



Sefkan Altun

# LVI-töiden aikataulun mukainen laadunvalvonta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

23.4.2023

## Tiivistelmä

Tekijä: Sefkan Altun  
Otsikko: LVI-töiden aikataulun mukainen laadunvalvonta  
Sivumäärä: 28 sivua  
Aika: 23.4.2023

Tutkinto: insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: talotekniikka  
Ammatillinen pääaine: LVI-urakointi  
Ohjaajat: lehtori Timo Väriinen  
projektipäällikkö Janne-Matti Hiltunen

---

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan LVI-töiden aikataulun mukaista laadunvalvontaa sairaalan rakennushankkeessa, keskittyen erityisesti Saipu Oy:n toteuttamaan talotekniikan projektiin. Työssä perehdytään projektin ajalliseen johtamiseen ja laadunvarmistukseen ja käsitellään tehtävien määrittämistä, työjärjestyksen määrittämistä, tehtävien resurssien ja keston arviointia sekä aikataulun muodostamista ja hallintaa. Laadunvarmistuksen menetelmät auttavat varmistamaan projektin tavoitteiden saavuttamisen ja asiakkaan vaatimusten täyttymisen.

Opinnäytetyö sisältää kohdehankkeen, jossa aikataulun mukainen laadun seuranta toteutetaan, ja analyysiosiossa vertaillaan hankkeen toteutusta suunniteltuun aikatauluun ja laadunvarmistusmenetelmiin. Työn tavoitteena on selvittää, miten LVI-töiden aikataulun mukainen laadun seuranta on toteutettu kohdehankkeessa ja millaisia kehitysmahdollisuuksia siitä on löydetty. Analyysin avulla pyritään löytämään parannuskohteita ja mahdollisia kehitysehdotuksia tulevaisuuden projekteja varten.

Opinnäytetyö korostaa tehokkaan aikataulutuksen ja laadunhallinnan merkitystä projektinhallinnassa, mikä edesauttaa projektin onnistumista. Vaikka tahtituotanto ei välttämättä ole paras menetelmä sairaalan rakennushankkeessa, huolellinen suunnittelu, eri asiantuntijoiden välinen yhteistyö ja työnkulun tarkkuus ovat keskeisiä tekijöitä projektin onnistumisessa. Tapaustutkimuksen perusteella projektinhallinnan tulisi keskittyä ennakointiin, suunnitteluun, yhteistyöhön, viestintään ja resurssien hallintaan, jotta tahtituotanto voidaan toteuttaa onnistuneesti ja varmistaa projektin tehokas eteneminen sekä lopputuloksen laatu.

Avainsanat: aikataulu, tahtituotanto, projektinhallinta, laadunvalvonta

## Abstract

Author: Sefkan Altun  
Title: Scheduled Quality Control of HVAC Works  
Number of Pages: 28 pages  
Date: 23 April 2023

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Building Services Engineering  
Professional Major: HVAC Contracting  
Supervisors: Timo Värinen, Senior Lecturer  
Janne-Matti Hiltunen, Project Manager

---

This final year project studied scheduling and quality management in building services engineering projects, specifically focusing on hospital construction. The aim was to identify how the quality control of HVAC works was done in the case project, and what areas of improvement could be found.

The case study examined a project's scheduling methods and quality assurance techniques. The analysis found that using takt scheduling in projects like hospital construction had both benefits and challenges. The benefits included improved project management, better understanding of task priorities, and realistic work planning. The challenges include tight schedules and difficulties in detailed planning, which can lead to project failure.

The results emphasized the significance of effective scheduling and quality management for project success. Interdisciplinary expertise, thorough planning, and close collaboration among all parties were seen to be necessary to achieve the goals. Key factors identified for success included scheduling adherence, planning, collaboration, communication, and resource management.

The thesis resulted in recommending project management to focus on anticipation, planning, collaboration, communication, and resource management to successfully implement takt production and ensure efficient progress and quality outcomes.

Keywords: schedule, takt time planning, project management, quality control

# Sisällys

1	Johdanto	1
2	Talotekniikan ajallinen ja laadullinen suunnittelu	2
2.1	Projektin ajallinen johtaminen	3
2.1.1	Tehtävien määrittäminen	4
2.1.2	Työjärjestyksen määrittäminen	4
2.1.3	Tehtävien resurssien arvioiminen	4
2.1.4	Tehtävien keston arvioiminen	5
2.1.5	Aikataulun muodostaminen	7
2.1.6	Aikataulun hallinta	8
2.1.7	Tahtituotanto	8
2.1.8	Tehtävien painoarvon määrittäminen	11
2.1.9	Edistymisen seuranta	12
2.2	Projektin laadunvarmistus	12
2.2.1	Laatusuunnittelu	13
2.2.2	Laadunvarmistus	13
2.2.3	Laadunvalvonta	13
2.2.4	Laadunvarmistusprosessin toteutus	14
3	Tapaustutkimus	16
3.1	Hanke	16
3.2	Hankkeessa käytetty aikataulumenetelmä	16
3.3	Hankkeen laadunvarmistus menetelmät	18
4	Analyysi	21
5	Yhteenveto	25
	Lähteet	28

# 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee LVI-töiden aikataulun mukaisen laadunvalvonta Saipu Oy:n toteuttamassa talotekniikan hankkeessa. Työ on tehty osana Metropolia Ammattikorkeakoulun talotekniikan tutkinto-ohjelmaa, ja sen tarkoituksena on syventää ymmärrystä projektinhallinnasta ja laadunvarmistuksesta talotekniikan alalla. Työssä keskitytään erityisesti projektin ajalliseen johtamiseen ja laadunvarmistukseen, joiden merkitys on suuri onnistuneen projektin kannalta.

Talotekniikan projekteissa ajallinen ja laadullinen suunnittelu ovat keskeisiä menestystekijöitä. Työssä käydään läpi projektin ajallisen johtamisen eri osa-alueita, kuten tehtävien määrittäminen, työjärjestyksen määrittäminen, tehtävien resurssien ja keston arvioiminen sekä aikataulun muodostaminen ja hallinta. Lisäksi käsitellään tehtävien painoarvon määrittämistä ja edistymiskäyrien kehittämistä sekä edistymisen seuranta.

Projektin laadunvarmistus on toinen keskeinen teema tässä opinnäytetyössä. Työssä tarkastellaan laadunsuunnittelua, laadunvarmistusta ja laadunvalvontaa, jotka ovat olennaisia osia projektin onnistumisen kannalta. Laadunvarmistuksen menetelmät auttavat varmistamaan, että projektin tavoitteet saavutetaan ja asiakkaan vaatimukset täyttyvät. Opinnäytetyössä esitellään myös kohdehanke, jossa aikataulun mukainen laadun seuranta toteutetaan. Työssä käsitellään hankkeessa käytettyä aikataulumenetelmää ja laadunvarmistusmenetelmiä, joiden analysointi antaa arvokasta tietoa siitä, miten eri menetelmät toimivat käytännössä ja miten niitä voidaan kehittää tulevaisuudessa.

Analyysiosuudessa vertaillaan hankkeen toteutusta suunniteltuun aikatauluun ja laadunvarmistusmenetelmiin. Tarkastelun avulla pyritään löytämään parannuskohteita ja mahdollisia kehitysehdotuksia, joiden avulla tulevaisuuden projekteissa voidaan entistä paremmin varmistaa aikataulujen noudattaminen ja korkea laatu. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, miten LVI-töiden aikataulun mukainen laadun seuranta on toteutettu kohdehankkeessa ja millaisia

kehitysmahdollisuuksia siitä on löydetty. Raportissa annetaan suosituksia tulevaisuuden projekteja varten, jotta talotekniikan alalla voidaan entistä paremmin varmistaa aikataulujen noudattaminen ja korkea laatu.

