitä tekevät eli yksi tekee viemäri työt ja yksi muovisten vesijoh-tojen asennukset. Tästäkin päästään, kunhan vain tahtituotannon suunnittelu tehdään järkevästi.

3.3 Tahtimallit maailmalla

Suomeen on tuotu kaksi maailmalla käytettävää mallia: saksalainen malli sekä kalifornialainen malli. Lisäksi on olemassa myös kiinalainen malli, joka perustuu käskyttämiseen ja tiukkaan kontrolliin. Kaikki kolme perustuvat leaniin ja tahtituotantoon, mutta niiden toteutus tavassa on eroavaisuuksia. Mallit on kehitetty samoihin aikoihin, mutta puolilla maailmaa. Kiinalainen malli on uudempi, eikä sitä ole vielä otettu käyttöön Suomessa. (Mölsä 2019.)

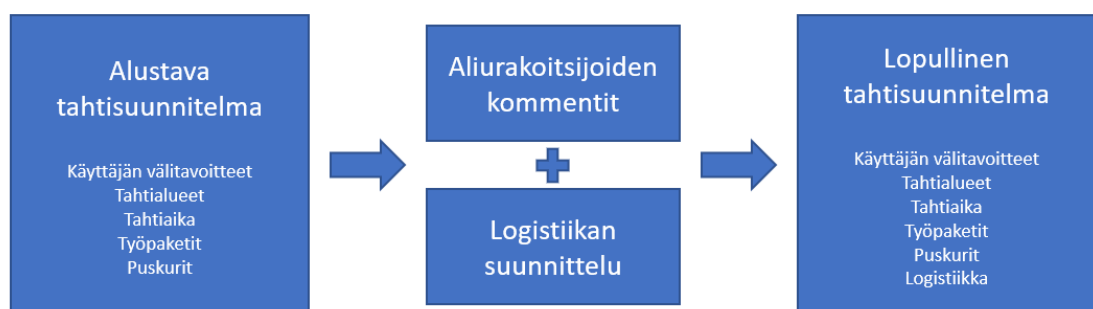
Saksan ja Kalifornian mallit eroavat toisistaan loppujen lopuksi melko vähän. Lyhyesti voitaisiin sanoa, että saksalainen suunnittelee ja amerikkalainen keskustelee. Saksan mallissa tahtituotanto ensin suunnitellaan tarkasti ja sitten vasta esitellään aliurakoitsijalle, kun taas amerikkalainen malli perustuu yhteisöllisyyteen ja aktiiviseen vuoropuheluun aliurakoitsijoiden kanssa. Molemmissa malleissa teoria on sama, ja niiden rakenne on hyvin samankaltainen, ja varsinkin Suomessa Saksan malli on toiminut lähtökoh-tana tahtiaikatauluille. (Mölsä 2019.)

3.4 Tahtisuunnittelu

Tahtisuunnittelu on tahtituotannolla toteutuvan kohteen aikataulusuunnittelua. Sen tavoitteena on luoda tahtiaikaan perustuva aikataulu, joka voidaan ottaa työmaalla käyt-

töön. On olemassa useita eri tapoja tahtiaikataulun suunnitteluun, mutta tässä työssä keskitytään vain pääperiaatteisiin, jotka ovat pitkälti samat kaikissa. Tahtisuunnittelulla pyritään saamaan tasainen, ennakoitava tuotantotahti, joka myös mahdollistaa töiden valmistumisen ja logistiikan suunnittelun. Näin päästään vähentämään hukkaa ja parannetaan tuotettavuutta. Kun tuotantosuunnitelmaa kehitetään ja pullonkauloja saadaan poistettua, lyhenevät myös läpimenoajat ja näin saadaan säästöjä. (Lean Construction Institute 2015)

Käytännössä tahtisuunnittelulle lähtökohdat syntyvät asiakkaan välitavoitteista, kuten luovutuksista ja katselmuksista. Kuvassa 5 nähdään myös, mitkä kaikki asiat vaikuttavat alustavan tahtisuunnitelman tekoon. Näiden pohjalta voidaan aloittaa aikataulun teko. Tahtisuunnitelman suunnittelun alussa lähdetään analysoimaan tuotantoprosessia jakamalla projekti erilaisiin alueisiin, niihin tehtävien työvaiheiden perusteella. Tässä kohtaa siis tarkasteltaisiin sitä, mitä työvaiheita eri osa-alueilla rakennusta on ja miten ne sopisivat tahtiaikatauluun. Voitaisiin esimerkiksi päättää, että tahtituotantoa lähdettäisiin suorittamaan vain tiloissa, jossa on paljon toistuvuutta, jolloin on tahdistaminen helpompaa suorittaa. Tässä kohtaa myös päätetään, minkä kokoinen tahtialue tuotantoon otetaan. Otetaanko esimerkiksi yksi huone ja sen kylpyhuone yhdeksi alueeksi vai jaetaanko ne kahteen. Seuraavana vaiheena olisi työjärjestyksen määrittely, jonka tarkoituksena olisi saada työvaiheet sellaisen järjestykseen, että voidaan työt suorittaa tahdissa. Työjärjestystä kuitenkin yleensä tarkennetaan urakoitsijoiden toiveiden mukaan, mikäli se on mahdollista.



Kuva 5. Käyttöön otettavan tahtisuunnitelman valmistuminen (pääasiat)

Kolmantena suunnitellaan työvaiheiden pituus samanmittaiseksi. Tämä on varmaankin eniten aikaa vaativa ja haastavin tehtävä asia tahtisuunnittelussa. Tässä kohtaa päätetään, minkä mittaiseksi työt pyritään mitoittamaan päätetyn tahtialueen perusteella.

Yleensä työt pyritään mitoittamaan pisimmän työvaiheen mukaan, jota ei voida jakaa pienempiin osiin. Joitakin työvaiheita on mahdollista suorittaa eri osissa, jolloin tahtiaikaa voidaan saada lyhyemmäksi. Jos työvaihe taas olisi jäämässä liian lyhyeksi, olisi mahdollista siihen lisätä muitakin töitä. Yleensä kuitenkin pyritään siihen, ettei yhdessä tahtivaunussa olisi enempää kuin yhden urakoitsijan töitä. Talotekniikassa tämä voitaisiin toteuttaa esim. niin että tehdään kaikki kylpyhuoneen putkiasennukset yhden vaunun sisällä (pex, kupari, viemäri, jne.). Töiden pituudet voidaan aluksi arvioida käyttäen RATU-kortistojen normitunteja, omaa tietämystä tai jonkun muun asiantuntijan/työnjohtajan tietoa. Lopullinen kesto kuitenkin saadaan vasta suoraan urakoitsijalta, joka kertoo työlle todelliset kestot. Tässä kohtaa työn kestoon lisätään myös puskureita. Tahtituotannolle tyypillisesti puskureina käytetään kapasiteettipuskureita eli työ mitoitetaan hieman lyhyemmäksi kuin tahtiaika. Näiden puskureiden lisäksi on myös mahdollista käyttää perinteisiä tilapuskureita. Tahtiaikataulussa nämä näkyvät tyhjinä vaunuina. Näitä kuitenkin pyritään välttämään. (Haghsheno ym. 2016.)

Kun työt on saatu mitoitettua tahdin mittaisiksi, voidaan tarkistaa työjärjestys uudestaan urakoitsijoiden kanssa, minkä jälkeen aikataulu tehdään lopulliseen muotoonsa (kuva 5). Itse aikataulun tekoon ei ole vielä tehty mitään kunnollista pohjaa vaan aikataulun pohjana on käytetty Exceliä. Vaikka aikataulu olisi valmis tässä vaiheessa, pitää se pitää ajan tasalla. Tarvittaessa on oltava valmis tekemään muutoksia ja varsinkin alussa, jos työntekijät ovat uusia tahtituotannolle voi olla, että joudutaan pidentämään tahdin pituutta. Sitten kun työt alkavat sujua halutulla tavalla voidaan sitten kiristää tahtia takaisin alkuperäiseen. On myös tärkeää jo suunnitteluvaiheessa miettiä logistiikkaa, sillä tiukasti aikataulutettu tahti ei juurikaan salli hukkatunteja tavarantoimitukseen vaan pitäisi tavarantoimituksen olla siellä jo työpäivän alussa. Tavarantoimitus voidaan toki ottaa huomioon työvaiheessa, mutta usein parempiin säästöihin päästään, mikäli siirtelyn ja logistiikan hoitaa joku muu ennen itse työvaiheen alkua. Tästä esimerkkinä hytti-remonteista kertovassa julkaisussaan Heinonen ja Seppänen (2016) toteuttivat logistiikan kokonaan erillisellä aikataululla, joka on luotu tukemaan kyseistä tahtiaikataulua. Siinä logistiikalla oli kokonaan oma työhenkilöstö, joka siirsi tavarat aina valmiiksi seuraavaa tahtivaunua varten, jotta työt voitiin aloittaa välittömästi eikä logistiikasta syntynyt viivettä.

4 Talotekniikka tahtiaikataulussa

Talotekniikasta tahtituotannossa ei varsinaisesti ole tehty mitään omaa tutkimusta tai aikataulutusta. Se on jopa hieman yllättävää, että näin on, sillä talotekniikka on hyvin paljon erilainen aikatauluttaa kuin muut rakennustyöt, mutta silti se on erittäin oleellinen, ellei oleellisin työkokonaisuus rakennuksessa. Tässä luvussa käydään läpi, kuinka kohdetyömaalla tahtiaikataulun teko edistyi ja mitä talotekniikan ongelmia siinä tuli esille. Lisäksi haastattelin työmaan talotekniikkaurakoitsijaa, sekä muutamia NCC:n toimihenkilöitä muilta työmailta, jotta saisin erilaisia näkemyksiä tahtiin ja kommentteja ohjeistuksen rakenteeseen ja sisältöön.

