



Jori Kankaanpää

Talotekniikka tahtituotannossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

21.5.2025

Tiivistelmä

Tekijä:	Jori Kankaanpää
Otsikko:	Talotekniikka tahtituotannossa
Sivumäärä:	33 sivua + 1 liite
Aika:	21.5.2025
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI-urakointi
Ohjaajat:	Lehtori Markku Leino Projektipäällikkö Matias Nousiainen

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia talotekniikan osuutta ja erityisesti putkiurakoitsijan roolia tahtituotannolla toimivassa hankkeessa. Aiheen tutkimiseen käytettiin erilaisia oppaita ja kirjoituksia, jotka käsittelevät tahtituotantoa sekä tutkittiin tapausesimerkkiä tahtituotantotyömaalta.

Työn toimeksiantajana toimi Quattroservices Oy, joka on mukana eri tahtituotantohankkeissa. Tahtituotanto on lean-periaatteella toimiva menetelmä rakentamisessa, joka pyrkii lyhentämään rakentamisaikaa ja poistamaan turhan toiminnan rakentamisesta. LVI-urakoitsijalta edellytetään tällaisessa hankkeessa tarkkaa ja jatkuvaa suunnittelua, aikataulutusta, työnohjausta sekä tehokasta yhteistyötä muiden sidosryhmien kanssa.

Työssä selvitettiin, mitä hyötyjä tahtituotanto tuo LVI-järjestelmien tehokkaaseen tuottamiseen hankkeessa, resursoinnin edistyksellistä käyttöä sekä hankkeen jouhevaa etenemistä.

Opinnäytetyössä koottiin yhteen tietoa siitä, mitä LVI-urakoitsijan toimiminen tahtituotantohankkeessa vaatii, ja arvioitiin sen vaikutuksia tuotannossa onnistumiseen. Lisäksi opinnäytetyössä laadittiin erillinen ohje, jota tahtituotannossa mukana oleva putkiurakoitsija voi noudattaa.

Avainsanat: LVI, tahtituotanto, laadunhallinta, lean-rakentaminen

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Jori Kankaanpää
Title: Takt Time Production in Building Services Engineering
Number of Pages: 33 pages + 1 appendix
Date: 21 May 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Contracting
Supervisors: Markku Leino, Senior Lecturer
Matias Nousiainen, Project Manager

The aim of the final year project was to compile information about building services engineering in takt time production. The focus was on the role of an HVAC contractor in takt time production, as the commissioning company was a building services contractor currently participating in various takt time production projects.

Information for this thesis was collected from various guides and articles related to the topic. They defined takt time production as a lean-based construction process aimed at reducing construction time and remove useless working. The thesis saw the role of HVAC contractor as one requiring accurate and constant planning, scheduling and efficient collaboration with other stakeholders. The benefits of takt time production for the efficient production of HVAC systems, the advanced utilization of resources and the smooth progression of the takt time production project were discussed in the thesis.

This thesis evaluated the role of an HVAC contractor for the success of a project. The result of the thesis was a comprehensive overview of the role of HVAC contractors in a takt time production project. The thesis is used to create a guide for the participation in takt time production for the commissioning company.

Keywords: HVAC, takt time production, quality control, Lean construction

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yritys	2
3	Tahtituotanto	3
3.1	Tahtituotannon idea	3
3.2	Tahtituotannon periaatteet ja tavoitteet	4
3.3	Tahtituotannon hyödyt	5
3.4	Tahtituotannon haasteet	5
3.5	Tahtiaika	5
3.6	Tahtivaunu	6
3.7	Tahtialue	7
3.8	Työkalut tahtituotannon ylläpitoon	7
3.8.1	Tahdin seurantaohjelmisto	8
3.8.2	Laadunhallinta Congridissa	11
4	Talotekniikan rooli tahtituotannossa	13
4.1	LVI-järjestelmät tahtituotannossa	13
4.2	Esivalmistus ja sen merkitys	14
4.3	Logistiikan ja varastoinnin vaikutus LVI-asennuksiin	15
4.3.1	Logistiikan merkitys	15
4.3.2	Väliavarastointi	17
5	Putkiurakoitsija tahtituotannossa	18
5.1	Rooli ja vastuut	18
5.2	Haasteet ja mahdollisuudet	18
5.3	Yhteensovituksen tärkeys työryhmien kesken	19
6	Tapausesimerkki tahtituotannosta	22
6.1	Projektin tausta	22
6.2	Toteutus	22
6.3	Haasteet	23
6.4	Lopputulokset ja johtopäätökset	27

7	Pohdinta ja kehitys	29
8	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

Liite 1: Ohje putkiurakoitsijalle tahtituotannossa toimimiseen (salattu)

Lyhenteet

Tate: Talotekniikka

QS: Quattroservices Oy

QMG: Quattro Mikenti Group Oy

1 Johdanto

Rakennusalalla keskiössä tänä päivänä ovat tehokkuus ja tuottavuus. Tahtituotanto on lean-menetelmällä toimiva rakentamisen tuotantotapa, jolla pyritään vähentämään rakennusaikaa huomattavasti, välttämään turhaa hukkaa työvaiheiden välillä sekä parantamaan rakentamisen eri osapuolten tuotantoprosessien ennustettavuutta. Tahtituotannon soveltaminen talotekniikassa erityisesti LVI-urakoinnissa antaa runsaasti mahdollisuuksia mutta tuo myös mukanaan haasteita, joita tässä opinnäytetyössä tarkastellaan. [12.]

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää ja tarkastella erilaisia toimintatapoja, joiden mukaan Quattroservices Oy:n toiminta olisi mahdollisimman kustannustehokasta ja sujuvaa tahtituotannossa niin yrityksen itsensä kuin tilaajankin näkökulmasta. Erityisen tarkastelun kohteena ovat LVI-järjestelmien asennukset, niihin vaikuttavat logistiset ratkaisut, tarkka aikataulutus ja sen hallinta sekä yhteistyö pääurakoitsijan ja muiden sidosryhmien kanssa.

Työ on rajattu käsittelemään tahtituotannon soveltamista, ja siinä keskitytään LVI-urakointiin. Työ pohjautuu tahtituotantoa käsittelevään kirjallisuuteen sekä esimerkkinä yhteen esimerkkitapaukseen, joka pohjautuu tällä hetkellä käynnissä olevaan tahtituotantohankkeeseen, missä tilaajayritys on mukana. Työn tarkoituksena on laatia ohje, joka antaa käsityksen talotekniikkayrityksen työntekijöille, kuinka tahtituotannossa toimitaan oikeaoppisesti. Quattroservices Oy voi noudattaa ohjetta ja myös jatkossa kehittää toimivammaksi ollessaan mukana tahtituotantohankkeessa tai sellaiseen ryhtyessään.

2 Yritys

Opinnäytetyön aiheen antoi Quattroservices Oy (QS), joka kuuluu Quattro Mikenti Group -konserniin (QMG). QS toimii Uudellamaalla ja Kanta-Hämeessä 170 ammattilaisen voimin ja on mukana niin uudisrakentamisessa kuin saneeraushankkeissakin. Lukuisissa hankkeissa mukana ollut QS on tällä hetkellä mukana rakentamassa Laakson Yhteissairaalaa Helsingissä sekä uudistamassa Jorvin sairaalaa Espoossa. Sairaalarakentamisesta on kokemusta myös Naistenklinikan uudistuksesta sekä Ahveniston sairaalan rakentamisesta Hämeenlinnassa. [1.]

Nykypäivän QMG on Suomen johtavia talotekniikka-alan yrityksiä ja se kuuluu pohjoismaiseen Nimlas Group -konserniin. Yhtiö hakee jatkuvaa kasvua yritysostoilla ja siihen kuuluu lähes 50 yritystä, jotka tarjoavat palveluita talotekniikka-projekteihin, -urakointiin sekä huoltopalveluita kaikkien talotekniikkalajien pariin ja muodostavat näin laajan talotekniikka-alan verkoston työllistäen 1500 alan ammattilaista ympäri maata. [1.]