## **2 Talotekniikan ajallinen ja laadullinen suunnittelu**

Tuotantoprosessin tehokas hallinta edellyttää taloteknisten töiden huolellista ajoitusta, mikä edellyttää erillisen aikataulun laatimista taloteknisille töille. Aikataulu tulee suunnitella yksilöllisesti kohteen mukaan ja perustua realistisiin resursseihin. Lisäksi on huomioitava yhteensovittaminen rakennustekniikan kanssa. Tuotantoaikataulun nimien määrittämiseksi otetaan huomioon talotekniikkaurakoitsijoiden resurssit ja aikataulu suunnitellaan sen mukaan. Koko projektin tuotantonopeus on määritelty yleisessä aikataulussa, mutta taloteknisten töiden nopeuteen vaikuttaa myös valittu LVI-urakoitsija. On välttämätöntä, että talonrakennustöiden aikataulu on sidottu yleiseen aikatauluun ja suunnittelun valvontaa noudatetaan tiukasti onnistumisen saavuttamiseksi. [Aikataulukirja 2016 2015; Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2017 2011.]

Rakennusteknisten projektien onnistumisen varmistamiseksi tarvitaan huolellista suunnittelua sekä yhteistyötä suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden välillä. Talotekniikan aikataulu tulee yhteensovittaa yleisen aikataulun kanssa realistisen työajan varmistamiseksi. Aikatauluun tulee sisältyä teknisten tilojen valmistaminen, merkittävät tapahtumat, kuten lämmön kytkeminen, raskaan kaluston nosto ja siirtäminen, ulkoisten liitännöiden rakentaminen ja käyttöönotto sekä riittävästi aikaa testaukseen, mittauksiin, säätöihin ja tarkastuksiin. [Aikataulukirja 2016 2015; Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2017 2011.]

Yleisen aikataulun valmistelun alustavassa vaiheessa on mahdollista, että kaikkia talotekniikan urakoitsijoita ei ole valittu. Pääurakoitsija voi tällöin laatia rakennussuunnittelun aikataulun ja talotekniikka urakoitsijoiden tehtävälistan omien esitelmiensä perusteella. Rakentamisen aikataulussa tulee huomioida projektikohtaiset kriittiset työt, kohteen rakenneratkaisut, laitteiden nostot ja

kuljetukset sekä testaukset, mittaukset, säädöt, tarkastukset, ulkoiset kytkennät ja käyttöönotto. [Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2017 2011.]

Aikataulun tulee olla realistinen, yksiselitteinen, havainnollistava ja molempia osapuolia tyydyttävä. Tehtävien ja työajan keston yhteensovittaminen on kriittinen projektin onnistumisen kannalta. Aikataulujen yhteensovittaminen on välttämätöntä hallittavuuden kannalta. Yhdistämällä rakennustyöt ja talotekniikka työt samaan aikatauluun voidaan tunnistaa riippuvuudet yhdellä silmäyksellä. On tärkeää ottaa huomioon, onko aikataulu realistinen ja perustuuko se todellisiin arvioihin vai onko se asetettu tiukalle aikataululle. Mikäli aikataulu on asetettu liian tiukaksi, olisi suositeltavaa harkita tehtävien uudelleenarviointia ja aikataulun muokkaamista realistisemmaksi. Tämä voi auttaa takaamaan projektin menestyksen sekä välttämään tarpeetonta stressiä ja ongelmia projektin aikana. [Aikataulukirja 2016 2015.]

## 2.1 Projektin ajallinen johtaminen

Projektinhallintaan kuuluu monenlaisia toimintoja. Projekti valmistuu ajallaan ja budjetin rajoissa, kun seuraavia projektinhallinnan vaiheita noudatetaan:

- tehtävien määrittäminen
- työjärjestyksen määrittely
- tehtäväresurssien arvioiminen
- tehtävien keston arvioiminen
- aikataulun laatiminen
- aikataulun hallinta
- tehtävien tärkeyden määrittäminen
- edistymiskäyrien kehittäminen
- edistymisen seuranta.

Näitä vaiheita noudattamalla varmistetaan, että projekti valmistuu laadullisesti, ajallaan, ja budjetin rajoissa. [Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2017 2011.]

### 2.1.1 Tehtävien määrittäminen

Aikataulu sisältää tehtäviä, jotka ovat työn tuotoksia tai aktiviteetteja, joita tarvitaan projektin loppuun saattamiseksi. Tehtävät suunnitellaan siten, että projektin eteneminen tapahtuu tavoitteen mukaisesti ja kaikki osapuolet ja työpaketien riippuvuudet toisiinsa nähden huomioiden. Työtehtävät voivat sisältää monenlaisia vaiheita, luokkia tai niiden yhdistelmiä, joita suorittavat joko urakoitsijan oma henkilökunta tai alihankintayritykset. Tehtäviä valittaessa on huomioitava kaikkien työmaalla olevien osapuolten yhteistyö. Osatehtävät voivat olla tarpeen, jos tehtävän eri osat on suoritettava eri aikoina, eri paikoissa tai eri menetelmin. Tehtävien tulee olla sellaisia, että niiden toteutumista voidaan valvoa ja tuotantoa ohjata. Tämä vaatii huolellista suunnittelua ja seuranta koko projektin ajan. [Aikataulukirja 2016 2015.]

### 2.1.2 Työjärjestyksen määrittäminen

Työjärjestys suunnitellaan jakamalla rakennustyömaa käyttöosiin ja piirtämällä työnkulkukaavio tehtävien riippuvuuksien mukaan. Tehtävät voivat sisältää erilaisia työvaiheita tai -tyyppejä, joihin usein liittyy muita tehtäviä. Tehtäviä organisoitaessa on tärkeää ottaa huomioon kaikkien osapuolten yhteistyö. Tehtävät voidaan tarvittaessa jakaa lohkoihin, jotta niistä voidaan koota tuotantotehtävälisiä, mikä auttaa suunnittelemaan ja valvomaan tuotantoa. Suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon tehtävien väliset riippuvuudet ja resurssiriippuvuudet, ja ongelmakohtat tulee määritellä etukäteen. [Aikataulukirja 2016 2015.]

### 2.1.3 Tehtävien resurssien arvioiminen

Resurssien arvioiminen tehtäviin on tärkeä osa rakennusprojektin aikataulua. Aikataulutehtävien tahdistamisessa määritetään aloitusväli, joka perustuu teholliseen rakennusaikaan ja tahdistettavien tehtävien lukumäärään. Tämän avulla varmistetaan, että tehtävät ovat yhtä pitkiä ja tasaisesti pidentyviä tai lyheneviä. Työryhmän optimaalinen koko on ratkaiseva tekijä resurssien arvioimisessa, sillä työryhmän kokoonpanon muutokset vaikuttavat merkittävästi työmenekkiin

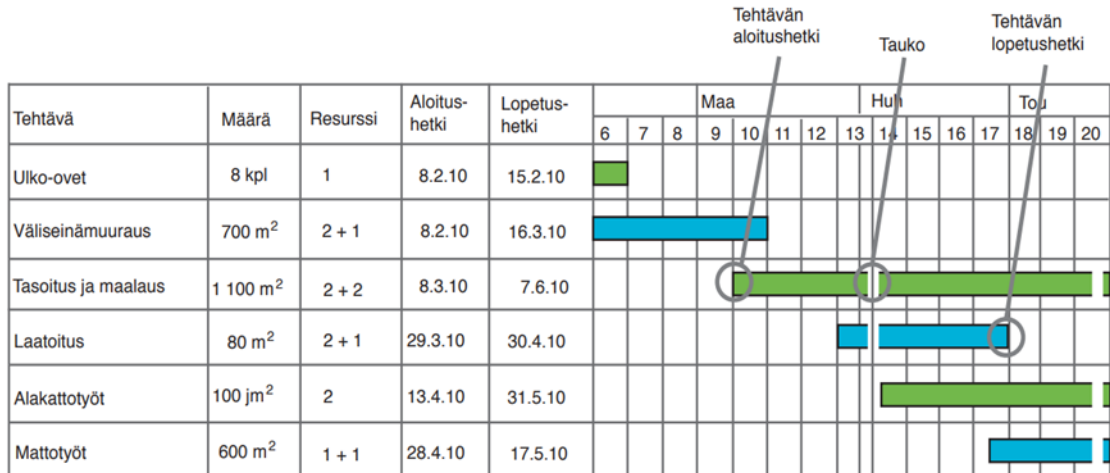


ja ammatti- ja aputyön väliseen työnjakoon. Lisäksi työryhmien lukumäärän, työtehtävien sisällön ja kokoonpanon muutoksilla on vaikutusta palkkaukseen, ja työsuunnittelijan on tärkeää keskustella mahdollisista muutoksista työmaan johdon kanssa. Tahdistusratkaisut vaikuttavat myös rakennusteknisten töiden alirakoiden sisältöön ja sopimusehtoihin. [Aikataulukirja 2016 2015.]