4.1 Kohdetyömaan esittely

Insinööriyöni kohdetyömaana toimii NCC Suomi Oy:n Korjausurakointi-yksikön työmaa Vallila Folks hotel. Työmaa koostuu kolmesta rakennuksesta, jotka on rakennettu eriaikakausina. Rakennuksille tehdään peruskorjaus ja käyttötarkoituksen muutos hotellikäyttöön. Hotelliin valmistetaan n. 150 huonetta, vastaanotto, pieni pubi/ravintola ja Wellness-osasto, jossa on saunatilat, punttisali sekä jumppasali. Työmaa on jaettu kolmeen osaan VR:n vanhojen rakennusten nimitysten mukaan ruokala, toimisto ja konttori. Työmaalla näille käytetään nimityksiä A1-, A2- ja B-rakennus. Näistä A1 ja B on ovat ulkopuolisesti museoviraston suojelemia. A2-rakennus on rakennettu selkeästi muita myöhemmin eikä sitä koettu tarpeelliseksi suojella.

Työmaa on NCC:n pilottihanke tahtituotannolle, joten tämän takia tahtisuunnittelua varten konsultoimaan hankittiin Vison Oy. Alkuperäisen tahtisuunnitelman mukaan tahtituotannolla oltaisiin rakennettu kaikki kolme rakennusta, mutta pääurakoitsija päätti rajoittaa kokeilun vain A2-rakennuksen sisävalmistustöihin. Myöhemmässä vaiheessa lähdettiin myös uusiksi tekemään A1-rakennuksen aikataulua tahtituotannolla, mutta hieman eri toteutustavalla kuin A2-rakennuksessa.

4.2 Kohdetyömaan tahtiaikataulujen esittely ja analysointi

Tahtituotantoa lähdettiin työmaalla tekemään tahtiaikataulun muodossa. Tahtiaikataulu lähdettiin tekemään vasta rakennusvaiheen alkamisen jälkeen, joka rajoitti hankintojen tekoa etukäteen, sekä esti aliurakoitsijoiden mukaan ottamisen aikaisessa vaiheessa tahtisuunnittelua. Työmaasta ei myöskään ollut vielä tullut tässä vaiheessa sen tasoisia työsuunnitelmia, joka myös osakseen esti hankintojen teon ja aliurakoitsijoiden mukaan ottamisen.

4.2.1 A2-osan tahtiaikataulu

Tahtiaikataulu tehtiin tosiaan aluksi vain A2-osalle. Päätettiin, että aikataulu käytetään vain hotellihuoneiden osalta, joita oli 75 kpl. Huoneet jaettiin kahteen osaan: huoneeseen ja kylpyhuoneeseen. Näille molemmille tehtiin omat junat ja vaunut. Tämä tarkoitti sitä, että samanaikaisesti voitiin yhdessä tilassa tehdä sekä huoneen että kylpyhuoneen puolella töitä. Seuraavaksi aloitettiin työjärjestyksen suunnittelu, sekä työvaiheiden kestot määriteltiin RATU-menekkien ja pääurakoitsijan työnjohtajien arvioiden mukaan. Talotekniikan osalta menttiin tässä vaiheessa jo pieleen, koska tietoa talotekniikan töistä ei aikataulun tekijällä/pääurakoitsijan työnjohdolla ollut riittävästi.



Kuva 6. Alkuperäinen aikataulun tahtisuunnitelma (huoneet)



Kuva 7. Alkuperäinen aikataulun tahtisuunnitelma (kylpyhuoneet)

1. Selvitettiin oikeat menekit talotekniikkaurakoitsijalta
2. Uusien suunnitelmien huomioon ottaminen
3. Muutettiin työpakettia
4. Aloituspäivämäärän siirto.

Tämän päivityksen jälkeen ruvettiin tahtiaikataulua tarkastelemaan uudelleen ja mietittiin työjärjestystä. Tässä kohtaa saatiin myös talotekniikkasuunnitelmat ja havaittiin, että osa LVI-runkolinjoista oli jouduttu siirtämään menemään huoneiden läpi. Tämä oli ongelma sen takia, että tiukkaan tahdistetut työt vaativat työntekijää olemaan omalla työpisteellään eikä hänelle saanut tulla häiriötekijöitä. Täten koska runkolinjat piti päästää asentamaan, piti tahdin aloituspäivämäärää siirtää, jotta runkotyöt saadaan tehtyä. Lisäksi jouduttiin muutamaaan työpakettia, koska runkolinjoihin oli tulossa palokatkot, sillä jokainen huone oli oma paloalueensa eli työpaketista jouduttiin poistamaan huoneen seinien sähkövedot ja seinien tuplaus. Kaikki tämä muutokset tietenkin vaikuttivat myös tahdin aloitusaikaan, joka tarkoitti tässä tapauksessa sitä, että aloitusta piti siirtää muutamalla viikolla. Aikatauluun runkolinjat vaikuttivat myös muulla tavalla. Talotekniikalla on oltava tietyt edellytykset aloittaa työt ennen kuin niitä lähdetään tekemään. Tällöin myös käytävällä olevat runkolinjat vaikuttavat aikatauluun. Huoneiden puolella ei töitä aloiteta, mikäli ei ole mitään mihin kytkeä. Sama pätee myös sähkötöihin, ei voida asennuksia tehdä, mikäli kaapelia ei ole vedetty jo huoneen puolelle, eikä kaapelin vetoa voi keskeyttää kesken kaiken ja jatkaa sitten myöhemmin. Jos tahtia edeltävät talotekniikan työt ovat tekemättä tahdin aloituksen aikaan, on järkevämpää vain siirtää tahdin aloitusta.

Aikataulua lähdettiin muokkaamaan ja tehtiin tarvittavat muutokset. Muutoksien tekeminen kuuluu tähän vaiheeseen tosin, sillä kuten yllä todettiin ei varsinkaan talotekniikan osuudesta ollut osattu tehdä aivan oikein ja oikeassa työjärjestyksessä. Lisäksi suunnitelmien puute vaikeutti aikataulun tekoa. Kuvassa 9 nähdään päivitetty aikataulu sekä työpaketti.

Hotellihuone	Työpaketti	Urakoitsija	
H1	H1 Ääneneris	Ääneneristysalakatot + Otsa(pl. Levyt)	Alakatto
H2	H2 Sähkövedot	Sähkövedot alakatto ja keuhuksen kotelo	Sähkö
H3	H3 Jäähdytyspa.	Jäähdytyspalkin asennus ja IV-kanavointi	IV
H4	H4 Jäähdytyspu.	Jäähdytysputket eteinen	Putki
H5	H5 eristys	Jäähdytysputkien eristys	Eristäjä
H6	H6 PEX	PEX-putket	Putki
H7	H7 Palokatko	Palokatkot	Palokatko
H8	H8 Alakatto	Alakatto levytys	Alakatto
H9	H9 Tasoitus 1.	Seinien ja katon tasoitustyöt 1. kerta + kuivuminen	Maalari
H10	H10 Tasoitus 2.	Seinien ja katon tasoitustyöt 2. kerta + kuivuminen	Maalari
H11	H11 patterinous.	Patteriputki nousulinjat	Putki
H12	H12 Hio+poijot+1.	Tasoiheen hionta ja pohjamaalaus, pintamaalaus 1. kerros + kuivumiset	Maalari
H13	H13 Pintam. 2.	Pintamaalaus 2. kerta + kuivuminen	Maalari
H14	H14 Patterit	Pattereiden asennus	Putki
H15	H15 Eteinen laatoit.poh.	Eteisen laatoituksen pohjatytöt	Laatta
H16	H16 Laatat lattia	Eteisen laatoitus	Laatta
H17	H17 palkkova	Patteriputkien reiän ummistus (paloluuk)	RAK
H18	H18 Matto pohjat	Matto pohjat	Matto
H19	H19 M. asennus	Mattoytöt	Matto
H20	H20 Karmi	Karmit	Ovi
H21	H21 Listat	Listat	Listoitus
H22	H22 Kalusteet	Kalusteet	Kaluste
H23	H23 Varusteet	Varusteet	Varusteet
H24	H24 Sähkökalut	Sähkökalusteet, ATK kytkentä ja automaation huonesäädin	Sähkö
H25	H25 Ovet	Ovet	Ovi
H26	H26 Lukitus	Lukitus	Lukitus
H27	H27 Viimeistely	Viimeistely	RAK
H28	H28 Siivous	Loppusiivous	Siivous
H29	H29 venttiilit	IV-venttiilien kiinnitys ja pölysuojauksien poisto	IV

Kylpyhuone	Työpaketti	Urakoitsija	
K1	K1 Alak. + rasiat	Sähkövedot alakatto + jakorasioiden asennus ja kytkentä	Sähkö
K2	K2 putki+kaivo	Lattian putket ja kaivot	Putki
K3	K3 Palok. +valv.	Lattian palokatkot/ kaivojen valut	Palokatko
K4	K4 Lattiasim.	Lattiasimittely	Sähkö
K5	K5 Kaatolattia	Kaatolattia + kuivuminen	RAK
K6	K6 PEX+viemäri	Seinien PEX-putkitukset ja katon viemärihajoitukset	Putki
K7	K7 IV	IV-työt	IV
K8	K8 Väliseinä tuplaus	Väliseinät tuplaus	VS
K9	K9 VE 1. krs	VE 1. krs (sisäilmiä valmistelut, nurkkovahvikkeet yms.) + kuivuminen	Laatta
K10	K10 VE 2.krs	VE 2.krs + kuivuminen ja rosterikyky + kuivuminen	Laatta
K11	K11 Laatat seinä	Laatoitus seinä + kuivuminen	Laatta
K12	K12 Laatat lattia	Laatoitus lattia ja	Laatta
K13	K13 Alin varvi	Laatoitus alin varvi +kuivuminen	
K14	K14 Sauma	Saumaus	Laatta
K15	K15 kuivuu	Saumaus kuivuminen	
K16	K16 Silikonit	Silikonit + kuivuminen	Laatta
K17	K17 Palokatko	Palokatkot	Palokatko
K18	K18 Alakatto	Alakatto rungot + levytys	Alakatto
K19	K19 Karmi	Karmit	Ovi
K20	K20 Vesikalut 1	Vesikalusteet 1 (suihku ja pöntön liimaus)	Putki
K21	K21 Kalusteet	Kalusteet	Kaluste
K22	K22 Vesikalut 2	Vesikalusteet 2	Putki
K23	K23 Varusteet	Varusteet	Varuste
K24	K24 Ovet	Ovet	Ovi
K25	K25 sähkökalut	sähkökalusteet ja valaisinasennukset	Sähkö
K26	K26 Viimeistely	Viimeistely	RAK
K27	K27 Siivous	Loppusiivous	Siivous
K28	K28 venttiilit	IV-venttiilien kiinnitys ja pölysuojauksien poisto	IV