3 Tahtituotanto

3.1 Tahtituotannon idea

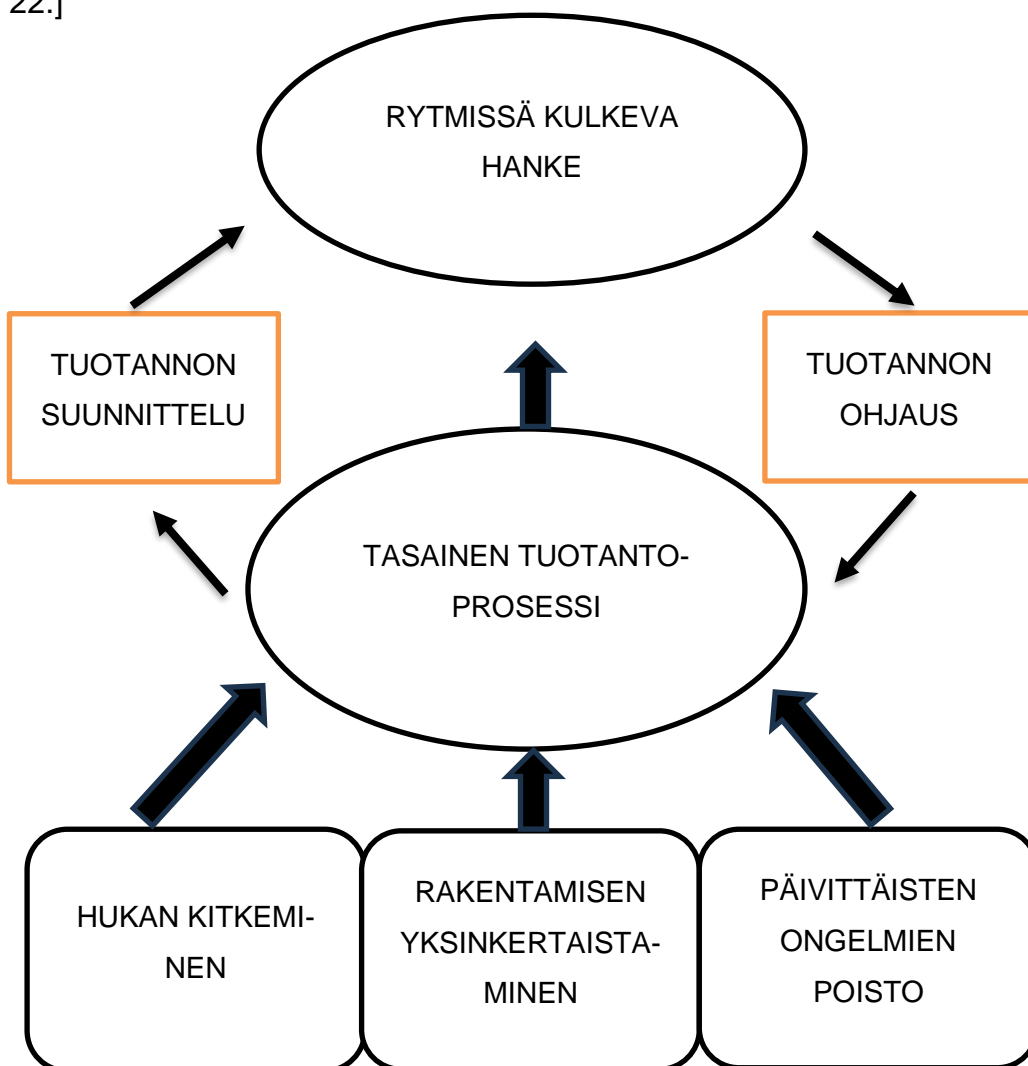
Tahtituotanto on tavallista aikataulutusta suurempi kokonaisuus. Rakennushankkeiden lean-johtamismenetelmä pohjautuu hankkeelle määriteltyihin tavoitteisiin ottaen kantaa aina työmaatoiminnasta hankkeen erilaisiin kokonaisuuksiin, kuten logistiikkaan ja suunnitteluun (kuva 1). Tahtituotanto koskettaa hankkeen kaikkia osapuolia ja vaatii laajaa sitoutumista jokaiselta, jotta tuotannon eri tehtävät voidaan viedä laadukkaasti maaliin saakka loppukäyttäjälle. [2, s. 7.]



Kuva 1. Lean-johtamisen periaatteet ja tahtituotannon päivittäinen kulku kuvitettuna [12].

3.2 Tahtituotannon periaatteet ja tavoitteet

Tahtituotannon keskeisiin periaatteisiin kuuluu tuotannon rytmin ja virtauksen jatkuva parantaminen rytmittämällä tuotannon suunnittelua ja ohjausta läpi koko hankkeen (kuva 2). Tarkoituksena on pitää tuotanto tasaisena kaikkien osapuolten kohdalla ja ennakoida mahdolliset muutokset ja kohdistaa työt oikeaan aikaan oikeaan paikkaan. Suurimpiin tavoitteisiin lukeutuu hankkeiden kestosta löysän eli turhan ajan pois kitkeminen, rakentamisen yksinkertaistaminen sekä mahdollisten ongelmakohtien tiedostaminen ja niiden eliminoiminen pois. [2, s. 22.]



Kuva 2. Rytmiiä ja virtausta parantavan tahtituotannon periaatteet kaaviomaisesti esitettynä.

3.3 Tahtituotannon hyödyt

Tahtituotanto antaa lukuisia erilaisia hyötyjä rakennushankkeille ja niiden parissa toimiville eri osapuolille. Työtä on helpompi suorittaa tasaisemmin, ja on ennakoitava tulevia työvaiheita, minkä ansiosta mahdolliset ongelmat voidaan havaita ja korjata hyvissä ajoin eikä vasta silloin, kun niitä aletaan työstämään. Tämä tukee eri osapuolten keskinäistä kommunikaatiota ja parantaa näin ollen lopputulosta. Tahtituotantomallissa yleensä saadaan keskeneräinen ja viimeistelemätön työ karsittua pois. Tietysti joskus työvaiheista jää jotain oleellista suorittamatta, jonka takia jää niin sanottuja ”häntiä”, jotka pitää saada aikataulutettua ja sovittua suoritettaviksi, vaikuttamatta muiden osapuolten töiden tahtiin. Näillä toimintatavoilla saadaan ylläpidettyä jatkuvuutta ja parannetaan laatua tahtituotannossa. [2, s. 10–28.]

3.4 Tahtituotannon haasteet

Useimmiten tahtituotannossa törmätään ongelmaan, jossa eri työvaiheet eivät etene suunnitellun tahdin mukaisesti, jolloin syntyy häiriökohtia tuotantoprosessiin. Kun osapuolten omat tahdit eivät etene suunnitellusti, se aiheuttaa viivästyksiä muihin työvaiheisiin välittömästi ja tuotannon tehokkuus heikkenee. Pahimmassa tapauksessa vastaavat ongelmat alkavat kasaantua, jos tilannekuva on epäselkeä osapuolten välillä, ja havaitut ongelmat ovat tällöin vaikeampi korjata. [2, s. 20.]

Yhteistyön ja yhteensovituksen merkitys sidosryhmien välillä on äärimmäisen tärkeässä roolissa, jotta kaikki pysyvät tahdissa ja tuotanto pysyy tehokkaana. Aina on tärkeää se, että ei riitä, jos yksi pysyy tahdissa, vaan kaikkien on onnistuttava siinä samanaikaisesti. [2, s. 20.]

3.5 Tahtiaika

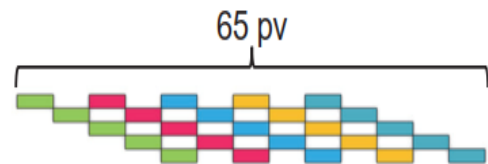
Tahtiaika kuvaa aikaa, jossa tietty työsuorite on tehtävä noudattaen hankkeelle luotua rytmiä, jotta päästään suunniteltuun lopputulokseen. Tahtiajan päätyttyä

laadullisesti valmis työvaihe, esimerkiksi yksittäinen kylpyhuone luovutetaan seuraavalle tekijälle, ja siirrytään itse seuraavaan työvaiheeseen. Kuvassa 3 on havainnollistettu tahtiaika, joka on yleensä päivän tai kahden pituinen, riippuen työvaiheen laajuudesta. [2, s. 10.]

Perinteinen tuotanto

- ✓ tahtialue 5 asuntoa
- ✓ tahtivaunussa 1 tehtävä
- ✓ tahtiaika 5 päivää
- ✓ 5 päivän puskuri työtehtävien välillä

Läpimenoaika = $(5 + 5 - 1) \times 5 + 20 = 65$ päivää



Kuva 3. Tahtiaika kuvattuna tässä esimerkissä kullekin työtehtävälle viiden päivän pituiseksi [2, s. 18].