#### 2.1.4 Tehtävien keston arvioiminen

Tehtävien keston arvioiminen on tärkeä osa rakennusprojektin aikataulun laadintaa. Työtehtävien rytmi mahdollistaa niiden jatkuvan suorittamisen paikasta toiseen, kun suoritemäärät poikkeavat merkittävästi eri työkohteissa. Tämän rytmityksen toteuttamiseksi on useita eri tapoja, kuten aloitusten siirtäminen, erikoisten työryhmien käyttäminen ja ei-kriittisten töiden järjestäminen paikan päällä. Lisäksi työryhmien käyttöä arvioitiin erikseen aikataulun laadinnan yhteydessä käyttäen jana-aikataulua ja paikka-aikakaaviota. [Aikataulukirja 2016 2015.]

Jana-aikataulu on perinteinen aikataulumuoto, jota käytetään yleisesti talorakennusalalla ja sen tehtävien ajoituksen esittämiseen. Jana-aikataulu perustuu Gantt-kaavioon ja Harmonogramiin, ja siinä hankkeen tehtävät jaetaan sopiviin kokonaisuuksiin, joiden kestot ja ajoitukset arvioidaan. Jana-aikataulussa tehtävät luetellaan vasemmassa reunassa pystyakselilla, ja aika etenee vaakakselilla. Tehtävien kestot kuvataan janoina, joiden pituus kertoo tehtävän keston päivinä, viikkoina tai kuukausina. Jana-aikataulussa voidaan käyttää pystyviivoja osoittamaan taukoja, välitavoitteita tai osaluovutuksia. [Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2017 2011.] Kuvassa 1 esitetään jana-aikataulu.



Kuva 1. Esimerkki jana-aikataulusta [Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2017 2011]

Paikka-aikakaavio on tehokas työkalu rakennushankkeiden aikataulutukseen ja ohjaukseen. Se kuvaa hankkeen työkohteet pystyakselilla ja keston vaaka-akselilla, esittäen jokaisen tehtävän vinoviivalla noin 45 asteen kulmassa. Tehtävien kaltevuudet ilmaisevat tuotantonopeuden, ja niiden väliset riippuvuudet näkyvät nuoliviivoilla. Paikka-aikakaaviossa on otettu huomioon myös työkohteiden sijainti, jolloin se auttaa ymmärtämään, mitä tehtäviä kussakin työkohteessa tehdään ja kuinka paljon joustoa on mahdollisten häiriöiden tai lisä- ja muutostöiden varalta.

Tehtävien keston arvioinnin yhteydessä on tärkeää huomioida, että rakennuskohteissa runko- ja sisävalmistusvaiheiden välillä saattaa syntyä tahdistusongelmia. Tämä on erityisen hankalaa pienissä rakennuksissa, joissa rinnakkaista varakohdetta ei ole mahdollista järjestää. Työsopimukset liiketoimintayksiköiden kanssa on solmittava aikataulutehtävien mukaisesti, jotta ohjaus helpottuu. Tämä edellyttää, että työsopimuksia tehtäessä otetaan huomioon aikataulutehtävien työsisältö, työryhmien koko sekä ammatti- ja aputyön suhde. [Aikataulukirja 2016 2015.]

Tärkeä osa aikataulun suunnittelua on resurssien ja tehtävien riippuvuuksien huomioiminen. Tämä tarkoittaa sitä, että aikataulua laadittaessa on otettava

huomioon eri työvaiheiden suorittamiseen tarvittavat resurssit, kuten työvoima, materiaalit ja kalusto, ja varmistettava, että ne ovat käytettävissä tarvittavina aikoina. Samanaikaisesti käynnissä olevien suurtehtävien ja niiden alatehtävien on myös oltava sopusoinnussa resurssien käytön kanssa. Tahdistus on tärkeä osa resurssien ja tehtävien riippuvuuksien huomioimista. Se tarkoittaa resurssien ja työsisällön suunnittelua siten, että tahdistavat työt voidaan toteuttaa annetun aikataulun puitteissa. Näin vältetään tilanne, jossa isoja työvaiheita on yhtäaikaan käynnissä ja resurssit eivät riitä kaikkien tehtävien suorittamiseen. [Aikataulukirja 2016 2015.]

Esimerkiksi asennustyö voidaan jakaa useaan työkohteeseen ja tehdä niitä samanaikaisesti. Kuitenkin, jos käytettävissä on vain yksi asennusryhmä, asennus on tehtävä yksi työkohde kerrallaan. Resurssien ja tehtävien riippuvuuksien huomioiminen ja tahdistus ovat tärkeitä osia aikataulun suunnittelussa, jotta voidaan varmistaa, että kaikki tarvittavat työvaiheet voidaan suorittaa sujuvasti ja tehokkaasti ilman resurssipulaa. [Aikataulukirja 2016 2015.]

### 2.1.5 Aikataulun muodostaminen

Aikataulut ovat keskeisiä työkaluja projektien ja tuotannon suunnittelussa sekä ohjauksessa. Ne voidaan luoda erilaisilla laadinta- ja piirrostekniikoilla ja tulee räätälöidä eri käyttötarkoituksiin sopiviksi esityksiksi. Toimiva aikataulu täyttää tiettyjä tunnusmerkkejä, joiden avulla projekteja ja tuotantoa voidaan hallita tehokkaasti. Aikataulun avulla voidaan myös reagoida poikkeamatilanteisiin. Eri-laiset aikatauluesitykset, kuten jana-aikataulu, paikka-aikakaavio, valvontaviiva-kartta ja lukujärjestys, ovat hyödyllisiä eri käyttötarkoituksiin. [Aikataulukirja 2016 2015; Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2017 2011.]

Tilaaajan tulee varmistaa, että urakoitsija saa tarvittavat suunnitelmat hyvissä ajoin ja että aikataulusuunnittelua ohjataan esimerkiksi lohkoittain. Aikataulun toteutuskelpoisuus tulee arvioida ennen sen hyväksymistä urakkasopimusehtojen mukaiseksi työaikatauluksi. Aikatauluun tulee sisällyttää realistiset tehtävien kestot, riittävä aikavaraus riskien huomioimiseksi, tarpeeksi välitavoitteiden

erittelyä ja riippuvuuksien selvittelyä sekä selkeä suorituspaikan mukainen osittelu. [Aikataulukirja 2016 2015; Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2017 2011.]

#### 2.1.6 Aikataulun hallinta

Onnistuneen aikataulunhallinnan avulla voidaan varmistaa hankkeen ohjattavuus ja resurssien tehokas käyttö. Aikataulun hallinta edellyttää yhteistyötä hankkeen eri osapuolten välillä, kuten suunnittelijat, urakoitsijat ja rakennuttaja. Rakennuttaja on yleisten sopimusehtojen (YSE) mukaisesti vastuussa suunnitelmista ja toimii puheenjohtajana työmaakokouksissa, joissa aikatauluasiat käsitellään ja hyväksytään. Selkeiden ja realististen aikataulujen laatiminen perustuen huolelliseen resurssien mitoitukseen on avainasemassa hankkeen onnistumiselle. [Aikataulukirja 2016 2015.]

#### 2.1.7 Tahtituotanto

Tahtituotanto on menetelmä, joka tarkoittaa tietyin aikaväleihin toistuvien tehtävien suorittamista samassa tahdissa. Termi "Takt" juontaa juurensa latinan sanasta "tactus", joka tarkoittaa "kosketusta, kosketuksen tunnetta, ja saksaksi se viittaa säännöllisyyteen, jolla jotain tehdään. Tahdilla tarkoitetaan toimintojen suorittamista tasakokoisin aikavälin. Tahti-ajat määräytyvät yleensä rakenteen luokittelulla eri tila-alueisiin, jolloin alueiden työsisältöä voidaan vaihdella, mikä mahdollistaa oman rytmien luomisen tahti- ja työsisällön mukaan. [Haghsheno ym. 2016.]