Kuva 9. Päivitetty versio tahtiaikataulun työjärjestyksestä

Suurimmat muutokset tässä ovat tapahtuneet työjärjestyksessä ja työpaketeissa. Itse tahtiaikataulun tyyli ei ole muuttunut juurikaan alkuperäisestä. Työjärjestyksestä ja työpaketeista ei kuitenkaan vielä tässä vaiheessa saatu valmiiksi. Muutoksia tehtiin seuraaviin kohtiin:

Huoneen osalta

- jäähdytyspalkin (IV) asennus ja kytkentä
- jäähdytyslinjan asennus ja eristys
- pex-putkien asennus
- pattereiden ja patterilinjojen asennus

Kylpyhuoneen osalta

- sähkövedot, jakorasiat ja lattialämmityksen asennus
- lattiakaivojen ja viemärien asennus
- pex-putkien asennus
- IV-työt.

Nämä muutokset jouduttiin pääosin tekemään siksi, että havaittiin, ettei töitä saa sopimaan tahtiin hyvin. Varsinkin IV-työt jouduttiin irrottamaan päivän tahdista, sillä niitä ei saatu aikataulutettua juuri mitenkään järkevästi. IV-töitä ei vain ollut tarpeeksi huoneissa/kylpyhuoneissa, jotta saataisiin järkevä työpaketti asennuksista. Ratkaisuksi tuli työjärjestyksen muuttaminen, sillä tavalla että asentaja pääsi tekemään työtä päivän aikana useammassa kuin yhdessä huoneessa. Hän siis kävi ennen päivätahdin aloitusta tekemässä kaikki asennukset.

Toinen ongelma, joka havaittiin, oli muutokset suunnitelmissa. Tässä vaiheessa tajuttiin, että huoneiden läpi kulki useita eri runkolinjoja. Näistä esimerkkinä näkyy työpaketissa oleva jäähdytyslinja. Sen asentaminen tahdissa oli miltei mahdotonta tehdä, sillä se pitää kokonaisuudessaan saada eristettyä. Tahtiaikataulussa, jossa alakattoja aletaan sulkemaan käytännössä heti kun huoneen alakaton alapuoliset asennukset on tehty, ei eristykselle yksinkertaisesti vain jää aikaa. Näin on siksi, että ennen eristystä pitää runkolinjoille tehdä painekokeet ja koetta varten pitää vähintään puolet kerroksen rungosta olla tehty, jotta sen tekemisessä on mitään järkeä. Tästä syystä päädyttiin aikataulutamaan myös tämä työ tahdin edelle, siten että työt tehdään ennen tahdin aloitusta siihen asti, että eristys on tehty linjalle. Tässä vaiheessa suunnitelmista poistettiin alun perin suunniteltu keittiön mahdollisuus jokaisessa huoneessa kuva 9, kohta H6). Tästä syystä pex-asennukset poistettiin kokonaan huoneen työpaketista.

Kylpyhuoneessa tehdyt muutokset liittyvät enemmän työpakettien järjestykseen ja niiden sisältöön. Muutoksia lähdettiin tekemään, kun käytiin tarkempaa keskustelua urakoitsijan kanssa. Keskusteluissa kävi ilmi, että työjärjestyksestä haluttiin muuttaa ja mietitty työmäärä päivälle kasvattaa. Päädyttiin tekemään niin, että sähkötyöt tehtäisiin putkitoiden jälkeen ja saman päivän aikana asennettaisiin kylpyhuoneesta sähkövedot ja

jakorasiat sekä asennettaisiin lattialämmitys. Putkitöiden osalta taas yhdistettiin yhdeksi työpaketiksi pex-asennukset ja viemäriasennukset. IV-töiden osalta päädyttiin samaan ratkaisuun kuin huoneenkin osalta, eli päätettiin irrottaa työ tahdistista ja työ tehtiin samalla kun huoneen puolelle asennetaan jäähdytyspalkki ja sen IV-kytkennät.

Hotellihuone		Työpaketti	Urakoitsija
H1	H1 Ääneneris	Ääneneristysalakatot + Otsa(pl. Levyt)	Alakatto/Tekker
H2	H2 Sähkövedot	Sähkövedot alakatto (paloilm.) ja keukuksen kotelo	Sähkö/Quattro
H3	H3 Eteisen laatt.poh.	Eteisen laatoituksen pohjatyöt	Laatta/Puhti
H4	H4 Laatat lattia	Eteisen laatoitus	Laatta/Puhti
H5	H5 Laatat lattia sauma	Eteisen laatoituksen saumaus	Laatta/Puhti
H6	H6 Alakatto	Alakatto levytyt	Alakatto/Tekker
H7	H7 Nauhoitus	Nauhoitus katto ja seinät + kuivuminen	Maalari/Sallinen
H8	H8 Nauha tuplaus	Nauhoitettujen saumojen tuplaus (tasoitus toiseen kertaan) + kuivuminen	Maalari/Sallinen
H9	H9 Hionta + pohjim.	Hionta + Pohjamaalaus + kuivuminen	Maalari/Sallinen
H10	H10 Tasoit. Osit. + Akryli	Tasoitusohje (ts. kittikerros) + zisiskulmien ja katonrajojen akrylointi + kuivuminen	Maalari/Sallinen
H11	H11 Hionta + välimaal.	Kittipalkkojen hionta + välimaalus + kuivuminen	Maalari/Sallinen
H12	H12 Pintamaal.	Pintamaalaus 1. krt. + kuivuminen	Maalari/Sallinen
H13	H13 Pintamaal.	Pintamaalaus 2. krt. + kuivuminen	Maalari/Sallinen
H14	H14 Patterit	Pattereiden asennus	Putki/Quattro
H15	H15 Matto pohjat	Matto pohjat	Sisustus/PKAK
H16	H16 M. asennus	Mattotyöt	Sisustus/PKAK
H17	H17 Sähkökalut	Sähkökalusteet, ATK kytkentä	Sähkö/Quattro
H18	H18 Kalusteet	Kalusteet	Kaluste
H19	H19 Ovi + lista + varus.	Oviasennus/ Listoitus + Varusteet	Sisustus/PKAK
H20	H20 Viimeistely	Viimeistely	RAK/NCC
H21	H21 Siivous	Loppusiivous	Siivous/LTQ
H22	H22 venttiilit	IV-venttiilien kiinnitys ja pölysuojauksien poisto	IV/Quattro
Kylppuhuone		Työpaketti	Urakoitsija
K1	K1 PEX-viemäri	Seinien PEX-putkitukset ja katon viemärihajoitukset (3.krs eteenpäin)	Putki/Quattro
K2	K2 putki/kalvo	Lattian putket ja kalvot	Putki/Quattro
K3	K3 Palok.+valv.	Lattian kaivojen valv. (HUOM. Paloturvallisuus alpuolelta)	RAK/NCC
K4	K4 sähkövedot+alakat	Sähkövedot alakatto ja seinät + jakorasioiden asennus ja kytkentä + lattialämmitys	Sähkö/Quattro
K5	K5 Kaatolattia	Kaatolattia + kuivuminen	Laatta/Puhti
K6	K6 Väliseinä tuplaus	Väliseinät tuplaus	YS/Tekker
K7	K7 VE 1. krs	VE 1. krs (sisäkkö valmistelut, nurkkasvähikkeet yms.) + kuivuminen	Laatta/Puhti
K8	K8 VE 2.krs	VE 2.krs + kuivuminen ja rosterikyynnys + kuivuminen	Laatta/Puhti
K9	K9 Laatat lattia	Laatoitus lattia	Laatta/Puhti
K10	K10 Laatat seinä	Laatoitus seinä + kuivuminen	Laatta/Puhti
K11	K11 Sauma	Saumaus	Laatta/Puhti
K12	K12 kuivuu	Saumaus kuivuminen	
K13	K13 Silikonit	Silikonit + kuivuminen	Laatta/Puhti
K14	K14 Alakatto	Alakatto rungot + levytyt	Alakatto/Tekker
K15	K15 AK Nauh.	Seinien suojaus + Alakaton nauhoitus (1. tasoituskerta) + kuivuminen	Maalari/Sallinen
K16	K16 AK 2. tasoit.	Alakaton 2. tasoituskerta + kuivuminen	Maalari/Sallinen
K17	K17 AK pohjim.+skr	Hionta + alakaton Pohjamaalaus + kuivuminen + akrylointi + kuivuminen	Maalari/Sallinen
K18	K18 AK pintamaal.	Alakaton pintamaalaus + kuivuminen	Maalari/Sallinen
K19	K19 Vesikalut	Vesikalusteet 1 (suihku ja pöntön liimaus + hanakalmarazit)	Putki/Quattro
K20	K20 sähkökalut	sähkökalusteet	Sähkö/Quattro
K21	K21 Kalusteet	Kalusteet	Kaluste
K22	K22 Ovi + Varusteet	Oviasennus ja varusteet	Sisustus/PKAK
K23	K23 Viimeistely	Viimeistely	RAK/NCC
K24	K24 Siivous	Loppusiivous	Siivous/LTQ
K25	K25 venttiilit	IV-venttiilien kiinnitys ja pölysuojauksien poisto	IV/Quattro