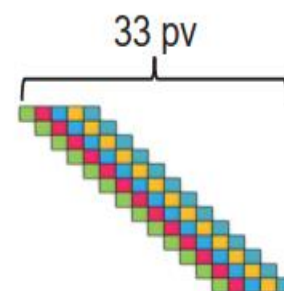
3.6 Tahtivaunu

Tahtivaunu on kokonaisuus sijoitettuna tahtiaikatauluun (kuva 4), jossa eri tekniikoiden työryhmät suorittavat osuutensa tietyillä tahtialueilla yhden tahtiajan aikana. Tahtivaunun tehtävä on tuottaa arvoa prosessille hankkeessa. [2, s. 10.]

Tahtituotanto keskisuurella eräkoolla

- ✓ tahtialue 2,5 asuntoa
- ✓ tahtivaunussa 1 tehtävä
- ✓ tahtiaika 2 päivää
- ✓ ei aikapuskuria tehtävien välillä

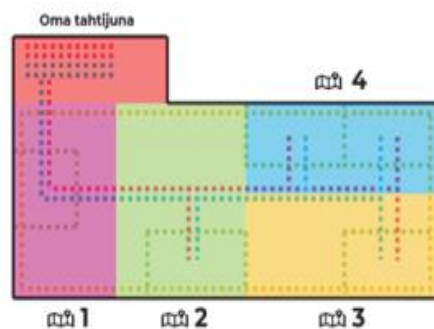
Läpimenoaika = $(12.5 + 5 - 1) \times 2 + 0 = 33$ päivää
(-49% alkuperäisestä)



Kuva 4. Ote tahtiaikataulusta, jossa on kuvattuna tahtivaunujen kulku aikataulussa, jossa toistuu yksi työvaihe päivää kohti [2, s. 18].

3.7 Tahtialue

Tahtituotannossa työt on jaettu suoritettavaksi kunkin työryhmän osalta tahtialueille. Tahtialue on sijainti, jossa tietty työ suoritetaan. Tahtialueisiin jako mahdollistaa hankkeelle virtauksenomaisen luonteen. Riippuen työvaiheiden suuruudesta, tahtialueet suunnitellaan yleensä niiden mukaan sopivan kokoisiksi, ettei työmäärät paisu liian suuriksi. Kuvassa 5 on ote tahtikartasta, joka on jaettu tahtialueisiin. [2, s. 15–17.]



Kuva 5. Ote tahtikartasta, jossa kerros on jaettu tahtialueisiin, jossa työt tehdään, selkeyttäen työvaiheita [2, s. 38].

3.8 Työkalut tahtituotannon ylläpitoon

Rakennusalalla tahtituotantoa täytyy seurata ja mitata tehokkaasti, mikä edellyttää usein erilaisia työkaluja ja seurantamenetelmiä, jotka tukevat tätä tuotantotapaa. Eri johtamismenetelmiä varten työmaalla päivittäisessä käytössä on erilaisia seinätauluja, joissa on värikoodattuja tahti- ja aluekarttoja helpottamaan ruohonjuuritasolla työvaiheiden etenemisen seuraamista sekä mahdollisten yhteensovitusongelmien ratkaisua. Tänä päivänä kuitenkin suuressa roolissa ovat digitaaliset tahtituotannon seuranta- ja mittaustyökalut, jotka helpottavat suuren hankkeen edetessä kokonais kuvan hahmottamista. Työkaluista nähdään missä mennään, projektin hallinta tehostuu ja resursseja pystytään käyttämään tehokkaammin sekä aikatauluttamaan tulevaa. [3.]

3.8.1 Tahdin seurantaohjelmisto

Perinteisistä janakaavioista ja Excel-aikatauluista modernisoidumpi ja jalostetumpi versio on tahtituotannon seuranta- ja ylläpito-ohjelmisto TAKT.ing. Sakslaisien kehittämä ohjelmisto tarjoaa modernin käyttöjärjestelmän tahtituotannon tehokkaaseen suunnitteluun, ohjaukseen ja seuraamiseen ja onkin tämän päivän moderniin rakentamiseen sopiva ratkaisu. [15.]

Tahdin seurannassa putkiurakoitsijan noikkahenkilö tai projektinhoitaja voi merkitä tahtiaikatauluun (kuva 6) työvaiheiden ajankohtaisen tilanteen. Symbolit selkeyttävät tahdin lukemista, ja tarvittaessa itselle kuulumattomat työt voi suodattaa pois. Työmaalla kierretään päivittäin suorittamassa laadunhallintaa, ja ohjelmaan voidaan merkitä töiden tilanne aina aloituksesta häiriötekijöiden tai työn esteiden kautta valmiiksi -tilaan. Ohjelma antaa myös mahdollisuuksia resursien suunnitteluun, laskien normituntien määrän resurssimäärän perusteella, mitä työpaketissa tullaan tarvitsemaan. Kirjauksiin voi lisäksi merkitä, mitä vaaditaan esimerkiksi logistiikalta, kuten tarvikkeiden haalaus, jotta työt voidaan suorittaa (kuva 7). [16.]



Kuva 6. Kuvaote TAKT.ingin aikataulunäkymästä, jossa on esitetty symboleittain eri työryhmien tahdin kulku [16].

V5 Vesijohtojen vaakarungot
K2TU

Valmius Käynnissä Tehty Tarkastettu Suljettu Häiriö

LOGISTIIKKA.tehtävät	0/1
SUUNNITTELU.tehtävät	0/2
TYÖ.tehtävät	0/2
LAATU.tehtävät	0/0
VIRHEET JA PUUTTEET	0/0
LUOVUTUS.tehtävät	0/0
MATERIAALIT	0/0
KALUSTO	0/0

Työn kesto >

Toteutuma

Resurssit: 0 M Σ Kesto, yht.: 0 h

Suunniteltu

Resurssit: 2 M Kesto: 20.5 h

Lisäosat

Kuva 7. Työpakettin avattu sisältönäkymä, jossa näkyy ajankohtainen valmiustilanne sekä mm. tehtävät ja mahdolliset puutteet, jotka estävät tehtävän valmistumisen [16].

3.8.2 Laadunhallinta Congridissa

Rakennushankkeessa, erityisesti tahtituotannossa, jossa työt etenevät kovaa vauhtia, on laadunvarmistus nykyaikaisesti dokumentoimalla tärkeä osa toteutettavaa työtä. Laadunvarmistus on tärkeä osa LVI-asennuksia, kun esimerkiksi paljon tekniikkaa rakennetaan piiloon jääviin paikkoihin, kuten seinien sisälle, alakattojen yläpuolelle tai lattiavalun alle. Tahtituotannossa tämän kaltaiset vaiheet toistuvat lähes päivittäin, joten dokumentointi hyvissä ajoin ennen seuraavia työvaiheita (kuva 9) kuuluu päivittäisiin työtehtäviin, ja siksi on tärkeää suorittaa laadunhallintadokumentointia aina hankkeen alusta loppuun asti. [9.]

Yleisimpiin laadunvarmistustyökaluihin rakennusalalla kuuluu digitaalinen sovellus Congrid, jota monet rakennuttajat Suomessa suosivat. Sinne kerätään dokumentaatiota työmaan tapahtumista ja sinne voi yksilöidysti tehdä tarkastuksia ja havaintoja liittyen tiettyihin olennaisiin aiheisiin asennuksessa ja niiden oikeellisuuteen (kuva 8). Sovellus on luotu kaikkien hankkeessa työskentelevien käytettäväksi aina asentajasta valvojaan, mikä helpottaa työn laaduntarkastelua sekä turvallisuudenhallintaa. [9.]

Pvm.	Työvaihe / Tarkastus	Alue	
[REDACTED]	Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät / Malliasennuskatselmus	[REDACTED]	Jori Kankaanpää
Hyväksyjät		Osallistujat	
[REDACTED]		[REDACTED]	
Status	Kuvaus		
<input type="radio"/>	1. Konvektorin oikea korko lattiapinnasta		
<input type="radio"/>	2. Putkikytkennät		
<input type="radio"/>	3. Kannakointi		
<input type="radio"/>	4. Eristykset		

Kuva 8. Congrid-dokumentti lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien malliasennuskatselmuksen pöytäkirjasta [10].