Tahtituotannon käyttö juontaa juurensa ennen teollista vallankumousta, ja 1500-luvun venetsialaisella telakalla kuvataan vakaata ja jatkuvaa tuotantojärjestelmää. Tahtituotannosta tuli yhä suosittumpi 1900-luvulla, kun Henry Ford otti tunnetusti käyttöön tahtipohjaisen massatuotantojärjestelmän tuotantolinjoja käyttäville autoille. Saksan ilmailuteollisuus käytti myös tahtituotantoa synkronoidakseen lentokoneen runkojen liikettä tuotantolaitoksen kautta, joka myöhemmin liitettiin Toyotan tuotantojärjestelmään teknisen yhteistyön avulla Mitsubishin

kanssa. Tahtituotantoa esitellään James P. Womackin ja Daniel T. Jonesin kirjoissa "The Machine that Changed the World" ja "Lean Thinking", joista syntyi termi "lean". Vaikka tahtituotanto pidettiin apuvälineenä lean-ajattelun perusperiaatteissa, siitä on tullut keskeinen osa tuotantojärjestelmiä käytännön sovelluksissa, mukaan lukien Toyotan tuotantojärjestelmä (englanniksi Toyota Production System eli TPS) ja muut autojen kokoonpanotuotantojärjestelmät. [ks. Haghsheno ym. 2016.]

Tahtituotantoa käytettiin ensimmäistä kertaa Empire State Buildingin rakentamisessa vuonna 1930, ja sitä on sen jälkeen käytetty erilaisissa rakennusprosesseissa, esimerkiksi siltojen ja tunnelien rakentamisessa. Se on hyödyllinen toistuvissa, lähes samanlaisissa prosesseissa, ja se voi johtaa mittakaavaetujen saavuttamiseen. Sitä kuitenkin käytetään harvoin talonrakentamisessa, koska tarvitaan enemmän valmistelua ja suunnittelua, jotta eri osa-alueet voidaan integroida yhteen. Tahtituotannon käyttö on kuitenkin lisääntynyt talonrakentamisessa Saksassa sekä yliopistojen opetuksessa ja tutkimuksessa. Tahtituotantoperiaatteessa rakennushanke jaetaan pieniin aikajaksoihin ja alueellisiin osa-alueisiin, ja kunkin osa-alueen työt määritellään ja jäsennetään. Tasaisen tuotantonopeuden avulla voidaan saavuttaa vakaa rakennusprosessi, jossa on vähemmän rajoitteita. [Haghsheno ym. 2016.]

Tahtituotannon hallinta mahdollistaa yksittäisten töiden tarkan ja lyhyen syklin valvonnan ja mahdollisten häiriöiden varhaisen tunnistamisen. Tahtituotantosuunnitelma kehittyy jatkuvasti, ja muutokset ovat tärkeitä toiminnan vakauden kannalta. Työmaatoimistossa pidetään kokouksia tahtituotannon työvaiheiden säätämiseksi. Kokouksiin osallistuvat eri ammattiryhmien työnjohtajat. Tämä antaa mahdollisuuden toteuttaa tarvittavat toimenpiteet lyhyessä ajassa ja vähentää reagoivien ja kustannuksiltaan kalliiden hallintatoimenpiteiden osuutta, mikä taas alentaa riskejä ja parantaa prosessien stabiiliutta. [Haghsheno ym. 2016.]

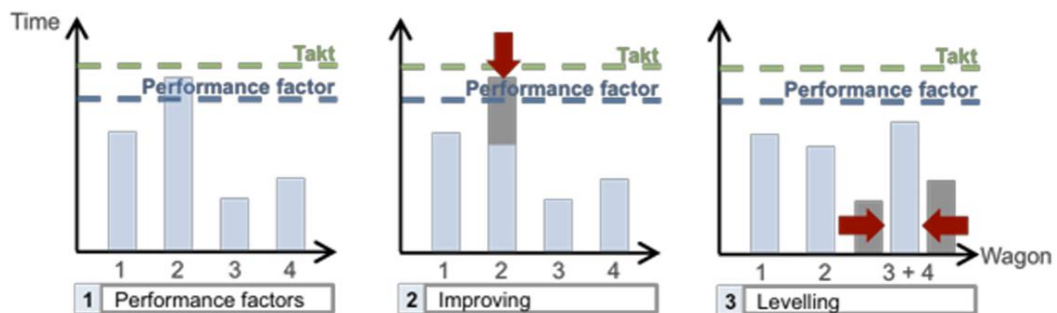
Tahtiaika voidaan laskea seuraavan kaavan mukaisesti:

$$Tahti aika = \frac{Tahti\ aluen\ sisältö\ [Kokonaisuus = m^2] * Ponnistuksen\ arvo\ \left[ \frac{Aika}{Kokonaisuus} = \frac{h}{m^2} \right]}{Valittu\ työvoima}$$

[Haghsheno ym. 2016]

Urakoitsijan näkökulmasta laskettu tahti aika on vertailtava asiakkaan vaatimukseen. Tarvittaessa tahti aikaa voidaan säätää vähentämällä varausaika tai optimoimalla ja nopeuttamalla prosesseja asiakkaan vaatimusten mukaisesti. Koska työpaketteja harvoin voidaan automaattisesti sovittaa yhden tahtituotannon syklin keston, tarvitaan harmonisointitoimenpiteitä, jotka on kuvattu kuvassa 2.

Työprojektin kesto voidaan säätää joko pidentämällä tai lyhentämällä sitä lisäämällä tai vähentämällä työntekijöiden määrää. Tämä näkyy kuvassa 2 kohdassa 2, jossa esitetään parannusten vaikutus aikatauluun. Lisäksi työpaketit on mahdollista yhdistää yhdeksi aikajaksoksi, kuten kuvassa 2 kohdassa 3, jossa tasointiprosessi on esitetty. Työvaiheita voidaan myös muuttaa, optimoida tai korvata käyttämällä erilaisia tuotteita tai prosesseja, mikä edelleen vaikuttaa projektin aikatauluun ja tehokkuuteen. [Haghsheno ym. 2016.]



Kuva 2. Työpakettien tasaaminen [Haghsheno ym. 2016]

Jakamalla työpaketteja tahtiin tai aikasykliin ja järjestämällä ne jatkuviksi 'vaunuiksi' tai 'konteiksi' luodaan yhtenäinen 'työjuna'. Työjunat, jotka on priorisoitu asianmukaisesti, muodostavat kattavan tuotantosuunnitelman, joka sisältää sekä toistettavat että ei-toistettavat työalueet. Ei-toistettavat työalueet käsittävät aikariippuvaiset ja aikaitseäiset työpaketit, jälkimmäisten toimiessa

'työstettävänä tehtävinä', jotka tasapainottavat kokonaistyömäärän. Tuotantosuunnitelman luomisessa on välttämätöntä välttää perinteisiä Gantt-kaavioita, koska ne eivät riittävästi ota huomioon tilallisia elementtejä. Sen sijaan tekijät kannattavat kaaviota, joka yhdistää ajan ja tilan. Tämä lähestymistapa mahdollistaa helpon projektin ohjauksen ja läpinäkyvyyden asiakkaan näkökulmasta. Kuvassa 3 esitetään esimerkki pääurakoitsijan näkökulmasta tahtituotantosuunnitelman laatimisesta, joka on olennainen osa tehokasta projektinhallintaa rakennusalalla. [Haghsheno ym. 2016.]