Kuva 10. Lopullinen versio tahtiaikataulun työjärjestyksestä

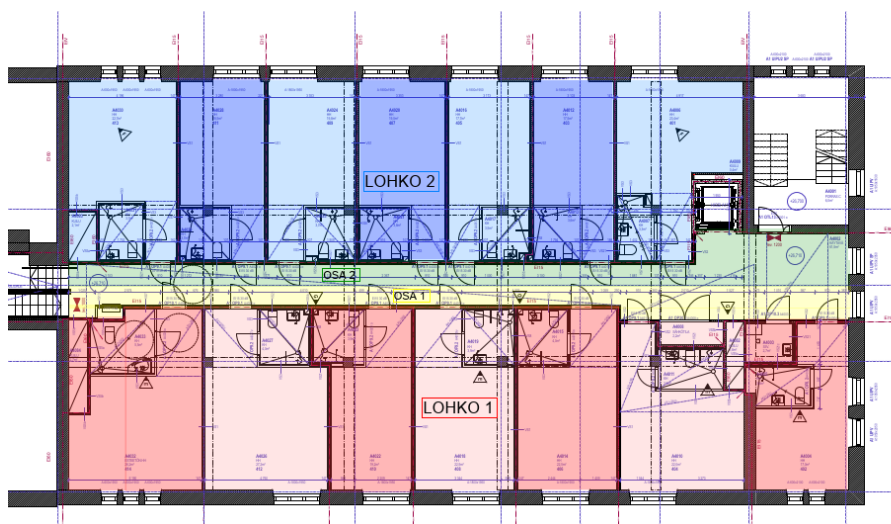
Kuvassa 10 on esitetty lopullinen käyttöön otettu versio tahtiaikataulun työjärjestyksestä ja työpakettien sisällöstä. Lopullisen version mukaan aloitettiin tekemään töitä. Töitä tehtiin kaikissa neljässä kerroksessa samalla aikataululla. Töiden aloituksessa oli omia ongelmia, mutta talotekniikan osalta päästiin melko hyvin käyntiin.

Selkeimmiksi ongelmiksi syntyi tekijöiden haluttomuus tehdä työt siten, kuin ne oli suunniteltu. Varsinkin sähkömiehiä oli vaikea saada tekemään töitä halutulla tavalla. Tarkoituksena oli, että tehtäisiin yhteen tilaan kaikki työt valmiiksi. Sähkömiehet kuitenkin tekivät omalla tyyllillään eli tekivät esimerkiksi kolmeen huoneeseen lattialämmityk-

set päivässä ja tulivat sitten muina päivinä perässä muiden töiden kanssa. Putkipuolen töissä työt kyllä olisi tehty niin kuin suunniteltiin, mutta ei ollut muistettu ottaa huomioon putkimiesten erikoistumista. Työmaalla ei ollut yhtä putkimiestä, joka olisi tehnyt päivässä pex-työt ja viemäryöt, vaan molemmille töille oli oma erikoistunut putkimies. Kumpikaan näistä ongelmista ei onneksi lopulta vaikuttanut muihin töihin, sillä putki- sekä sähkö työt saatiin tehtyä nopeammin kuin oli suunniteltu. Tällöin päästiin ”junaa” karkuun ja saatiin tehtyä omaan tahtiin kuten haluttiin. Lopulta työt saatiin talotekniikan osalta tehtyä hyvin ja melko virheettömästi loppuun.

4.2.2 A1-osan tahtiaikataulu

Aluksi oli tarkoituksena, ettei töitä lähdetä tekemään A1-osalle tahtiaikataululla, kun huomattiin, että huoneissa oli liikaa eroja eikä tiukka päivän tahti onnistu. Nyt kuitenkin vuoden vaihteen jälkeen tultiin siihen tulokseen, että töitä ei ehditä tekemään ajoissa valmiiksi normaalilla tyyllillä. Tästä syystä aloitettiin välittömästi suunnittelemaan uutta tahtiaikataulua, joka eroaa vanhasta merkittävästi. Uusi aikataulu päätettiin tehdä joustavammassa muodossa, mutta työt silti tahdistettiin seuraamaan toisiaan tiukasti ilman varsinaisia aikapuskureita. Työt päädyttiin tekemään viikontahdilla, ja kerros jaettiin osiin. Kuvassa 11 on esitetty, miten jako 4. kerroksessa tehtiin.



Kuva 11. A1-osan 4. krs, työalueet

Kuten kuvasta 11 nähdään, on kerros jaettua käytävän ja huoneiden osalta kahteen osaan. Lisäksi huoneet on merkitty vaaleammalla ja tummemmalla värillä, jotta voidaan osoittaa, mitkä huoneet levytetään umpeen. Tämä tehdään siksi, että voidaan suorittaa

sähköasennukset kolmeen eri huoneeseen yhdestä huoneesta. Käytävä on myös jaettu kahteen osaa. Talotekniikan osalta tällä ei ole juurikaan vaikutusta, sillä runkoasennus pitää tehdä kokonaan valmiiksi joka tapauksessa. Se miten tässä hieman hankaloitetaan töitä, tulee esille siten, että rungosta pitää olla tehtynä haaroitus toiselle puolelle kokonaan yhdessä viikossa. Toiselle puolelle haaroitus tehdään toisella viikolla. Ongelmia tämä saattaa aiheuttaa siinä, että ensimmäisellä viikolla pitää saada tehtyä sekä runko että puolet haaroista tehtyä, kun taas toisella viikolla on vain haaroitus tehtävänä. Kun asiaa esiteltiin talotekniikkaurakoitsijalle, ei kuitenkaan mitään suuria vastalauseita annettu. Ongelmaksi enemmänkin koettiin tarvittavien resurssien määrä, sillä vaikka aikaa on viikko, on tahtialueella selkeästi enemmän töitä tehtävänä ja samassa kerroksessa voi olla useita urakoitsijoita, jolloin tilaa ei myöskään ole kovinkaan paljon.

Työjärjestyksen suunnittelussa oli käytetty hyväksi jo tehtyä aikataulua, joten talotekniikan osalta saatiin työt heti urakoitsijalle mieleiseen järjestykseen. Nyt kuitenkin oli mukaan otettu myös edellisessä aikataulussa olleet edeltävät työvaiheet tahtiin. Näitä olivat mm. LVI-runkoasennukset ja sähkön väliseinäkaapelointit.

Käytäväosa 1	4	Työpaketti 5 Seinien lämpöeristys, TATE-eristys, reikien poraus, Sähkötyöjen asennus.	Työpaketti 6 sähkönurkovedot	Työpaketti 7 KV runko, KV haarat, viemäriputkukset	Työpaketti 8 IV runko, IV haarat	Työpaketti 9 Palkat, TATE eristys
Käytäväosa 2	4	Työpaketti 4 Käytävän väliseinä	Työpaketti 5 Seinien lämpöeristys, TATE-eristys, reikien poraus, Sähkötyöjen asennus.	Työpaketti 6 sähkönurkovedot	Työpaketti 7 KV runko, KV haarat, viemäriputkukset	Työpaketti 8 IV runko, IV haarat
Huoneetlohko 1	4	Työpaketti 4 Käytävän väliseinien tuplaus, Huoneiden väliseinät	Työpaketti 5 Huoneiden sähköasennus	Työpaketti 6 Huoneiden väliseinien tuplaus, Seinien lämpöeristys, Huoneiden alakatot (pl. Eriksen ja Iph alakatot) ja oviat.	Työpaketti 7 Jäähdytysrunko, IV korvektoreiden asennus	Työpaketti 8 IV korvektoreiden kotelointi, Jäähdytysrunon paneelikoekäytös, palkat
Huoneetlohko 2	4		Työpaketti 4 Käytävän väliseinien tuplaus, Huoneiden väliseinät	Työpaketti 5 Huoneiden sähköasennus	Työpaketti 6 Huoneiden väliseinien tuplaus, Seinien lämpöeristys, Huoneiden alakatot (pl. Eriksen ja Iph alakatot) ja oviat.	Työpaketti 7 Jäähdytysrunko, IV korvektoreiden asennus
Köyppälohko 1	4			Työpaketti 2 Viemäriputkukset, PEÖ, KPH väliseinien tuplaus	Työpaketti 3 Jäähdytysrunon asennus, Seinien vedeneristys 1. krs, Seinien vedeneristys 2. krs.	Työpaketti 4 Seinien lasoitus
Köyppälohko 2	4				Työpaketti 2 Viemäriputkukset, PEÖ, KPH väliseinien tuplaus	Työpaketti 3 Jäähdytysrunon asennus, Seinien vedeneristys 1. krs, Seinien vedeneristys 2. krs.

Kuva 12. A1-osan tahti aikataulu ja työpakettien sisältö (4. krs)

Kuvassa 12 on nähtävissä, mitä töitä vaunu sisältää ja miten työt on tahditettu. Tässä on myös nähtävissä kaikki talotekniikan työt, jotka on aikataulutettu, pois lukien kalustamisvaiheen. Tarkkasilmäisimmät voivat myös huomata, että aikataulusta puuttuvat kokonaan patteriasennukset sekä kuilujen asennukset. Ne tehdään muiden töiden lomassa, mahdollisimman pian.

Itse aikataulu oli selkeästi helpompi saada ”myytyä” aliurakoitsijoille, vaikka kun oikein katsoo asiaa, on se aikataulullisesti paljon tiukempi kuin A2-osan aikataulu. Se, että urakoitsijoille varataan aina viikoksi tila, kuulostaa urakoitsijan korvaan aina paremmalta kuin se, että työt ovat päiväkohtaisia. Viikkotahdilla urakoitsijalle annettiin myös mahdollisuus tehdä työt, miten he itse haluavat, kunhan tietty työvaihe on tehty viikon loput-

tua. Jos työtä ei ole tehty, käytetään lauantaita lisäpäivänä saada työ tehtyä. Jotta aikataulu toimii, pitää edellinen työvaihe olla tehty, jotta seuraava saadaan aloitettua aivan kuten A2-osan aikataulussa ja kuten on tahtituotannossa tyypillistä.