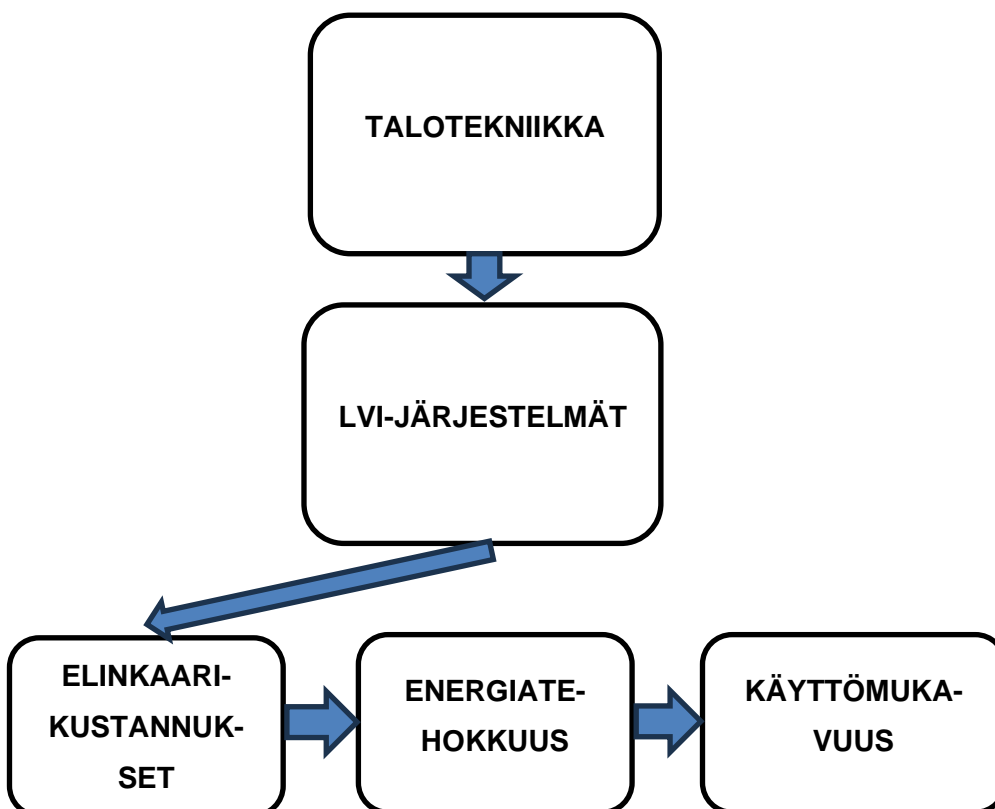
Kuva 9. Congrid-dokumentti lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän piiloon jäävistä putkiasennuksista omassa tarkastuspositiossaan [10].

4 Talotekniikan rooli tahtituotannossa

4.1 LVI-järjestelmät tahtituotannossa

Talotekniikan osalta LVI-järjestelmät ovat suuressa, elleivät jopa tärkeimmässä roolissa rakennusalalla, tuotantotavasta riippumatta. Talotekniikka vaatii toistuvasti hyvin tarkkaa aikataulutusta, suunnittelua ja sen ohjausta sekä jatkuvaa asennusvalvontaa, jotta järjestelmät saadaan laadukkaasti toteutettua. Kehitettävää talotekniikan kohdalla kuitenkin löytyy runsaasti, sillä talotekniikka tuntuu jäävän muiden osapuolten töiden ja työvaiheiden pimentoon rakennushankkeissa, vaikka sen rooli ja kustannukset ovat hankkeiden määräävimpiä tekijöitä. [4.]

Suuren roolinsa mukana tuomia vastuita ovat rakennuksen käyttömukavuus loppukäyttäjälle, elinkaarikustannukset sekä vihreän siirtymän mukana tuoma energiatehokkuus (kuva 10), joita LVI-järjestelmiltä vaaditaan entistäkin tarkemmin tämän päivän rakentamisessa. [5.]



Kuva 10. Rakennuksen talotekniikan osalta LVI-järjestelmien tärkeimmät vaikutuskohteet. [5]

4.2 Esivalmistus ja sen merkitys

Talotekniikan esivalmistuksella tarkoitetaan ennalta valmistettuja taloteknisiä ratkaisuja, kuten putkistoja, kanavia tai niistä kaikista koostuvia tekniikkamoduuleita (kuva 6). Niiden tarkoitus on vähentää asennusaikaa ja mahdollisia muutoksia paikan päällä työmaalla. [6.]



Kuva 11. Kylpyhuonemoduuli, johon on asennettu kalusteet ja muu tekniikka tehdasoloissa etukäteen [11, s. 4].

LVI-järjestelmien esivalmistus tuo mukanaan paljon mahdollisuuksia, mutta esivalmistus vaatii jo suunnitteluvaiheessa tilaajan, arkkitehdin, suunnittelijoiden ja

rakentajan välillä tiivistä sitoutumista ja yhteistyötä. Visio 2030 -hankkeen tutkimuksen mukaan esivalmistuksella saadaan poistettua hukkaa työvaiheiden pituuksista sekä nopeutettua rakentamisaikaa työturvallisuus ja laatu edellä. Esivalmistuksen hyöty piilee siinä, että varsinaiseen asennustyöhön niin suuremmissa, kuin pienemmässäkin hankkeessa käytetään yllättävän lyhyt aika verrattuna siihen, kuinka paljon aikaa käytetään asennusmateriaalien siirtelyyn, asennustarvikkeiden ja alueen valmisteluun, jossa työ on tarkoitus tehdä. [6.]

Esivalmistuksen toimivuuteen vaikuttaa pääosin kaikilta osin onnistunut suunnittelu. Mikäli suunnitelmissa on paljon risteilyitä tekniikoiden välillä, mikä on arkipäivää etenkin suurissa kohteissa, aiheuttaa se esivalmistettuihin materiaaleihin muutoksia, jotka on tehtävä paikan päällä. Tämä vie suurimman osan esivalmistuksen taloudellisesta ja ajallisesta hyödystä. [7.]

4.3 Logistiikan ja varastoinnin vaikutus LVI-asennuksiin

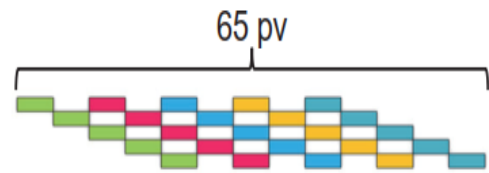
4.3.1 Logistiikan merkitys

LVI-asennuksien onnistumiseen vaaditaan monia eri tekijöitä, joista tahtituotannossa toimiva logistiikka on merkittävä tekijä. Tavarantoimitukseen rakennukselle suunnitelluille tahtialueille (kuva 13) vaikuttaa jo LVI-järjestelmien suunnitteluvaihe, jossa täytyy hyvissä ajoin osata lyödä lukkoon, millaisia komponentteja järjestelmät tulevat tahtivaunun aikana vaatimaan (kuva 12), jotta urakoitsija osaa tilata tarvikkeet tavarantoimittajilta hyvissä ajoin. [2, s. 44; 8.]

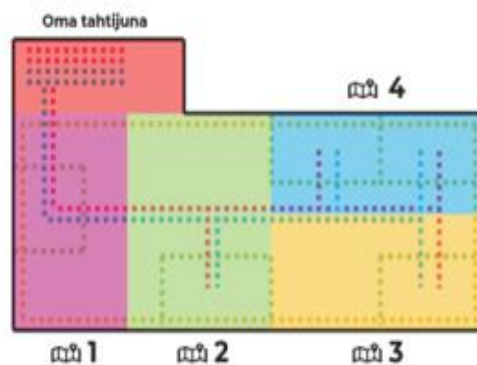
Perinteinen tuotanto

- ✓ tahtialue 5 asuntoa
- ✓ tahtivaunussa 1 tehtävä
- ✓ tahtiaika 5 päivää
- ✓ 5 päivän puskuri työtehtävien välillä

Läpimenoaika = $(5 + 5 - 1) \times 5 + 20 = 65$ päivää



Kuva 12. Kullekin tahtivaunun tehtävälle tilataan tarvittavat materiaalit, joilla vaunun työt saadaan tehtyä [2, s. 18].



Kuva 13. Jokaisella tahtialueella työskentelee määrätty osapuolekerrallaan. Tavaratoimitukset suunnitellaan toimitettavaksi edellisenä päivänä, usein yhdelle alueelle kerrallaan, josta työ siirtyy seuraavalle alueelle, minkä jälkeen seuraavalle alueelle tulee uusi toimitus. [2, s. 38.]