Kuva 3. Tahtituotantosuunnitelman valmistelu [Haghsheno ym. 2016]

### 2.1.8 Tehtävien painoarvon määrittäminen

Tehtävien painoarvo määritellään rakennushankkeessa tehtävän merkityksen ja riippuvuuksien perusteella. Aikataulun laadinnassa on huomioitava tehtävien riippuvuudet. Riippuvuuksia on neljä erilaista: loogiset riippuvuudet, olosuhde-riippuvuudet, tekniset riippuvuudet ja resurssiriippuvuudet. Riippuvuudet vaikuttavat tehtävien suoritusjärjestykseen ja keston, sekä tehtävien aloitus- ja loppuspäivämääriin. Riippuvuuksien analysointi on tärkeää rakennushankkeen ongelmakohtien havaitsemiseksi. Aikataulun laatimisessa voidaan käyttää yhteisen vaihesuunnittelun periaatetta, jossa urakoitsijat laativat yhdessä yhteisen

aikataulun. [Aikataulukirja 2016 2015; Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2017 2011.]

### 2.1.9 Edistymisen seuranta

Edistymisen seuranta on tärkeää rakennusprojektien aikataulujen toteutumisen kannalta. Tätä varten on olemassa erilaisia menetelmiä, kuten suunnittelukoukkuja, risteilypalavereita, työmaakoukkuja, urakoitsijapalavereita, mallikatsemuksia ja projektipankkeja. On tärkeää noudattaa sovittuja menettelyjä ja varmistaa riittävät resurssit suunnittelulle. Suunnitelmat ovat valmiit vasta kun kaikki suunnittelu on tehty detajipiirustuksineen, ristiin tarkastukset on pidetty ja mahdolliset korjaukset on tehty. Mikäli aikataulun toteutuminen poikkeaa suunnitellusta, järjestetään ohjauspalaveri, jossa mietitään keinoja tavoitteen saavuttamiseksi. [Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2017 2011.]

Projektin edistymisen seuranta on keskeinen osa projektinhallintaa ja sen avulla voidaan arvioida projektin etenemistä suhteessa aikatauluun, kustannuksiin ja laatuvaatimukseen. Projektin edistymistä voidaan kuvata eri mittareilla, kuten suoritelmäärällä tai valmiusasteella, joita seurataan säännöllisin väliajoin. Hyvin suunniteltu ja toteutettu seuranta auttaa myös havaitsemaan mahdolliset ongelmat ja muutostarpeet ajoissa, jolloin niihin voidaan reagoida nopeasti ja välttää viivästyksiltä tai kustannusten kasvulta. [Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2017 2011.]

## 2.2 Projektin laadunvarmistus

Rakennushankkeen laadunvarmistus on koko rakentamisprosessin tärkeämpiä osia. Laadunvarmistuksessa huomioidaan suunnittelun, tuotannon, asiakkaan ja ympäristön laatu, jonka tarkoituksena on varmistaa tehokas työ, joka tuottaa sovitun laadun asiakkaalle kerralla. Laadunvarmistussuunnittelu auttaa projektia etenemään onnistuneesti, vähentää virheitä, alentaa kustannuksia, parantaa tiedonkulkua työmaalla eri toimijoiden välillä ja selkeyttää vastuita. Laadunvarmistusvaiheet ovat tarjous- ja sopimusvaihe, rakentamisen valmisteluvaihe,



rakentamisvaihe, viimeistely- ja luovutusvaihe, takuu- ja vastuuvaihe. [Rakennustöiden laatu RTL 2017 2016.]

### 2.2.1 Laatusuunnittelu

Laatusuunnittelu on tärkeä osa laadukasta rakennustuotantoa, jonka tavoitteena on varmistaa, että työt toimitetaan asiakkaalle virheettömästi. Laatusuunnittelu on suunnitteluprosessi, jonka tarkoituksena on taata tuotteen tai palvelun täyttävän sille asetetut laatuvaatimukset. Laatusuunnittelu kattaa tarvittavat linjaukset, ohjeet ja toimintasuunnitelman, joiden avulla voidaan saavuttaa laatuvaatimukset. Laatusuunnittelun avulla pyritään varmistamaan aikataulu- ja kustannustavoitteiden saavuttaminen, työturvallisuus, suunnitelmien noudattaminen ja lopputuotteen sopimusmukaisuus. [Rakennustöiden laatu RTL 2017 2016; Talonrakennushankkeen kulku 2017.]

### 2.2.2 Laadunvarmistus

Laadunvarmistusprosessi määrittellään hankkeen sopimusasiakirjoissa ja se määrittelee suunnitelmien ja työvaiheiden eri vaiheet, katsaukset ja tarkastukset. Laadunvarmistus toteutetaan etukäteen sovitulla tavalla, ja sen tarkoituksena on varmistaa suunnitelmien mukainen toteutus ja laatutaso sekä vähentää virheitä ja puutteita. Ennen työsuorituksen aloittamista urakoitsijan tulee osoittaa kykynsä varmistaa tehtävien töiden laatu sekä ottaa vastuu työn tarkastamisesta ja mahdollisten virheiden korjaamisesta. Tarkastuspisteet, niiden sisältö ja asiakirjat sekä päivämäärät ja laajuus kirjataan laadunvarmistussuunnitelmaan. Laadunvarmistuskokousten pöytäkirjaan kirjataan todentamisen suorittajat. [Talotekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettely. Tehtävät ja dokumentointi 2018.]

### 2.2.3 Laadunvalvonta

Laadunvalvonta alkaa urakan aloituspalaverissa, jossa käydään läpi vaatimukset ja suunnitellaan keinot niiden saavuttamiseksi. Työn aikana tehdyt

tarkistukset ja mittaukset kirjataan laatukansioihin, ja laadunvalvontakokeista vastaa työnjohtaja. Tarkistuksista tehdään pöytäkirjat, ja laatupoikkeamista raportoidaan. Työkohteen tarkistukset dokumentoidaan, ja hyväksytyistä kohteista tehdään merkinnät. Työmaaorganisaatio valvoo suunnitellun työn toteutumista, ja tehtävien aloitusedellytykset tulee olla kunnossa ennen uuteen kohteeseen siirtymistä. Vastaanottokatselmukseen osallistuvat työmaan vastuhenkilö sekä aloittavan ja edeltävän työvaiheen edustaja. [Rakennustyömaan projektisuunnitelma 2011.]

#### 2.2.4 Laadunvarmistusprosessin toteutus

Laadunvarmistusprosessin toteuttamiseen kuuluu useita vaiheita, kuten

- laite- ja materiaali hyväksyntä
- malliasennukset
- laite- ja asennustapatarkastukset
- paine- ja tiiviyskokeet
- putkistojen huuhtelu ja puhtauden tarkastus
- urakoitsijoiden toimintatarkastukset
- rakennuttajan toimintakokeet
- järjestelmien virtauksien säätötyöt
- rakennusautomaatiojärjestelmän parametrien asettelu ja viritys
- koekäyttö ja kuormituskokeet
- mittaukset
- viranomaiskatselmukset
- luovutus- ja käyttöasiakirjat
- käyttöönotto
- vastaanottotarkastus
- toimivuustarkastus; suositeltava jatko-osa laadunvarmistukselle [Talotekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettely. Tehtävät ja dokumentointi 2018].

Suunnitteluvaiheessa laaditaan laadunvarmistussuunnitelma, jossa esitetään laatutavoitteet, menettelyt ja vastuut kutakin hankevaihetta varten. Suunnitelman tulee sisältää myös laadunvalvonnan tarkistuslista, jolla varmistetaan, että kaikki tarvittavat tarkastukset ja testit suoritetaan. Suunnitteluvaiheen laadunvarmistusprosessi sisältää suunnitteluasiakirjojen tarkastamisen ja hyväksynnän, jolla varmistetaan, että ne noudattavat sekä hankkeelle asetettuja vaatimuksia ja standardeja että sovellettavia lakeja ja asetuksia. [Talotekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettely. Tehtävät ja dokumentointi 2018.]

Suunnitteluryhmän tehtävänä on kehittää järjestelmä, joka tunnistaa ja korjaa suunnitteluvirheitä ja puutteita. On kuitenkin tärkeää huomata, että tämä vastuu ei kuulu ainoastaan suunnitteluryhmälle, vaan YSE:n mukaisesti myös urakoitsijoiden on velvollisuus huomauttaa havaitsemistaan suunnitelmapuutteista ennakolta ja niiden havaitsemisen jälkeen mahdollisimman pian. Tämä tarkoittaa, että sekä suunnitteluryhmän että urakoitsijoiden on työskenneltävä yhteistyössä havaittujen suunnitteluvirheiden ja puutteiden tunnistamisessa ja korjaamisessa. Näin varmistetaan, että projekti etenee sujuvasti ja mahdolliset ongelmat ratkaistaan tehokkaasti, mikä luo pohjan korkealaatuiselle ja onnistuneelle lopputulokselle. [Talotekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettely. Tehtävät ja dokumentointi 2018.]