4.2.3 Yhteenveto aikatauluista

Voidaan todeta, että jos urakoitsijalta kysytään, kumpaa aikataulua se ennemmin noudattaisi, olisi vastauksena A1-osan aikataulu. Se on lähempänä normaalia aikataulutus- ta, ja jokaisella on omaa työaluetta pidemmäksi aikaa kuin päiväksi. Aikataulu ei kuitenkaan ole yhtä tehokas kuin A2-osalla käytetty.

Tiukemmalla päivätahdilla tehty aikataulu on tiedetysti paljon vaativampi ja joustamattomampi kuin viikkotahdilla tehty. Sen toteuttaminen on hankalampaa, ja varsinkin talotekniikan osalta saattaa helposti syntyä ongelmia kuten yllä käydään läpi. Suurimmista ongelmista kuitenkin selvittää hyvällä aikataulusuunnittelulla ja LVIAS-suunnitelmissa. Kuten A2-osan aikataulun esittelyssä ja sen luonnin läpikäynnissä kerrotaan, on tärkeää, että työn aloitukselle on kaikki edellytykset, eli tahdin edeltävät työt on tehty. Päivätahdilla on kuitenkin positiivisia puolia. Sen säästöt ovat suuremmat, sillä tilan hukka voidaan teoriassa poistaa kokonaan, vaikka tämä on käytännössä mahdotonta. Lisäksi voidaan todeta laadun parantuvan, sillä valmiita tiloja saadaan nopeammin valmiiksi ja virheet, jotka normaalisti huomattaisiin vasta myöhemmässä vaiheessa, saadaan esille paljon aikaisemmin.

Viikkotahdille tehty aikataulu oli urakoitsijoille mielekkäämpi, sillä koettiin, että töitä pysyttiin tekemään urakassa suuremmalla alueella. Ei ole pakko tehdä useita eri työvaiheita yhdessä päivässä jossain tietyssä tilassa vaan voidaan tehdä useissa eri tiloissa sama työvaihe. Tässäkin on suunnittelu tärkeää, mikäli halutaan saada aikataulu pitämän ja pysymään tavoitteessa. Joustavuutta kuitenkin on selkeästi enemmän kuin päivätahdilla toteutetulla aikataululla. Tässä ei kuitenkaan päästä ikinä minimoimaan hukkaa, vaan löysällä viikkotahdilla on aina tiloja tyhjillään siellä, missä töitä ei tehdä. Ei ole siis mahdollista päästä samanlaiseen läpimenoaikaan, vaan se on aina teoriassa hitaampi. Käytännössä taas voi viikkotahdin joustavuus olla enemmän hyödyksi, jolloin pienet ongelmat saadaan helpommin korjattua eikä koko tuotanto kärsi niistä.

Suunnittelun osalta on aikataulujen teko hyvinkin samanlaista, ja samat asiat on otettava siinä huomioon. Suurimmat erot syntyvät sitten työnohjauksessa ja siinä, kuinka

hyvin se onnistuu. Voidaan kuitenkin sanoa, että virheet aikataulun suunnitteluvaiheessa eivät ole yhtä suuri ongelma viikkotahdissa kuin päivätahdissa, johtuen sen joustamattomuudesta. Tästä syystä olisi suositeltavaa harjoitella tahtituotantoa viikkotahdilla, kunnes voitaisiin aloittaa tekemään päivätahdilla.

4.3 Haastatteluiden läpikäynti ja analysointi

Kohdetyömaan tahtiaikataulun lisäksi päätin myös haastatella työmaan talotekniikkaurakoitsijoita sekä muutamia NCC Suomi Oy:n toimihenkilöitä. Haastatteluiden tarkoituksena oli saada selville hieman ennakkokäsityksiä, suoraa tietoa, mielipiteitä sekä muita ajatuksia tahtiaikataulusta/tuotannosta ja itse insinööriyön tavoitteena olevan ohjeistuksen sisällöstä/muodosta. Ensimmäisenä haastattelin lyhyesti, ilman varsinaista kyselypohjaa talotekniikkaurakoitsijan työnjohdolta heidän kommenttejaan. Toisena haastattelin NCC:n talotekniikka-asiantuntijaa ja hänen kanssaan käydyssä haastattelussa käytin pohjana etukäteen tekemääni johdantoa aiheeseen ja kysymyksiä.

4.3.1 1. haastattelu (talotekniikkaurakoitsijan työnjohto)

Ensimmäisessä haastattelussa oli mukana työnjohtaja putki-, ilmanvaihto- ja sähköurakoista. Haastattelussa esille tuli useita tahtituotannon ongelmia, ratkaisuja sekä joitain ehdotuksia itse työn ohjeistuksen tekoon. Yleisesti tahtituotantoa kuitenkin pidettiin hyvänä asiana, sillä se saa aikaan positiivisia asioita. Se, että urakoitsijalla on aina tiedossa työalue, johon hän pääsee tekemään töitä ilman keskeytyksiä, on erittäin suuri plussa ja siellä valmius siihen, että urakoitsija voi tehdä työnsä, on kaikin puolin paremmassa kunnossa. Lisäksi mahdolliset virheet, joita edelliset urakoitsijat ovat tehneet, saadaan heti esille ja ne voidaan korjata.

Työnjohtajat muistuttivat myös tahdinohjauksen tärkeydestä. Kohdetyömaalla tätä laiminlyötiin ja tahtiaikataululle oleelliset aamupalaverit jätettiin pitämättä. Tämä johtaa helposti siihen, että ongelmien syntyessä ne jäävät ilmoittamatta ja työt keskeytyvät. Kerrottiin myös, kuinka tahtia voitaisiin harjoitella mallihuonetta tehdessä ja näin tarkistaa aikataulun toimivuus, kun työt on mitoitettu tiukasti. Tämä toki ei aina myöskään onnistu, sillä mallihuonetta tehdessä eivät välttämättä kaikki urakoitsijat ole valittuna ja usein tilaaja/käyttäjä saattaa tehdä muutoksia sen perusteella.

Oleellisena pidettiin tahtia edeltäviä työvaiheita. Näitä olivat mm. runkolinjat. Tahtituo-
tanta ei nimittäin voitu edes aloittaa aluksi ajoissa, sillä edeltävät työt eivät olleet val-
mistuneet ajoissa. Urakoitsijat painottivat suuresti sitä, että tulevaisuudessa tähän pitää
kiinnittää enemmän huomiota. Viimeiset asiat, jotka yleisesti haastattelussa mainittiin,
olivat suunnitelmien ja logistiikan suunnittelemisen tärkeys. Jotta tahtiaikataulu voidaan
ottaa käyttöön, pitää suunnitelmien olla sellaisella tasolla, että työt voidaan tehdä alus-
ta loppuun eikä niihin voi enää tulla suuria muutoksia, jotka vaikuttavat joko työntekoon
tai sen kestoon. Tätä ja tahtia edeltäviä töitä painotettiin erittäin suuresti haastattelussa
urakoitsijoiden kanssa.

Kun ruvettiin keskustelemaan tämän työmaan tahtiaikataulusta, liittyi suurin osa kom-
menteista asennusteknisiin asioihin ja itse työn tekoon, mutta joitakin kommentteja tuli
jo suunnitteluvaiheeseen. Suunnitteluvaiheessa koettiin, että ilmanvaihtoasennukset oli
melko vaikeaa saada sopimaan tiukkaan päivän tahtiin, sillä ei ollut yksinkertaisesti
riittävästi töitä huoneessa, jotta siinä olisi ollut järkeä. Tämä näkyi jo aikaisemmassa
luvussa, jossa käytiin A2-osan tahtiaikataulun sisältöä läpi ja siitä jouduttiin poistamaan
kokonaan ilmanvaihtoasennukset tahdistaa. Se miksi näin tehtiin, johtui pääasiassa siitä,
että työtä ei yksinkertaisesti riittänyt eikä saatu tarpeeksi suuria vara-työalueita, että
päästäisiin tekemään töitä.

Putki- ja sähköurakoitsija taas olivat suunnittelun osalta aluksi tyytyväisiä, mutta itse
asennuksessa tuli ongelmia. Putkiurakoitsijan osalta havaittiin, että nykyään on
enemmän sääntö kuin poikkeus, että putkimiehet erikoistuvat eri asioihin (pex, viemäri,
hitsaus, jne.) eivätkä ole kaikkea osaavia. Itse työnjohtaja tosin kertoi, että hänellä oli
ennen pääasiassa ollut sellaisia miehiä, jotka pystyivät tekemään mitä vain. Suunnitel-
lussa oli yhdistetty eri putkitöitä, jotta saatiin riittävän paljon töitä, että työ olisi tehokas-
ta. Tämä oli putken suurin ongelma, mutta kuten edellisessä luvussa kerrottiin, ei se
ollut haitannut varsinaista tahtia, sillä työt oli tehty aivan tahdin alussa ja ne pystyttiin
tekemään nopeammin kuin oli suunniteltu. Näin tahti pääsi karkuun, ja eri putkimiehet
pystyivät tekemään töitä lomittain. Muuten putkiurakoitsija oli tyytyväinen tahtiin, ja se
oli urakoitsijalta onnistunut hyvin.

Sähkön osalta pystyttiin kyllä tekemään useita eri töitä, mutta työntekijät itse olivat ko-
keneet, ettei työ ollut urakalla tekemistä. Työntekijät eivät halunneet tehdä useita eri
työvaiheita yhdessä tilassa kuten tahdissa oli määritetty, vaan he halusivat ennemmin
tehdä samaa työtä useammassa eri tilassa, esimerkiksi lattialämmityksien osalta he

olisivat halunneet tehdä päivän aikana kolmen kylpyhuoneen kaapeloinnit ja sitten palata tekemään muita töitä samaan tahtiin. Tämä tuli myös haastattelussa esille, vaikka työnjohto ei niinkään täysin ymmärtänyt omia miehiään tässä.