Tahtituotannossa ideana on, että materiaalit toimitetaan logistiikkaurakoitsijan kautta rajatusti aina tietyille tahtialueille tiettyinä ajankohtina, missä tietyt asennustahdit kulkevat, jotta vältetään työmaan tukkimiselta. Pahimmillaan muiden osapuolten töille aiheutuu haittaa ja tahdit voivat viivästyä tämän takia. Tietysti muutokset ovat mahdollisia, jos suunniteltujen tahtien työt viivästyvät, ja tavarat ovat jo toimitettu aikataulun mukaisesti työmaalle. Näissä tapauksissa vaaditaan sidosryhmien välistä yhteensovitusta niin, etteivät materiaalit ole muiden esteenä. Pahimmassa tapauksessa tavaraa joudutaan ajoittain palauttamaan

takaisin toimittajalle tai varastoon, mikäli työmaalla kommunikointi ei toimi urakoitsijoiden kesken eikä ongelmia pystytä ehkäisemään ajoissa. [8, 4.]

4.3.2 Välivarastointi

Suurissa hankkeissa, erityisesti tahtituotannossa on urakoitsijoilla monesti käytössä työmaahan sidoksissa oleva välivarasto. Sinne varastoidaan lähtökohtaisesti kaikenlaiset asennettavat komponentit, jotka toistuvat tietyillä tahtialueilla, eikä niiden asennettavuuteen ole tulossa todennäköisiä suunnitelmamuutoksia, jotka muuttaisivat niiden asennusta tai ajankohtaa. [2, s. 44; 8.]

Mikäli joitain merkittäviä materiaaleja on tilattu liian vähän tai vääränä ajankohdaksi, on tähän avainratkaisu juuri välivarasto. Se helpottaa materiaalivirran hallintaa molempiin suuntiin ja sopii tahtituotannon virtaukseen sekä säästää logistiikkakuluja merkittävästi. [2, s. 44; 8.]

5 Putkiurakoitsija tahtituotannossa

5.1 Rooli ja vastuut

Putkiurakoitsijalle kuuluu merkittävä ja aikaa vievä osuus työtä koko rakennushankkeen aikana, ja talotekniikka on näin ollen yksi suurimmista osapuolista. LVI-järjestelmät vaikuttavat rakennuksen energiatehokkuuteen ja loppukäyttäjän käyttömukavuuteen suurilta osin. [5.]

Putkiurakoitsijan asennukset ovat merkittävästi kytköksissä seuraaviin työvaiheisiin, kuten lattioiden valamiseen sekä seinien ja kattojen ummistamiseen, sillä suurin osa talotekniikasta rakennetaan piiloon tai viedään elementtien läpi. Laadullisesti valmiin työn saavuttamiseksi vaaditaan paljon huolellista laadunvarmistusta ja ammattitaitoista asennusta säädöksien määrittelemällä tavalla. [14, s. 4.]

5.2 Haasteet ja mahdollisuudet

Lähtökohtaisesti tahtituotanto antaa samanlaisia mahdollisuuksia kaikille hankkeella työskenteleville, osapuolista riippumatta. Tuotannon tavoite on pilkkoa työryhmien suoritettavat työvaiheet selkeästi pieniin työpaketteihin, joita on mahdollista suorittaa ilman häiriöitä ja pysyä tasapainossa jatkuvasti. [13, s. 2.]

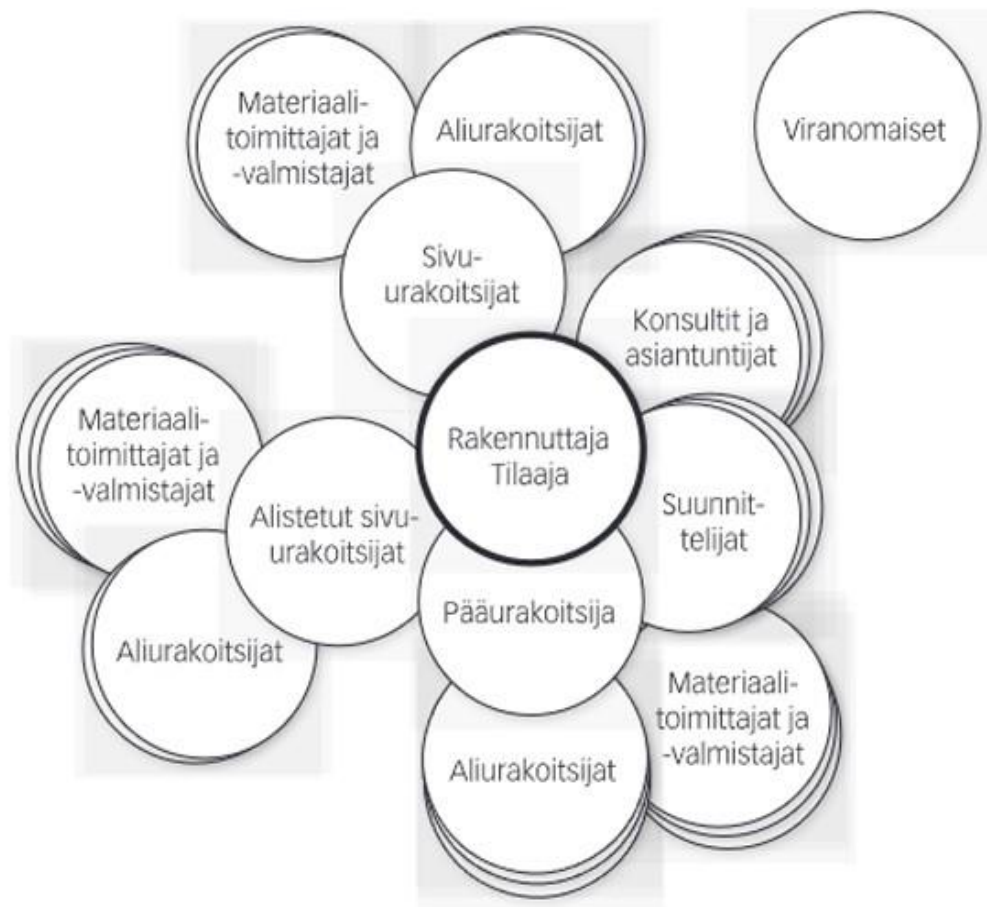
Urakoitsijoille on tarkoitus teroittaa, että päivittäisistä rutiineista viikkotasolle asti olisi selkeää toimia tiettyjen tahtiaikojen mukaan, jolloin työvaiheet etenevät suunnitellusti. Liikkuvina osina tässä toimivat urakoitsijan resursointi, työvaiheiden sisältämät työt ja tahtialueet, joissa työ tehdään. Näitä ennakkoon suunnitteleamalla ja rutiininomaisella työskentelytavalla LVI-järjestelmien tuotanto on helppoa toteuttaa putkiurakoitsijalle. [13, s. 2.]

Mikäli selkeää rutiinia voidaan noudattaa eivätkä työvaiheet vaihtele liikaa, on putkiurakoitsijan melko selkeää tehdä urakkasopimuksia asennusryhmille ja näin ollen motivoida omia tekijöitään, ja samalla tuotannon virtausta ylläpidetään. Putkiurakoitsijalle kuuluvat käyttövesi- ja viemärijärjestelmät on helppo

pilkkoa osiin, joita ovat esimerkiksi runkotyöt, kerroshajotukset, seinien sisäinen tekniikka ja lopulta vesikalustus. Tahtituotannon toimiessa suunnitellusti urakoitsijan on helppoa organisoida työ asentajille ja edistää laadukasta tuotantoa. Tahtituotannon varjopuoli putkiurakoitsijalle kuitenkin on se, että se ei kestä juurikaan yllättäviä resurssipuutteita tai muita tuotannon häiriöitä, jotka voivat olla ulkoisista tekijöistä johtuvia. Suuremmat häiriöt ja esteet tuotannossa kuitenkin vaarantavat yleensä koko tuotannon kulun mutta myös asentajaryhmien menestyksekkään urakan. [13, s. 2.]