Rakennusvaiheessa laadunvarmistusprosessiin kuuluu laadunvalvonnan tarkistuslistan toteuttaminen ja sen varmistaminen, että kaikki materiaalit, laitteet ja työt ovat määriteltyjen vaatimusten mukaisia. Säännöllisiä tarkastuksia ja testejä olisi suoritettava mahdollisten vikojen tai vaatimustenvastaisuuksien havaitsemiseksi ja niiden korjaamiseksi. Käyttöönottovaiheessa laadunvarmistusprosessiin kuuluu testaaminen ja sen varmistaminen, että kaikki järjestelmät ja laitteet toimivat tarkoitetulla tavalla ja että ne täyttävät hankkeen vaatimukset. Tähän sisältyy suorituskykytestien suorittaminen ja sen varmistaminen, että kaikki tarvittavat asiakirjat ja käyttöoppaat on toimitettu. [Talotekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettely. Tehtävät ja dokumentointi 2018.]

Luovutusvaiheessa laadunvarmistusprosessiin kuuluu lopputarkastuksen suorittaminen ja sen varmistaminen, että kaikki työt on tehty vaatimusten mukaisesti. Luovutusprosessiin olisi myös kuuluttava rakennuksen käyttäjille ja huoltohenkilöstölle annettava koulutusta rakennuksen ja sen järjestelmien asianmukaisesta toiminnasta ja kunnossapidosta. Laadunvarmistusprosessin toteuttaminen on olennaisen tärkeää sen varmistamiseksi, että rakennushankkeet saatetaan loppuun laadukkaasti ja vaatimusten mukaisesti. Noudattaen järjestelmällistä lähestymistapaa ja sisällyttäen kaikki sidosryhmät koko projektin elinkaaren aikana, rakennusryhmät voivat taata, että saavutettu lopputulos vastaa asiakkaan odotuksia sekä tarjoaa käyttäjilleen turvallisen, viihtyisän ja kestävä ympäristön. [Talotekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettely. Tehtävät ja dokumentointi 2018.]

### **3 Tapaustutkimus**

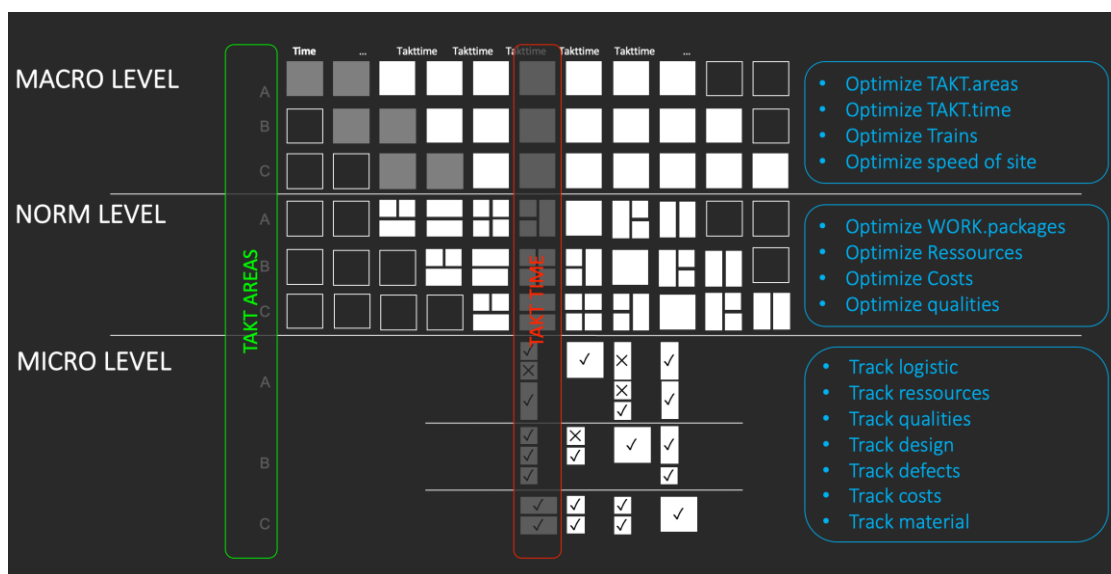
#### **3.1 Hanke**

Hanke on uusi ja mittava sairaalaprojekti, joka sijaitsee Uudenmaan alueella. Rakennusvalvonnan päätöksen mukaan kohde on poikkeuksellisen vaativa. Rakennustyöt aloitettiin muutama vuosi sitten. Projekti toteutetaan yhteistoiminnallisena projektinjohtourakkana ja tavoitebudjetilla, jonka LVIS-projektinjohtourakasta vastaa Saipu Oy. Rakennustyömaa on liikenteellisesti haastava, minkä vuoksi katuverkon liikennesuunnitteluun on kiinnitetty erityistä huomiota. Kellarikerrokseen rakennetaan ajoneuvojen pysäköintilaitos, lastaus- ja purkupiha, jonne ohjataan potilaiden saattoliikenne. Sairaala on suunniteltu siten, että se on esteetön ja käyttäjien on helppo liikkua. Tämän uuden sairaalan tavoitteena on olla johtava sairaalakeskus Euroopassa, ja rakentamisen arvioitu kustannus on yli 150 miljoonaa euroa.

#### **3.2 Hankkeessa käytetty aikataulumenetelmä**

Projektissa hyödynnetään tahtituotantoa, jonka muodostamiseen ja hallintaan on käytetty TAKT.app-sovellusta. TAKT.app on sovellus, joka on suunniteltu

erityisesti rakennusalalle ja jonka tarkoituksena on lisätä tuottavuutta. Sovelluksen luojilla on yli kymmenen vuoden kokemus rakennusalan toiminnasta, ja he ovat tunnistaneet perinteisten työkalujen, kuten Excelin ja MS Projectsin, asettamat rajoitukset. He näkivät TAKT.app-sovelluksen tarjoaman potentiaalisen tuottavuutta lisäävän tekijänä ja päätyivät luomaan räätälöidyn tahtituotantoratkaisun rakennusalalle. TAKT.app-sovelluksen kolme tietotasoa on esitetty kuvassa 4, joita voidaan käyttää ajanseurannan ja työnhallinnan helpottamiseksi. [TAKT.app 2023.]



Kuva 4. TAKT.app-sovelluksen toimintamalli ja tietotaso

Ottamalla tasot huomioon aikasuunnitelmaa laadittaessa voidaan helpottaa sekä ajanseuranta että työnhallintaa. Tällainen lähestymistapa voi olla hyödyllinen yksilöille tai tiimeille, jotka haluavat parantaa työnsä tehokkuutta ja tuottavuutta. TAKT.app-sovelluksen tavoitteena on muuttaa tapaa, jolla liiketoimintaa tehdään rakennusalalla, sillä se tarjoaa ohjelmistoratkaisun, joka on suunniteltu erityisesti tahtituotannon käyttöön rakennusalalla. Vaikka sovellus ei ole itsenäinen liiketoimintamalli, se on väline, jonka avulla rakennusalan yritykset voivat parantaa tuottavuuttaan ja tehokkuuttaan. TAKT.app-sovelluksen luojat ovat sitä mieltä, että kaikilla pitäisi olla mahdollisuus käyttää sitä rakentamisessa, ja siksi he tarjoavat sitä ilmaiseksi. Sovelluksen suuren kysynnän vuoksi he

kuitenkin suodattavat pyyntöjä ja keskittyvät pelkästään varsinaisiin hankkeisiin. TAKT.app-sovellus tarjoaa yksilöllisen ratkaisun tahtituotannon käyttöön rakentamisessa, ja se on saatavilla ilmaiseksi niille, joille hankekriteerit täyttyvät. [TAKT.app 2023.]