Päivän tahdistaa voidaan näiden haastatteluiden perusteella päätellä, että urakoitsijat ovat kyllä valmiita kokeilemaan ja tekemään tahtituotannolla, mutta ensin pitäisi selvittää sen ongelmat. Ilmanvaihtourakoitsija painotti kovasti näkemystään siitä, ettei tahtituotanto sovi heille, sillä työntekijöille ei vain ole tarpeeksi työtä (huoneen puolella), jotta tahtituotannossa olisi urakoitsijalle järkeä. Putki- ja sähköurakoitsijalle taas työt riittivät, mutta se ettei töitä saatu tehdä, miten itse haluttiin, häiritsi tekijöitä. Tähän löytyy kylläkin helppo, mutta erittäin vaikeasti tehtävä vastaus: sopimukset, maksuerät ja urakkarajat. Mikäli nämä kolme asiaa ovat kunnossa, en itse usko, että urakoitsijoita haittaa yhtään muuttaa omia toimintatapojaan, sillä siitä maksetaan.

Kun keskusteltiin viikontahdistaa, pidettiin sitä lähes yksimielisesti parempana tapana. Viikontahdin on juuri se, että urakoitsija pääsee tekemään töitä vapaammin ja juuri siinä järjestyksessä kuin haluavat. Todettiin kuitenkin, että ymmärretään, miksi NCC haluaa enemmän panostaa tiukempaan päivätahtiin, koska sillä pitäisi ainakin teoriassa päästä suurempiin säästöihin ja saada läpimenoaikaa lyhennettyä.

Lyhyesti haastattelusta jäi loppujen lopuksi positiivinen ajatus tahdistaa. Kaikki olivat yhtä mieltä siitä, että kehitettävää riittää molemmilla osapuolilla ja onnistunut tahtituotanto voi hyödyttää molempia paljonkin rakentamisessa. Työnjohtajat kuitenkin loppuun asti painottivat kolmea tärkeää asiaa: suunnitelmien taso, tahtia edeltävät työvaiheet ja itse aikataulun suunnittelu. Nämä kolme asiaa tulevat tulemaan uudelleen ja uudelleen esille seuraavissa alajaksoissa. (Haanperä, Hult ja Hevonoja 2020.)

4.3.2 2. haastattelu (NCC:n talotekniikka-asiantuntija)

Toiseen haastatteluuni lähdin kokonaan toiselle työmaalle haastattelemaan kyseisen työmaan NCC:n talotekniikka-asiantuntijaa. Haastattelua varten olin lähettänyt sähköpostilla lyhyen johdannon työstäni ja tehnyt valmiiksi kysymyksiä aiheeseen liittyen. Hänellä ei ollut varsinaista omakohtaista kokemusta tahtituotannosta, mutta hän oli lukenut aiheesta erilaisista artikkeleista ja keskustellut hieman siitä oman työmaansa talotekniikkaurakoitsijan kanssa. Vaikka kokemusta tahtituotannoista ei ollut, huomasiin,

että hieman tahdista selittämällä hän ymmärsi hyvin tahdin idean, sen hyödyt ja ongelmat.

Haastattelun aikana hyvin nopeasti alun esittelyjen jälkeen siirryttiin keskustelemaan tahdista. Keskustelun aikana selvisi hyvin nopeasti, että samat ongelmat, joita olimme kohdanneet työmaalla, tulivat nyt hänelle mieleen ilman, että olin asioita maininnut. Tästä voisi olla pääteltävissä se, että oikeanlaisella ohjauksella aikataulun suunnittelussa voidaan suurimmilta kohdetyömaalla tapahtuvilta ongelmilta välttyä. Asioita, jotka hän mainitsi, oli mm. juurikin putkimiesten erikoistuminen ja suunnitelmien tärkeys. Varsinaisia ratkaisuja hän ei näille kuitenkaan ehdottanut vaan kertoi vain tämän olevan sellainen asia, joka kannattaa mainita ohjeessa.

Muita asioita oli suunnitelmien lukitsemisen painotus. Se, että suunnitelmat eivät ole vaaditulla tasolla, voivat aiheuttaa työntekijöille päänvaivaa, ja myöhäiset päivitykset voivat pakottaa tekemään suuria määriä purkua. Tiukalle yhden päivän tahdille tämä olisi pienoinen katastrofi, sillä joustavuutta ei suoraan ole. Lisäksi siihen vaikuttavat kaikki pienetkin inhimilliset virheet, joita aina sattuu töitä tehdessä. Hän kuitenkin piti tahdista ideana varsinkin sen suhteen, että kun työalue on määritelty, voidaan työt tehdä siistissä tilassa ilman häiriötekijöitä, mikä on todella suuri etu.

Seuraavaksi esittelin hänelle hieman kohdetyömaan A1-osan aikataulua ja pyysin häntä kommentoimaan sitä ja sen lohkojakoa. Yleisesti hän oli samaa mieltä talotekniikan työnjohdon kanssa siitä, että urakatyön kannalta viikkotahti on parempi, mutta kiinnitti huomiota käytävän lohkojakoon. Hän kommentoi, ettei talotekniikkaa voi jakaa kahteen käytävän eripuolille, sillä runkolinjat käytävällä eivät jakaudu tasaisesti. Asennukset pitäisi saada tehtyä kokonaan käytävällä, jotta se voisi toimia. Nyt oli menty liikaa väliseinätyöt edellä, sillä tavoiteltiin sitä, että saataisiin huoneiden väliseinät tuplattua mahdollisimman nopeasti. Voisi olla jopa parempi, jos aluksi tahtiaikataulu suunniteltaisiin palvelemaan talotekniikkaa paremmin, eikä niinkään rakennustöitä. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi siten, että työt jaettaisiin pituussuunnassa kahteen eikä leveys-suunnassa kuten nyt on. Tällöin voitaisiin työt tehdä ensin puoleen väliin ja sitten tehdä haaroitus huoneisiin.

Ohjeistuksen tekoon hänellä oli useita ohjeita ja ideoita. Ensimmäisiä asioita, jotka kannattaisi mainita, ovat suunnitelmien tarkka läpikäyminen. On tiedostettava, että jokainen työmaa on erilainen eikä ole kahta samanlaista rakennusta. Tästä syystä oli

suositeltavaa, että ohjeeseen ei laitettaisi mitään lukuja kestoista tai mitään tiettyä tietoa kohdetyömaasta. Ohjeen pitäisi olla yleispätevä eikä liian tarkka. Ohjeen sisältöön hän kertoi, että olisi hyvä ohjata aikataulun suunnittelija ensin selvittämään, mitä järjestelmiä rakennuksessa on, ja tarkastamaan suunnitelmat, jotta voidaan selvittää, mitä talotekniikan töitä työmaalla on tehtävä.

Sitten hän suositteli aina selvittämään kestoja mahdollisimman tarkasti joko NCC:n asiantuntijalta ja/tai urakoitsijan työnjohdolta, jotta saataisiin työvaiheiden kestot mahdollisimman lähelle päätettyä tahdin pituutta. Jos työvaiheiden kestoja ei ole suunniteltu oikein, saattaa töitä olla päivässä liian vähän, eikä urakoitsija suostu tekemään työtä urakkana. Hän kuitenkin ehdotti ratkaisuksi sellaista, että tahdin mukaiset työt tehtäisiin urakkana ja kaikki sen ulkopuolinen työ olisi tuntityötä. Tämä teoriassa voisi toimia, mutta käytännön maailma olisi hankalampi, varsinkin sopimusmaailmassa. Liian moni asia jää auki, eikä eivätkä NCC:n sopimus pohjat olisi valmiita tämänlaiseen. Kysyin ehdotuksesta kohde työmaan talotekniikkaurakoitsijalta, joka kertoi idean olevan ihan hyvä, mutta vaativan enemmän alliansimaisen hankkeen, jossa kustannukset jakautuvat tasaisemmin. Kohdetyömaalla tätä ei olisi voitu kokeilla, sillä koko rakennuksen työt oli laskettu urakkahinnalla, jolloin tuntihinnan maksaminen ei olisi kannattavaa. Muita asioita, joita hän ehdotti ohjeistukseen, oli yleisten haittojen kirjaaminen, esimerkiksi juuri putkimiesten erikoistuminen.

Yhteenvetona miltei kaikki samat talotekniikan ongelmat toistuivat tässä haastattelussa. Se kuvaa minulle sitä, että nämä kyseiset ongelmat ovat hyvinkin universaaleja ja todennäköisesti tulevat toteutumaan uudelleen, mikäli niitä ei ota huomioon jo tahdin suunnitteluvaiheessa. Esille tulleet asiat pitää kirjata ohjeistukseen, jotta niitä voidaan ennakoita ja mahdollisesti estää niiden tapahtuminen. (Raki 2020.)

4.3.3 3. haastattelu (NCC:n työmaainsinööri)

Viimeisessä haastattelussa haastattelin NCC:n työmaainsinööriä, ja tavoitteena oli saada näkemystä siihen, miten hän lähtisi tahtituotantoa suunnittelemaan, mitä hän haluaisi ohjeistukseen saada ja mitä NCC:n pitäisi tehdä, jotta tahtituotanto voitaisiin ottaa käyttöön. Haastattelu oli hyvin vapaamuotoinen, ja sitä voisi enemmän pitää keskusteluna. Keskustelimme kuitenkin aiheesta paljon ja sain näkemyksiä. Tarkastelimme samalla kohdetyömaan tahtiaikatauluja, jotta saatiin käsitys siitä, mistä tarkalleen puhuttiin ja syntyneet ongelmat voitiin todeta suoraan aikataulusta.