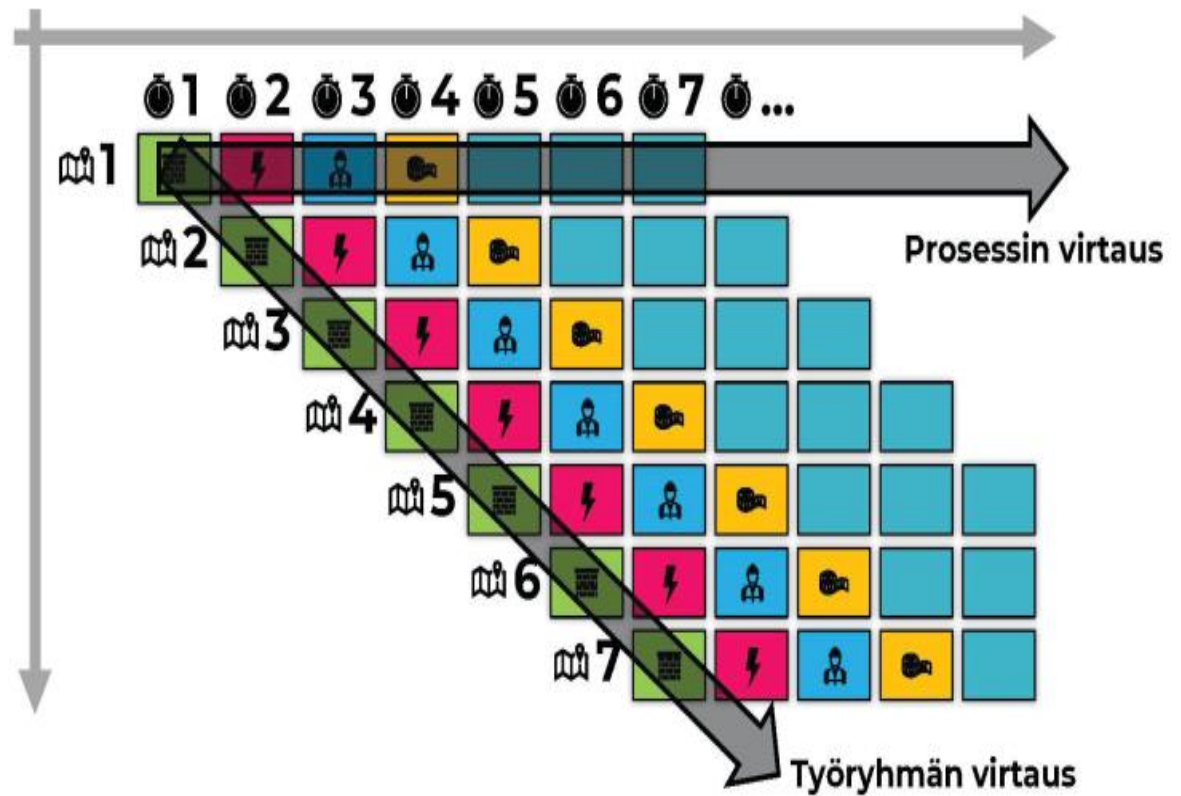
5.3 Yhteensovituksen tärkeys työryhmien kesken

Aivan kuten tavallisessakin hankkeessa, myös tahtituotannossa pitää kunnioittaa toisen työtä. Flow-tilan eli optimaalisen virtauksen saavuttamiseksi kaikilla työryhmillä täytyy olla kunnioitus kaikkia rakennushankkeen osapuolia kohtaan ja yhteensovitus laajan organisaatorakenteen kesken (kuva 14) on tähän arkinen avaintyökalu. Tahtituotannossa edetään kovaa vauhtia joka päivä, jolloin on tärkeää, että pystytään päivittäin kiinnittämään huomioita yksilöiden onnistumisesta koko hankkeen maaliin saattamiseen. [2, s. 8; 16.]



Kuva 14. Rakennushankkeen osapuolet eriteltynä. Päivittäinen onnistuminen ja yhteensovitus tuotannossa koostuu kaikkien kuvan osapuolten kesken. [17]

Etenkin suuressa hankkeessa päivittäisellä yhteensovittamiselle on valtava merkitys tahdissa kulkevien putkitöiden ja muidenkin työryhmien tahtipakettien läpiviemiseen aikamääreiden sallimissa rajoissa (kuva 15). Mikäli jollain työryhmällä tulee esteitä työn tekemiselle tai eri osapuolten tekniikat törmäilevät merkittävällä tavalla, on koko tahtijuna vaarassa pysähtyä ja tuotanto kärsii. Tämän takia mahdolliset oman työryhmän ja muidenkin ongelmat on havaittava ajoissa, jotta yhteensovitus työmaalla olisi mahdollisimman helppoa ja viivästyksiltä välttyään. [2, s. 16.]



Kuva 15. Tahtituotannossa huomioidaan eri osapuolten töiden etenemisen lisäksi koko prosessin eteneminen, mikä on ensiarvoisen tärkeää [2, s. 16].

6 Tapausesimerkki tahtituotannosta

Opinnäytetyössä tarkasteluun valittiin tapausesimerkiksi sairaalarakennuksen tahtituotantotyömaa, jossa sadevesiviemäreiden kerroshajotukset ja runkotyöt eivät kuuluneet tahtituotantoaikatauluun, vaan ne oli suunniteltu toteutettavaksi tahdin rinnalla. Tapaus osoittaa, kuinka tahtisuunnittelun ulkopuolelle jätettävä melko suuri työvaihe tuottaa ongelmia tahdissa toteutettavien työvaiheiden ja tahdin ulkopuolisten järjestelmien toteutukseen ja resurssien hallintaan putkiurakoitsijalla.

6.1 Projektin tausta

Tarkasteltava kohde on uusi sairaalarakennus, jossa on tahtituotantomalli käytössä toteutuksessa. Talotekniikan osalta suurin osa LVI-järjestelmistä on sisällytetty optimoidulla tahtiaikataululla toteutettavaksi. Poikkeuksena tahtiaikatauluun, tässä tapauksessa käsiteltävänä oleva sadevesiviemärijärjestelmä on suunniteltu toteutettavaksi tahdin rinnalla kulkevana työvaiheena, eli käytännössä ilman tiukkaa aikataulua, mikä on aiheuttanut ongelmia putkiurakoitsijalle ja muillekin urakoitsijoille.

Sadevesiviemärit suunniteltiin rakennusorganisaation keskuudessa toteutettavaksi muiden työvaiheiden rinnalla ”tahtia seuraten”, mutta ilman virallista aikataulua. Tämä tarkoitti sitä, että sille ei ollut omaa suunniteltua tahtiaikaa tai tahtialuetta, eikä mikään aikataulu pakottanut tekemään asennuksia. Sadevesiviemärijärjestelmä piti priorisoiden pystyä toteuttamaan aina sopivaan aikaan resurssien salliessa peilaten tahdin mukaan tehtäviin töihin.

6.2 Toteutus

Kun sadevesiviemärit eivät kuulu varsinaiseen tahtisuunnitelmaan, vaatii niiden toteutus tahdin rinnalla silti virallisen tahdin osittaista seuraamista, ja sen mukaista toteutusta. Käytännössä se tarkoitti sitä, että projektinhoitajien ja asennusryhmän kesken piti löytää tahtitöiden lomassa sopivia hetkiä, jolloin toteuttaa

niiden asennustyötä. Koska sadevesiviemäreitä ei ole aikataulutettu, viemäri-asennusta on hankala priorisoida työmaalla viikkosuunnitelmaan, sillä tahtituotannon työt vievät suurimman huomion.

Tahtituotannon aikataulutus loi tiukat raamit resurssien käyttämisille tahtitöihin, jolloin päädyttiin tilanteeseen, että sadevesiviemäreiden työstö jäi täysin tahtituotannon jalkoihin ja asennusajankohtia jouduttiin jatkuvasti siirtämään ja asennuksia tekemään osatoteutuksina, jolloin jää jälkeen jatkuvia ”häntiä”. Niiden asentamisen ajoitus oli jatkuvasti vaikeaa riippuen aina muista työvaiheista vapautuvista resursseista, ja tahtialueilla käynnissä olevista muista työvaiheista.

6.3 Haasteet

Suurin haaste sadevesiviemärijärjestelmän toteutuksessa oli se, että asennusajankohtaa ei voitu lyödä lukkoon, vaan sitä lykättiin jatkuvasti, ja työvaiheet jäivät kiireellisten tahtitöiden varjoon. Tämä johti pitkiin viivästyksiin, ja aikataulun näkökulmasta asennukset aloitettiin liian myöhään, kun peilataan siihen, että rakennuksen muut sisätyövaiheet painavat päälle, mikä aiheuttaa esteitä ja yhteensovitus haasteita putkiurakoitsijalta muille työryhmille.