### 3.3 Hankkeen laadunvarmistus menetelmät

Projektin onnistuminen talotekniikkaurakoitsijan eli Saipu Oy:n näkökulmasta riippuu useista tekijöistä, kuten kustannusten hallinnasta, aikataulussa pysymisestä, laadunhallinnasta, riskienhallinnasta ja yhteistyöstä. Bonusjärjestelmä on yksi tapa kannustaa urakoitsijaliikettä saavuttamaan projektin tavoitteet ja ylittämään odotukset, minkä vuoksi tässä sairaalaprosjektissa käytetään bonusjärjestelmää. Kyseisessä bonusjärjestelmässä Saipu Oy:lle maksetaan bonuspalkkio, jos se saavuttaa projektin toteutukselle asetetut tavoitteet. Bonuspalkkion edellytykset liittyvät kustannusten hallintaan, aikataulussa pysymiseen, laadunhallintaan, riskienhallintaan ja yhteistyöhön.

Ensimmäinen vaatimus on hankkeen kustannusten hallinta ja toteutus sovitun tavoitebudjetin puitteissa. Tämä tarkoittaa, että Saipu Oy:n tiimin on hallittava projektin kustannuksia ja pidettävä ne sovitulla tasolla, jotta budjetti ei ylitä. Jos Saipu Oy onnistuu täyttämään tämän vaatimuksen, maksetaan tästä bonuspalkkio.

Toinen vaatimus on projektin aikataulun hallinta, joka sisältää logistiikan ja materiaalitöimitysten hallinnan sekä välitavoitteiden seurannan projektin aikana. Tämä tarkoittaa, että talotekniikkaurakoitsijan tiimin on huolehdittava siitä, että materiaalitöimitykset tehdään ajallaan ja asetetut välitavoitteet toteutetaan sovitussa aikataulussa. Jos tiimi onnistuu täyttämään tämän vaatimuksen, maksetaan bonuspalkkio.

Kolmantena vaatimuksena on projektin laadunhallinta, johon kuuluu muun muassa projektin dokumentaation hallinta, poikkeamien hallinta, 0- virheluovutukset, P1-puhtaustoimenpiteet, vaatimusten noudattaminen, huomautusten

määrän hallinta ja toimitettujen materiaalien laatu poikkeamien hallinta. Talotekniikkaurakoitsijan tiimin on varmistettava, että liikevaihtodokumentaatio on kunnossa, poikkeamat käsitellään asianmukaisesti ja toimitetut materiaalit täyttävät vaatimukset.

Hankkeessa käytetään Dalux-ohjelmistoa. Daluxia käytetään hankkeessa suunnittelun ohjaukseen, projektipankkina ja myös Building Information Model (BIM) mallien tarkasteluun. Dalux on tanskalainen ohjelmistoyritys, joka on erikoistunut käyttäjäystävällisten digitaalisten työkalujen ja BIM-tekniikan kehittämiseen rakennusalalle. Tanskan teknillisestä yliopistosta tietokonegrafiikan tohtoriksi väitellyt Bent Dalgaard ja hänen veljensä Torben Dalgaard perustivat yrityksen vuonna 2005. [About Dalux 2023.]

Daluxin tuotteet ja palvelut on suunniteltu auttamaan tekemään rakennusteollisuudesta älykkäämpää ja tehokkaampaa minimoimalla hukkaan menevää aikaa ja resursseja, mikä puolestaan auttaa rajoittamaan saasteiden ja päästöjen määrää prosessissa. Daluxin BIM-tekniikkaa käyttävät johtavat urakoitsijat, rakentajat ja neuvonantajat 147 maassa. Daluxilla on joukko kehittäjiä ja konsultteja, joilla on 3D-visualisointitaitoja, ja yritys optimoi jatkuvasti olemassa olevaa tekniikkaa ja kehittää uusia urauurtavia ratkaisuja tiiviissä yhteistyössä käyttäjiensä kanssa. Kaikki kehitys tapahtuu saman katon alla yrityksen pääkonttorissa Kööpenhaminassa, Tanskassa. Daluxilla on myös useita ulkomaisia toimipisteitä ja Customer Success Management -tiimi, joka varmistaa, että sen yli 700 000 käyttäjää saa apua missä päin maailmaa tahansa. [About Dalux 2023.]

Hankkeessa toteutetaan hyväksymisprosessi, joka tähtää korkeatasoisen rakentamisen laadun ja taloteknisten materiaalien sekä laitteiden laadun takaamiseen. Tämän prosessin yhtenä keskeisenä tavoitteena on teknisten suoritusarvojen riittävyyden varmistaminen, mikä mahdollistaa rakennus- ja taloteknisten järjestelmien toiminnallisuuden ja kestävyuden arvioinnin. Näin varmistetaan, että hankkeessa toteutetaan kestäviä ja energiatehokkaita ratkaisuja, jotka täyttävät sekä rakentamismääräykset että käyttäjien tarpeet. Projektissa käytetään

erilaisia talotekniikan tuotteita, esimerkiksi putkia, puhaltimia, pattereita, ilmanvaihtokoneita ja kanavia.

Suomessa käytetään kansallisia hyväksyntämenettelyjä niiden rakennustuotteiden osalta, joille CE-merkintä ei ole sovellettavissa. CE-merkintä on Euroopan unionin myöntämä tunnus, joka viestittää, että tuote noudattaa yhdenmukaistettuja EU-standardeja. Kuitenkin joissakin tapauksissa, rakennustuotteet eivät täytä näitä standardeja tai niille ei ole vielä olemassa yhdenmukaistettuja standardeja. Tällöin kansalliset hyväksyntämenettelyt tulevat sovellettaviksi. Nämä kansalliset hyväksyntämenettelyt pohjautuvat lakiin, joka koskee tietyntyyppisiä rakennusalaalla käytettäviä tuotteita. Menettelyjen avulla valmistajat voivat osoittaa, että valmistajan tuotteet täyttävät Suomen maankäyttö- ja rakennuslainsäädännön vaatimukset, vaikka niille ei voidakaan myöntää CE-merkintää. Näin varmistetaan, että Suomessa käytettävät rakennustuotteet ovat turvallisia ja laadukkaita, vaikka ne eivät olekaan yhdenmukaistettujen EU-standardeja noudattavien tuotteiden piirissä. [Rakennustuotteiden kansalliset tyyppihyväksyntämenettelyt. n.d.]

Rakennustuotteita koskevissa hyväksyntämenettelyissä on kolme vaihtoehtoa, joista voi valita vapaaehtoisesti: tyyppihyväksyntä, varmennustodistus ja valmistuksen laadunvalvonnan varmentaminen. Kohdekohtaista varmennusta käytetään myös silloin, kun rakennustuotteen kelpoisuutta ei voida osoittaa muulla. Varmennustodistus on myös vapaaehtoinen menettely, jolla valmistaja osoittaa, että tuote täyttää sille lainsäädännössä asetetut vaatimukset. Valmistuksen laadunvalvonta on myös vapaaehtoinen menettely, jolla valmistaja osoittaa, että rakennustuote täyttää sille lainsäädännössä säädetyt vaatimukset. [Rakennustuotteiden kansalliset tyyppihyväksyntämenettelyt. n.d.]

Hankkeen hyväksymisprosessi alkaa valitsemalla kustannustehokas tuottaja tai toimittaja. Tämän jälkeen esitellään materiaalin, koneen tai laitteen tekniset tiedot ja ominaisuudet. Suunnittelijat ja asiantuntijat varmistavat sen soveltuvuuden projektiin, ja tarkistetaan, että tuotteella on tarvittavat sertifikaatit tai



tyyppihyväksynät. Lopuksi hyväksynnästä tehdään merkintä Excel-taulukkoon, jonka tavoitteena on seurata prosessia.