Keskustelun aikana selitin, miten kohdetyömaan tahtiaikataulun teko alkoi, ja yhdessä todettiin, että se ei juurikaan eroa normaalin aikataulun teosta tältä osalta. Ensin pitää selvittää lähtötiedot ja niiden pohjalta tehdä jokin alustava suunnitelma. Tässä vaiheessa kuitenkin jo huomattiin, kuinka tärkeää on, että suunnitelmat ovat vaaditulla tasolla. Tahtiaikataulu ei juurikaan joustaa, jos suunnitelmiin tulee muutoksia liian myöhäisessä vaiheessa. Tästä esimerkkinä ovat kohdetyömaalla tapahtuneet suunnitelma muutokset, jotka aiheuttivat monia muutoksia itse tahtiaikatauluun.

Sitten talotekniikan osalta suositeltavaa kysyä neuvoa NCC:n talotekniikka-asiantuntijalta. Tällöin saataisiin alustavasti tietoa töiden määrästä ja siitä, missä järjestyksessä niitä kannattaa tehdä. Lopulliset kestot selviävät urakoitsijalta. Pitää myös selvittää, millaiset edellytykset projektilla on käyttää tahtiaikataulua. Pitää myös muistaa, ettei tahtiaikataulua tarvitse/kuulu tehdä koko projektille vaan se on yksi osa koko projektin aikataulua. Tällöin pitää varmistaa myös tahtiaikataululle oleelliset varatyöalueet, joihin päästään tekemään töitä, mikäli saadaan tahdin työt valmiiksi nopeammin, olisi helposti osoitettavissa toisesta aikataulusta. Itse aikataulun tekoon on nykyinen Exceliin tehtävä aikataulu liian työläs, ja ehdotuksena NCC:lle pitäisi tahtiaikataululle kehittää jokin oma ohjelma, jolla sitä voidaan suunnitella helpommin.

NCC:n pitäisi myös muuttaa omia sopimuksiaan ja niiden liitteitä, jotta urakoitsijat saataisiin sitoutettua tahtiin paremmin. Nykyisellä muodollaan olevat sopimukset eivät tue tahtiaikataulua, vaan ne on luotu toimimaan nykyisiin aikatauluihin. Lisäksi sakolliset välitavoitteet voitaisiin yrittää integroida tahtiin, mutta tässä pitää muistaa ottaa huomioon, että muut työt tahdistavat töitä, jolloin saattaa käydä niin, että myöhästyminen tapahtuu jonkun muun virheen takia. (Nykänen 2020.)

5 Ongelmien yhteenveto ja ohjeistuksen teko

Työn aikana esille tulleet ongelmat on kaikki käyty aikaisemmissa luvuissa läpi ja niistä yleisimmät on lisätty ohjeistukseen kuten edellisissä luvuissa kerrotaan. Seuraavassa listauksessa esitellään lyhyesti vielä kaikki esille tulleet ongelmat:

- Suunnitelmien puute/laatu
- Putkimiesten erikoistuminen
- Haluttomuus tehdä monia työvaiheita päivän aikana
- Tahtia edeltävät asennukset
- Tahtialueiden läpi menevät asennukset
- Työvaiheiden oikeiden pituuksien selvittäminen
- Töiden riittävä määrä
- Sopimukset, maksuerät, urakkarajat, jne.

Listatut ongelmat tulivat kaikki esille kohdetyömaalla sekä haastatteluissa. Ohjeistus tehtiin, jotta nämä ongelmat voidaan välttää tai vähintään niitä voidaan ennakoida. Ongelmista suurin osa voidaan välttää jo tahtituotannon suunnitteluvaiheessa, kunhan ne vain muistetaan ottaa huomioon. Nykyään on hyvin tyypillistä, että aikataulusuunnittelu aloitetaan kauan ennen kuin kaikki suunnitelmat on tehty ja/tai urakoitsijoita valittu. Tahtituotannolla ei tämänlainen suunnittelu toimi, sillä aikataulusta ei saa toimivaa ilman tarvittavaa tietoa. Vaikka ongelmat voitaisiinkin välttää jo suunnitteluvaiheessa, eivät ne silti välttämättä tule esille, kuin vasta itse työn teon aikana. Tässä vaiheessa olisi hyvä, jos aikataulua pystyttäisiin muokkaamaan, jotta ongelmat saadaan tuotannosta poistettua.

Jos jotain esille tulleista ongelmista pitäisi painottaa, tämä olisi tahtia edeltävät asennukset. Näitä ovat esimerkiksi kuilut (nousut) ja runkolinjat (vaakavedot). Jotta talotekniikan työvaiheet voidaan aloittaa kerroksen huoneissa tai tiloissa, on vähintään runkolinjojen oltava tehty kerrokseen. Kohdetyömaalla talotekniikkaurakoitsija ei vaatinut, että kuilujen asennukset pitää olla tehtynä ennen muita asennuksia, mutta tämä ei ole yleinen tapa. Nämä asennukset ovat yleensä myös suuritöisiä, ja asennukset vievät aikaa. Voi olla, että joissain tapauksissa nämä asennukset voivat ajaa tahdin aloitusta taaksepäin jopa kuukausilla, jos niitä ei ole otettu huomioon tai urakoitsijan kanssa ei ole asiasta sovittu jotain erikseen. Toinen asia, joka saattaa aiheuttaa vaikeuksia, ovat patteriasennukset. Ne eroavat nimittäin muista asennuksista siinä mielessä, että niiden

runkolinjat ovat hyvin usein pystysuuntaisia tai vähintään menevät useiden huoneiden/tilojen läpi. Tällöin myös patterit pitää liittää tahtia edeltäviin töihin, sillä niiden asennuksia ei voida tehdä järkevästi tahdissa. Toki tilanne voi olla erilainen jollain työmaalla, mutta yleisesti voitaisiin kuvitella, että asennukset tehdään yllä kerrotulla tavalla.

Myös sähkötöissä tahtia edeltävät asennukset ovat suuressa roolissa. Jotta huoneeseen voidaan vetää sähköt, pitää kaapelin tulla ensin huoneen puolelle. Tämä vaatii sen, että käytävälle on asennettu hyllyt ja kaapelit on vedetty huoneisiin. Huoneiden kaapeleiden vedot vaikuttavat paljon aikataulullisesti myös rakennustöihin, esimerkiksi väliseinätöihin. Tahdin kannalta nämä asiat pitää muistaa ottaa huomioon, ja voitaisiin sanoa, että sähkön osalta ei joustavuutta löydy tässä asiassa juuri yhtään, toisin kuin putkella ja ilmanvaihdolla, joissa voidaan pakottavassa tarpeessa tehdä alustavia töitä tahdin ohella, mutta niidenkin osalta on hyvin tyypillistä, ettei urakoitsija suostu tekemään töitä näin. Sähköllä ei tämänlainen ole mahdollista juuri yllä mainituiden syiden takia edes teoriassa.

Sähkötöiden aikana tuli myös esille työntekijöiden haluttomuus tehdä erilaisia töitä yhden päivän aikana. Työntekijät kokivat, että jos he joutuvat keskeyttämään yhden työn teon päivän aikana ja aloittamaan toisen, keskeytyy heidän urakkasuorituksensa eikä työ ole enää urakkaa. Ymmärrettävästi tilanne on tämä, kun heille maksetaan siitä, että he saavat jonkin tietyn työn valmiiksi esimerkiksi lattialämmitykset yhdessä kerroksessa. Nyt kun he joutuivat tekemään useita töitä, hidastui heidän palkan saamisensa, sillä urakoitsija ei voinut laskuttaa pääurakoitsijaa valmiista työstä yhtä tehokkaasti. Tämän takia työntekijät vaativat pääurakoitsijalta korvauksia, mikä johti tietenkin erimielisyyksiin urakoitsijoiden kesken. Ongelman ratkaisuksi voitaisiin ehdottaa esimerkiksi maksuerien muokkaamista siten, että urakoitsijalle maksetaan tahdin mukaan eikä työvaiheen valmiusasteen mukaan. Tahdin mukaan maksettaessa maksettaisiin, kun riittävä määrä tahdin tiloja on valmiina, esimerkiksi kun 10 huoneen sähköasennukset ovat valmiit.

Työn tarkoituksena oli tehdä NCC Suomi Oy:lle ohjeistus talotekniikan sovittamisesta tahtiaikatauluun käyttämällä tiedonlähteinä kirjallisuutta, kohdetyömaalla tehtyä tahtiaikatauluja ja sen käyttöä sekä muutamia haastatteluja. Tämän pohjalta voidaan todeta, että tietoa aiheesta on saatu kattavasti ja on syntynyt selkeä näkemys siitä, mitä sisältöä ohjeistukseen pitää saada ja mitä siitä kannattaa jättää pois. Itse ohjeistuksen laa-

timinen oli tästä työtä vain pieni osa, ja se tulee kehittymään myös insinööryön valmistamisen jälkeen. Ohjeistus tullaan tekemään NCC:n omalle Powerpoint-pohjalle, jotta sitä voidaan tarvittaessa käyttää esityksissä ja jotta se säilyy yksinkertaisena ja selkeänä.