Tahdin ulkopuolella toimiminen aiheutti jatkuvaa epäselvyyttä työmaalla, kun ei ollut selvää, milloin on sopiva ajankohta asennuksille, aiheuttamatta häiriötä muille työvaiheille tahtialueilla. Lopulta viemäreitä ruvettiin asentamaan liiallisen kiireen painostamana, sillä sisävaiheet olivat edenneet jo pitkälle ja viemärit piti saada valmiiksi, sillä ne täytyi myös eristää ja lisäksi ne kulkevat useassa paikassa ummistettavien seinien ja kuilujen sisällä. Ennen eristyslupaa, sadevesiviemärijärjestelmälle täytyy suorittaa myös viranomaisten ja valvojien vaatima painekoe, jotta voidaan olla varmoja putkistojen tiiveydestä.

Kiireen aiheuttamana viemäreiden asennuksen laatu kärsi ja se aiheutti ongelmia viemäreiden eristykselle ja tiiveydelle. Järjestelmän valmistuttua suoritettiin painekoe, jonka aikana useampi viemäri-liitos ratkesi auki, jolloin pääsi syntymään vesivahinkoja, joka vaurioitti mm. kevyitä väliseiniä ja kosteus pääsi

valumaan kuivatettuihin onteloihin. Juurisyy tälle oli kiireessä viime hetkillä tehty asennustyö, ja putkikannakoinnin heikkous (kuva 16), mikä vaati sen, että koko sadevesiviemärijärjestelmä piti käydä kauttaaltaan läpi, ja tehdä kannakointeihin parannuksia (kuva 17). Tämä lisäsi järjestelmän loppuun saattamiseen työaikaa useamman viikon verran.



Kuva 16. Sadevesiviemäreiden toteutus näytti tältä ennen painekoetta. Kyseisessä kohdassa kulmayhteet irtosivat toisistaan painekokeen aikana aiheuttaen vesivahingon ja lisää työtä. [18]



Kuva 17. Virheistä opittuna sadevesiviemärihajotuksiin lisättiin kuvan osoittamalla tavalla selvästi jykevempi kannakointi, vedonpoistoa viemäriosien välille sekä lukituspantoja muhviilitoksiin [18].

6.4 Lopputulos ja johtopäätökset

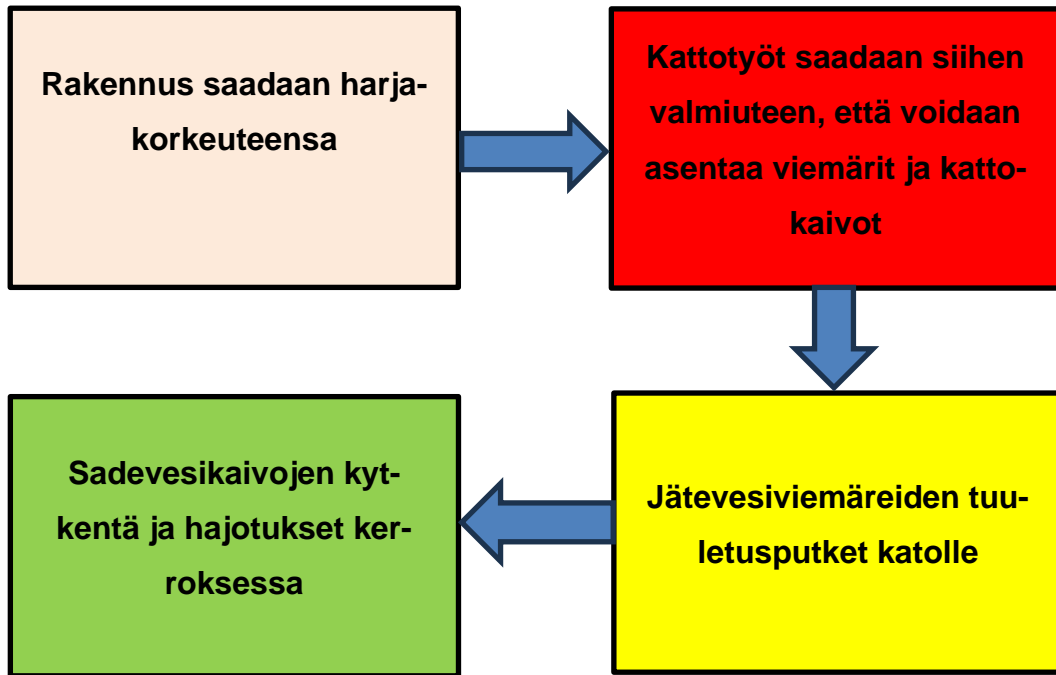
Vielä tänäkin päivänä kyseisen rakennuksen osalta painitaan tiettyjen ongelmien, kuten eristyspuutteiden kanssa, koska viemäreiden asennus on tehty kiireessä noudattamatta suunnitelmien tarkkoja mittoja ja vaatimuksia, mikä on johtanut usean kuukauden viivästyksiin sadevesiviemärijärjestelmän valmistuksen osalta. Tästä saadaan kuitenkin kehityskelpoisia ideoita ajatellen jatkoa, sillä kyseisessä hankkeessa tehdään vielä identtisiä sadevesijärjestelmän asennuksia jatkossakin ja tällä hetkellä on jo seuraava toteutus käynnissä, jossa on pystytty ennakoimaan tämän tapauksen esiin tuomat ongelmat, ja niiltä pystytään välttymään nyt hyvissä ajoin.

Tämä tapausesimerkki osoittaa sen, että tahtituotannon onnistunut toteutus edellyttää kaikkien työvaiheiden tarkkaa huomiointia. Mikäli tahdin rinnalle suunnitellaan työvaiheita toteutettavaksi, tulee niiden olla mieluummin pienempiä kokonaisuuksia, eikä näin laajoja, kuten sadevesiviemärijärjestelmä. Tällaisen järjestelmän toteuttaminen tahdin ulkopuolella hankaloittaa putkiurakoitsijan omaa aikataulutusta ja resurssien ennakointia muihin töihin. Vaikka sadevesiviemärijärjestelmää ei olekaan sitoutettu tahtiaikaan tai alueeseen, eikä sitä ole luokiteltu kiireiseksi, on vaarana kuitenkin edellä mainittu tapaus, joka johtaa pahimmillaan aikatauluviiveisiin ja sitä kautta tahtijunien etenemiseen.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että kaikki työvaiheet tahtituotannossa vaativat yhdenvertaista suunnittelua ja aikataulutusta, riippumatta niiden laajuudesta, tai siitä kuuluvatko ne tiettyyn tahtiin vai ei. Joka tapauksessa kaikille toteutuksille on asetettava selkeät reunaehdot ja ajankohdat toteutukselle (kuva 18), jotta ne eivät jäisi vahingossakaan huomioitta muuten rivakasti etenevässä hankkeessa.

Vastuu laadukkaasta asennuksesta on tietysti asentajalla, projektinjohdon asennusvalvonnalla, sekä aikataulutuksen jatkuvalla seurannalla, joka ei saa heikentyä. Mikäli samankaltainen tilanne olisi uhkana, on vain pystyttävä kiireen keskellä priorisoimaan tämän kaltaiset järjestelmän asennukset etusijalle, ja

katsottava projektia kokonaisuutena, mikä ei ole itsestäänselvyys tahtituotannossa, sillä resurssit ovat sidottuna kiinni jatkuvasti muihin kiireellisiin töihin. Tästä esimerkistä saa paljon suuntaa antavaa näkemystä, kuinka toimia tahdissa, tai sen rinnalla.



Kuva 18. Tapausesimerkin rakennushankkeen työvaiheista muodostettu kaavioehdotus, jolla voitaisiin välttää esimerkin kaltaiset ongelmakohdat.

7 Pohdinta ja kehitys

Tahtituotanto sopii putkiurakoitsijan näkökulmasta katsottuna toteutusmalliksi LVI-järjestelmien asentamiseen, mutta se vaatii osakseen monia liikkuvien osaluoiden vankkaa hallintaa ja onnistumista, niin omasta takaa, kuin muidenkin hankkeessa mukana olevien työryhmien osalta.

Talotekniikan, erityisesti putkiurakoitsijan puolesta ajatellen tahtituotanto luo selkeitä etuja putkiasennukseen, mutta mukana tulee monta mahdollista haastetta. Perinteisestä aikataulutuksesta poiketen tahtiaikataulu ja sen alueet ja tahtivauhdit täytyvät olla hyvin tarkasti suunniteltu, rajattu ja sovitettu putkitöiden vaatimiin aikoihin nähden. Tällä saadaan tuettua töiden jatkuvuutta kaikkien työryhmien kesken ja projektia on itsessään helpompi hallita.