Ohjeistuksen teko aloitettiin heti haastatteluiden kirjallisuusosion valmistuttua. Kuten pyydettiin, se pidettiin melko yksinkertaisena ja sisältö tehtiin helppolukuiseksi. Varsinaista ohjeistusta ei tule työhön julkaistavaksi, vaan se tulee vain tilaajan eli NCC:n käyttöön. Ohjeistus tehtiin NCC:n omalle Powerpoint-pohjalle, jotta se voidaan tarvittaessa esitellä muun sisällön ohella ja sen muokkaus on helppoa. Varsinainen ohjeistus tulee kuitenkin jäämään melko suppeaksi, sillä saadun tiedon määrä perustuu vain kohdetyömaahan ja muutamien henkilöiden haastatteluihin. Tärkeää on myös muistaa kohdetyömaasta myös se, että kyseessä on NCC:n ensimmäinen tahtituotannon työmaa ja siellä esiin tulleet ongelmat eivät välttämättä toistu muualla. On hyvinkin mahdollista, että tulevaisuudessa ohjeeseen kirjatut ongelmat eivät ole enää konkreettisia vaan ongelmiksi muodostuvat jotkut aivan toiset asiat. Lisäksi, mikäli NCC lähtee tosissaan yrittämään tahtituotannon käyttöönottoa laajemmin, tulee tarve luoda laaja ohjeistus tahtituotannon käyttöönotosta työmaille. Talotekniikka on kuitenkin vain yksi osa rakentamista, eikä tämäkään ohjeistus kerro kuin vain siitä, mitä talotekniikan osalta pitää muistaa ottaa huomioon aikataulun suunnitteluvaiheessa. Muille osa-alueilla pitäisi luoda omat ohjeistukset, ja sitten nämä kaikki voitaisiin nivota yhteen yhdeksi kattavaksi ohjeeksi. Tämän luomista voisi mielestäni harkita, jos tahtituotantoa lähdetään tosissaan ottamaan käyttöön NCC:llä.

6 Yhteenveto

Talotekniikka eroaa muusta rakentamisesta merkittävästi. Sitä ei juurikaan opeteta kouluissa, ainakaan oman ymmärryksen mukaan, pois lukien muutamat valinnaiset kurssit, ellei suoraan hae opiskelemaan talotekniikkaa. Tästä syystä uudehkot työmaainsinöörit, jotka aloittavat tekemään aikataulua eivät välttämättä osaa ottaa huomioon kaikkia talotekniikan töitä tai osaa tulkita suunnitelmia. Tämä tietämättömyys voi johtaa siihen, että aikatauluja pitää muokata useita kertoja. Ohjeistus pyrittiin siksi tekemään, jotta ainakin tahtituotannon osalta olisi näille insinööreille jokin työkalu, joka muistuttaa ja informoi ratkaisuja syntyneisiin ongelmiin. Ratkaisuna saatettiin esimerkiksi esittää asian selvittämistä NCC:n talotekniikka-asiantuntijalta, joka jokaisella työmaalla pitäisi olla käytettävissä.

Tahtituotanto on tuotannon tyyppinä vaikea, mutta oikein tehtynä erittäin toimiva ja hyvä. Se mihin pyritään, eli työmaan hukan vähentämiseen poistamalla tilan hukkaa, on yksi työmaiden suurimmista hukan aiheuttajista. Tästä kyseisestä syystä on sitä lähdetty kehittämään juuri nyt monella eri työmaalla useissa eri yrityksissä. Joissain on kehitys jo pidemmällä kuin toisissa, mutta voitaisiin silti sanoa, että edelleen ollaan hyvinkin lapsenkengissä tahtituotannon kannalta. Tahtituotannolla on kuitenkin omat ongelman- sa. Se on alun perin suunniteltu käytettäväksi teollisuudessa, jossa arvoa tuottava tekijä ei liiku vaan tuote liikkuu, kun taas työmaalla tuote pysyy paikallaan ja arvoa tuottava tekijä liikkuu. Ongelmina tämä näkyy usein logistiikassa, jos sitä ei ole hoidettu tai ei ole voitu hoitaa kunnolla. Mikäli tuotettava tuote ei liiku, hitaammat työvaiheet aiheuttavat pullonkauloja tekijöille, vaikka yritettäisiinkin mitoittaa työvaiheet samanmittaisiksi. Tämä näkyikin työmaalla, mutta ei talotekniikan osalta, sillä se oli aikataulutettu tahtiin ensimmäiseksi, jolloin työt pääsivät karkuun hitaampia töitä. Jos talotekniikka olisi ollut enemmän keskellä työjärjestystä, olisi varmasti aiheutunut ongelmia sen töiden riittä- mättömyydessä, kun ei voitaisi edetä, miten haluttaisiin.

Työ itsessään oli mielestäni onnistunut ja mielenkiintoinen. Opin paljon lyhyessä ajassa uudesta tavasta aikatauluttaa ja ymmärryksen talotekniikan urakointiin kasvoi merkittävästi. Ohjeistuksesta toivon olevan hyötyä tulevaisuudessa ja uskon, että se tulee kehittymään vielä tulevina vuosina lisää.

Muuten kuin työni osalta havaittiin muutamia asioita, joita NCC:n pitää kehittää, ei pelkästään talotekniikan osalta vaan ylipäätään kaiken osalta, jotta tahtituotannon käyt-

töönottoa voitaisiin suuremmassa mittakaavassa toteuttaa. Suurimmaksi ongelmaksi muodostuivat urakkasopimukset ja niiden liitteet, kuten urakkarajaliitteet ja maksuerätaulukot. NCC:llä käytössä olevat nykyiset sopimus pohjat eivät kovinkaan hyvin sovellu tahtituotannolle, sillä ne kaikki perustuvat normaaliin yksikköhintaiseen urakkamaiseen työhön tai tuntityöhön. Liitteistä taas ehkä oleellisimpana pitäisin maksuerien uudelleen suunnittelua, jotta se tukisi tahtituotantoa sen osalta, miten urakoitsijalle maksetaan työstä. Tätä pidän itse suurimpana ongelmana tällä hetkellä, sillä se rajoittaa hyvinkin paljon urakoitsijoiden määrää, sillä urakoita ei vain saada myytyä eteenpäin, kun urakoitsija ei koe sitä itselleen kannattavaksi. Koen, että NCC:n pitäisi panostaa tähän tekemiseen ensimmäisenä, mikäli se aikoo toteuttaa tahtituotannolla tulevaisuudessa projektejaan enemmän. Toinen asia, johon pitäisi panostaa on itse tahtiaikataulun teon ohjaukseen ja sen ohjelmistoihin. Tällä hetkellä tahtiaikataulun tekoon ei ole mitään varsinaista ohjelmaa, vaan kaikki tehdään Excelillä. Voisi olla hyvä, jos suunniteltaisiin uusi ohjelma, jonka avulla tahtiaikataulun teko ja sen muokkaus olisi nopeampaa ja kivuttomampaa. Lisäksi jos tämänlainen ohjelma saadaan aikaiseksi ja tahtituotanto yleistyy NCC:llä, tulee varmasti tarve tehdä kattavampi ohje, jotta aikatauluista saadaan käyttökelpoisia.

Lähteet

Bajjou, Mohammed & Chafi, Anas. 2018. The potential effectiveness of lean construction principles in reducing construction process waste: an input-output model. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*. s. 4141–4160.

Forsberg, Azam & Saukkoriipi, Lasse. 2007. Measurement of waste and productivity in relation to lean thinking. In *Annual Conference of international Group for Lean Construction*. s. 67–76.

Haanperä, Viktor; Hult, Kimmo & Hevonoja, Ari. 2020. Työnjohtaja, Quattroservices Oy, Helsinki. Ryhmähaastattelu. 05.02.2020.

Haapasalo, Harri & Malvalehto, Jukka. 2012. Arvovirtakuvaus työkaluna rakennusteollisuuden tuotannon kehittämisessä. *Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy, Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry*.

Haghsheno, Shervin; Binninger, Marco; Dlouhy, Janosch & Sterlike, Simon. 2016. History and theoretical foundations of takt planning and takt control. *Proc. 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. s. 53–62.

Heinonen, Alekski & Seppänen, Olli. 2016. Takt time planning in cruise ship cabin refurbishment: Lessons for lean construction. *IGLC 2016 - 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.s. 23–32.

Koskela, Lauri; Ballard, Glenn; Howell, Greg & Tommelein, Iris. 2002. The foundations of lean construction - Chapter 14. *Teoksessa Design and Construction: Building in Value*. s. 211–226.

Tahtiaikatuoanto. 2015. Verkkoaineisto. Lean Construction Institute. <http://lci.fi/blog/menetelmakortti/tahtiaikatuoanto/>. Luettu 05.02.2020

Lehtovaara, Joonas; Seppänen, Olli & Heinonen, Alekski. 2019. Building 2030 -Tahti suunnittelussa ja tuotannossa loppuraportti. Aalto-yliopisto, Insinöritieteiden korkeakoulu. Luettu 26.1.2020.

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 25.01.2020.

Mölsä, Seppo. 2019. Suomen parhailla työmailla lean on kirosana - silti se saa ihmiset hymyilemään ja työs sujumaan. Verkkoaineisto. *Rakennuslehti*. <https://www.rakennuslehti.fi/2019/10/suomen-parhailla-tyomaila-lean-on-kirosana-silti-se-saa-ihmiset-hymyilemaan-ja-tyot-sujumaan>. 25.10.2019. Luettu 25.1.2020.

Mölsä, Seppo. 2019. Onko tahtituotanto työmaalle riski? - 25 mestarin kokemukset kertovat joustavuudesta ja laadun paranemisesta. Verkkoaineisto. Rakennuslehti. <<https://www.rakennuslehti.fi/2019/11/onko-tahtituotanto-joustamaton-riskikokeilu-building-2030-testasi-asian-pilottiprojekteissa/>>. 07.11.2019. Luettu 26.1.2020.

Modig, Niklas & Åhlström, Pär. 2013. Tätä on Lean. Tukholma: Rheologia publishing.

Nykänen, Tuomas. 2020. Aikatauluinsinööri, NCC Suomi Oy, Helsinki. Haastattelu. 27.2.2020.

Raki, Joni. 2020. Talotekniikka-asiantuntija, NCC Suomi Oy, Helsinki. Haastattelu. 12.02.2020.

Seppänen, Olli. 2014. A comparison of takt time and LBMS planning methods. In Proc. 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, s. 727–738. Oslo, Norway.

Womack, James; Jones, Daniel & Roos, Daniel. 1990. The machine that changed the world. New York, London, Toronto, Sydney. Free Press.

Ohjeistus talotekniikan sovittamisesta työmaan tahtiaikatauluun

Liite salattu NCC Suomi Oy:n pyynnöstä.