Tässä työssä nousi vahvasti esiin logistiikan merkitys sekä sidosryhmien yhteensovituksen tärkeys päivittäisellä tasolla, sillä ilman niiden täsmällistä toimivuutta tahtituotanto ei voisi mitenkään toimia järkevästi.

Tahtituotantotapa ei kuitenkaan ota huomioon tarpeeksi sitä, kuinka haavoittuvainen se on resurssivajeiden, suunnitelmamuutosten tai puutteellisen yhteensovituksen vaikutuksille. Pahimmillaan edellä mainitut asiat aiheuttavat yksittäisille työryhmille viivästyksiä, mutta vaarana on ketjureaktio ja tahdin viivästyminen muillekin osapuolille ja sitä kautta koko tuotannon kärsimiselle. Putkiurakoitsijan töillä ja aikataulussa pysymisellä on valtava merkitys muiden työvaiheiden onnistumiseen, joten siinä on jatkuvasti kehitettävää tuotantoa ajatellen.

Yhteenvetona voidaan todeta, että tahtituotanto vaatii koko rakennusorganisaatiolta vanhasta toteutustavasta poikkeavaa ajattelu- ja toimintatapaa, jossa korostuvat asioiden ennakointi, jatkuva kommunikaatio työryhmien välillä sekä jatkuvan parantamisen hakeminen. Lisäksi jokapäiväisellä toisen työn kunnioittamisella on suuri merkitys, sillä tahti ei siedä ylimääräisiä omien töiden korjauksia johtuen muista, mitä tavanomaisissa hankkeissa on tapana syntyä, kun ihmiset ovat huolimattomia. Tuotanto on herkkä kärsimään, mikäli ote heikentyy millään tavoin.

Putkiurakoitsijalle luodaan tahtituotannon mallissa mahdollisuus selkeään työn rytmitykseen ja kokonaisuuden hahmottamiseen, mutta sen elinehtoina ovat jatkuva kehitys- ja yhteistyö sekä teknologian uusien työkalujen hyödyntäminen hankkeen alusta saakka. Edellä mainittuja tapoja kehittämällä saadaan tahtituotannosta paras hyöty irti.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä tahtituotantoon ja laatia ohje, jota putkiurakoitsija voi noudattaa ja tarvittaessa jalostaa näkemällään tavallaan paremmaksi. Työ toteutettiin laajan kirjallisuuden tutkimisen avulla sekä analysoimalla tapausesimerkkiä tahtituotantotyömaalta.

Tahtituotantoa eri kanteilta tutkimalla selvisi, että se on parhaimmillaan putkiurakoitsijalle tehokas keino rakentaa ja tuottaa selkeitä kokonaisuuksia sisältäviä LVI-järjestelmiä rakennuksille kustannustehokkaasti, mutta se sisältää vielä tänä päivänä runsaasti haasteita, jotka voivat koitua kenen tahansa hankkeessa mukana olevan ongelmaksi.

Tärkeimpänä kehityskohtana tuotannossa menestyksekkääseen toimimiseen arkisella tasolla liittyy kuitenkin yhteensovitus ja jatkuva kommunikointi eri työryhmien välillä, jotta saadaan päivittäistä tahtia pidettyä yllä. Tahdin ylläpitäminen on kuitenkin hyvin raskas prosessi juuri sen takia, että sitä ei usein aikatauluteta eikä suunnitella niin, että se sietäisi yhtään tahdistaa jälkeen jäämistä tai yllättäviä resurssivajeita, kuten sairastumistapauksia.

Ohje antaa putkiurakoitsijalle pääpiirteittäin käsityksen ja reunaehdot, kuinka tahtituotantohankkeessa kannattaa toimia, ja miten saadaan ylläpidettyä oman työryhmän osalta tuotanto käynnissä jatkuvasti. Ohje on salattu tilaajayrityksen toiveesta, sillä se jää yrityksen yksityiseen käyttöön ja se sisältää yrityksen sisäistä materiaalia.

Lähteet

- 1 Quattroservices – talotekniikan ammattilainen, joka hallitsee vaativat projektit. Verkkoaineisto. QMG. <<https://qmg.fi/yhtiot/quattroservices-oy/>>. Luettu 14.3.2025.
- 2 Lehtovaara, Joonas & Hartikainen, Unto. 2024. Tahtituotanto-opas. RIL ry.
- 3 Tahtituotannon perusteet – opas lean-rakentamiseen. Verkkoaineisto. SiteDrive. <<https://sitedrive.com/fi/tarinat/tahtituotannon-perusteet/>>. 26.3.2025. Luettu 28.3.2025.
- 4 Tutkimus tarjoaa heti poimittavia hedelmiä talotekniikkaurakoinnin haasteisiin. 2022. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. <<https://www.aalto.fi/fi/uutiset/tutkimus-tarjoaa-heti-poimittavia-hedelmia-talotekniikkaurakoinnin-haasteisiin?>>. 5.2.2022. Luettu 1.3.2025.
- 5 Päättäjätutkimus: Talotekniikan rooli tulee kasvamaan kiinteistö- ja rakennusalalla merkittävästi. 2022. Verkkoaineisto. Talotekniikka-lehti. <<https://talotekniikka-lehti.fi/paattajatutkimus-talotekniikan-rooli-tulee-kasvamaan-kiinteisto-ja-rakennusalalla-merkittavasti/>>. 13.10.2022. Luettu 15.03.2025.
- 6 Talotekniikan esivalmistus on suuri mahdollisuus suomalaiselle rakentamiselle. 2018. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. <<https://www.aalto.fi/fi/uutiset/talotekniikan-esivalmistus-on-suuri-mahdollisuus-suomalaiselle-rakentamiselle?>>. Päivitetty 1.7.2021. Luettu 01.04.2025.
- 7 Talotekniikan esivalmistus: Myytit, haasteet ja mahdollisuudet. 2023. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. <<https://www.aalto.fi/fi/uutiset/talotekniikan-esivalmistus-myytit-haasteet-ja-mahdollisuudet>>. Päivitetty 7.11.2023. Luettu 04.04.2025.
- 8 Tahtituotannon haasteet logistiikkaurakoitsijan näkökulmasta. 2024. Verkkoaineisto. LTQ-Rakennus Oy. <<https://ltqrakennus.fi/2024/01/25/tahtituotannon-haasteet-logistiikkaurakoitsijan-nakokulmasta/>>. 25.1.2024. Luettu 04.04.2025.
- 9 Rakentamisen laadun ja turvallisuuden hallinta. Verkkoaineisto. Congrid Oy. <<https://www.congrid.fi/>>. Luettu 04.04.2025.
- 10 Laadunvalvonta ja sopimusasiat. 2025. Yrityksen sisäinen aineisto. Quattroservices Oy.

- 11 Peltokorpi, Antti; Lavikka, Ritva; Kokko, Laura & Seppänen, Olli. 2018. Loppuraportti. Verkkoaineisto. Aalto-yliopiston Rakennustekniikan laitos <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.aalto.fi%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F2019-01%2Floppuraportti_visio2030_esivalmistus_19-09-2018.docx&wdOrigin=BROWSELINK>. 8.2018. Luettu 09.04.2025.
- 12 Salminen, Juha. 2024. Lean-johtamisella kulttuurimuutokseen. Rakennustekniikka 1/2024, s. 12–15.
- 13 Tahtituotanto-opas aliurakoitsijoille. Verkkoaineisto. Skanska Oy. <<https://www.skanska.fi/492d5e/siteassets/tietoa-skanskasta/yhteistyokumppaneille/sopimusasiakirjat-ja-ohjeistukset/tahtituotanto-opas-aliurakoitsijoille.pdf>>. Luettu 21.02.2025.
- 14 Putkistojen asennus. 2004. LVI 20- 10348. Rakennustieto.
- 15 Takting software – project planning & control. Verkkoaineisto. Takting. <<https://www.takting.com/software>>. Luettu 16.04.2025.
- 16 Tahtituotannon seuranta. Yrityksen sisäinen aineisto. Quattroservices Oy.
- 17 Junnonen, Juha-Matti & Kankainen, Jouko. 2023. Rakennuttaminen. 7. Painos. E-kirja. Rakennustieto.
- 18 Sadevesiviemäriasennukset. Yrityksen sisäinen aineisto. Quattroservices Oy.

Ohje putkiurakoitsijalle tahtituotannossa toimimiseen (salattu)