Hankkeen tuotteiden hyväksymisprosessissa mukana olevat henkilöt ovat tilaajan talotekniikka-asiantuntija, projektinjohtourakoitsijan talotekniikkakoordinaattorit, suunnittelijat, talotekniikkaurakoitsijan projektipäällikkö ja projekti-insinööri. Sairaalaprojektin talotekniikkatuotteiden hyväksymiskriteereihin kuuluvat kansalliset hyväksyntämenettelyt ja erilaiset sertifikaatit, kuten CE-merkintä tai tyyppihyväksyntä. Jos tuotteella ei ole sertifikaattia, sen hyväksyminen voi tapahtua varmennustodistuksen ja valmistuksen laadunvalvonnan varmentamisen perusteella. Tuotesertifikaattien ja hyväksyntöjen vaatimukset vaihtelevat materiaalien, laitteiden ja koneiden mukaan.

Laadunvarmistus- ja testausmenetelmiä on hyödynnetty hankkeessa varmistamaan, että tuotteet täyttävät tekniset suorituskykyvaatimukset, jotka on määriteltä standardeissa ja laatuvaatimuksissa. Esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden tulee pystyä tuottamaan haluttu ilmamäärä ja paine, ja niiden ilmavirtaominaisuudet ovat myös ratkaisevan tärkeitä tekijöitä. Ominais sähkötehon eli SFP-arvon huomiointi on myös välttämätöntä, jotta ilmamäärä voidaan saavuttaa tietyllä sähköenergiankulutuksen tasolla. Siksi on keskeistä kehittää testausmenetelmiä, jotka ottavat huomioon nämä tekniset vaatimukset ja mahdollistavat tehokkaan laadunvarmistuksen tuotteille.

## **4 Analyysi**

Aikataulun hallinta havaittiin tapaustutkimuksessa merkittäviksi projektinhallinnan tehtäväksi, jonka tärkein työkalu on tahtiaikataulu. Tahtiaikataulun käytöllä on monia hyötyjä, kuten projektinhallinnan helpottaminen, tiimin ymmärryksen lisääminen projektin tärkeysjärjestyksestä ja realistisemmän suunnittelun mahdollistaminen. Priorisointinäkökulmasta tahtiaikataulu auttaa keskittämään tiimin voimavarat ensisijaisiin tehtäviin, mikä edistää ajan ja resurssien tehokasta käyttöä.

Tapaustutkimuksessa tunnistettiin tahtiaikataulun käyttämiseen liittyvän myös haasteita. Liian tiukka aikataulu ei huomioi odottamattomia tapahtumia tai ongelmia, jotka voivat viivästyttää projektia ja jopa johtaa sen epäonnistumiseen. Liian yksityiskohtainen suunnittelu voi myös häiritä projektin tärkeimpien tavoitteiden saavuttamista ja hidastaa projektin etenemistä. Lisäksi tahtiaikataulu voi jättää huomiotta epävarmuustekijöitä, jotka voivat johtaa odottamattomiin ongelmiin projektin aikana ja viivästyttää tai jopa estää projektin onnistumisen.

Sairaalan rakentaminen on monimutkainen prosessi, joka vaatii huolellista suunnittelua ja toteutusta. Vaikka tahtituotanto on tehokas menetelmä suurissa rakennusprojekteissa, sen soveltaminen sairaalan rakennushankkeeseen voi olla haastavaa ja tuoda mukanaan ongelmia, jotka vaikuttavat hankkeen onnistumiseen ja sairaalan toimivuuteen [Haghsheno ym. 2016]. Hankkeessa on asetettu tiukkoja vaatimuksia, erityisesti ilmanvaihtojärjestelmän osalta. Nämä vaatimukset rajoittavat työnkulun joustavuutta ja vaikeuttavat hankkeen tahtituotantomallin soveltamista.

Rakennushankkeen onnistuminen vaatii monialaista osaamista, hyvää suunnittelua ja tiivistä yhteistyötä kaikkien osapuolten kesken, jotta lopputulos on toimiva ja turvallinen sairaala, joka palvelee potilaiden ja henkilökunnan tarpeita parhaalla mahdollisella tavalla. On tärkeää varmistaa, että turvallisuusvaatimukset ja muut sairaalalle asetetut kriteerit täyttyvät, ja että kaikki työvaiheet sujuvat saumattomasti. Tiukka tahtituotanto voi vaikeuttaa tätä yhteistyötä ja saada aikaan hankaluuksia työskentelyssä [Haghsheno ym. 2016]. Näistä syistä tahtituotanto ei välttämättä ole paras menetelmä sairaalan rakennushankkeessa. Sen sijaan projektin tulisi keskittyä huolelliseen suunnitteluun, eri asiantuntijoiden väliseen yhteistyöhön ja työnkulun tarkkuuteen.

Varmistamalla aikataulun selkeys on keskeistä projektien menestymiselle ja tavoitteiden saavuttamiselle [Aikataulukirja 2016 2015]. Hankkeessa on havaittu puutteita tahtiaikataulujen noudattamisessa, mikä voi johtua tahtituotannon menetelmien epätäydellisestä soveltamisesta. Hankkeen menestymisen tehostamiseksi projektiryhmän tulee ymmärtää ja sitoutua tahtituotannon periaatteisiin

ja menetelmiin. Tämä vaatii vanhentuneista käytännöistä luopumista ja tehokkaampien ratkaisujen omaksumista. Jatkuvilla tahtiaikataulujen parantamisella voidaan vastata paremmin ryhmän tarpeisiin ja edistää tavoitteiden saavuttamista. Projektin menestyksen kannalta on ratkaisevaa, että tahtiaikatauluja noudatetaan ja niiden selkeyttä tarkastellaan säännöllisesti.

Toistettavuuden puuttuminen tietyiltä alueilta saattaa johtaa niiden jättämiseen pois tahtituotannon aikataulusta [Haghsheno ym. 2016]. Esimerkkeinä tällaisista alueista ovat hankkeen alimmat kerrokset, leikkaussalit ja toimenpidehuoneet sekä tekniset tilat, kuten konehuoneet. Näiden tilojen rakentamisen haasteet johtuvat niiden monimutkaisuudesta, laajuudesta sekä erityisosaamista ja -materiaaleja vaativasta rakentamisesta, mikä voi lisätä kustannuksia ja aikaa.

Tekniset tilat ovat hankkeiden toiminnan kannalta kriittisiä, minkä vuoksi niiden suunnitteluun ja toteutukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Lisäksi teknisten tilojen välillä on huomattavia eroja eri sairaaloissa, mikä tekee standardoinnin haastavaksi. Tämän seurauksena jokaisen sairaalan on suunniteltava ja rakennettava omat tekniset tilansa, mikä voi olla erittäin kallista ja aikaa vievää. Tämä johtaa usein siihen, että nämä tilat jätetään hankkeen tahtituotantoaikataulun ulkopuolelle, jotta muut hankkeen osat voivat edetä nopeammin.

Teknisten tilojen rakentaminen voi vaikuttaa muiden rakennuksen osien toimintaan. Esimerkiksi, jos ilmanvaihtojärjestelmässä ilmenee vika, se saattaa vaikuttaa potilashuoneiden ilmanvaihtoon ja siten potilaiden terveyteen. Siksi on tärkeää, että nämä tilat suunnitellaan ja toteutetaan huolellisesti, jotta voidaan taata hankkeen vaatimukset ja standardit sekä varmistaa turvallinen ja tehokas toiminta. Vaikka näiden tilojen rakentaminen voi hidastaa hankkeen etenemistä, on tärkeää pitää mielessä niiden merkitys ja varmistaa, että ne suunnitellaan ja rakennetaan huolellisesti ja ammattitaidolla.

Huolellisesti suunniteltu ja ajoissa tehty esivalmistelu varmistaa projektin lopputuloksen laadun sekä auttaa välttämään mahdollisia haitallisia seurauksia [Talo-tekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettely. Tehtävät ja dokumentointi

2018]. Aiempien vaiheiden ja tehtyjen töiden tarkistaminen ja ajoittaminen tahtiaikatauluun auttaa projektin ja budjetin hallintaa, vähentää kokonaisaikaa sekä mahdollistaa resurssien tehokkaan käytön. Tahtituotannon suunnittelussa ja toteutuksessa on tärkeää ottaa huomioon esivalmistelun merkitys ja ajoittaa se oikein tahtiaikatauluun [Haghsheno ym. 2016].

Hankkeessa ei ole varattu aikaa LVI-töiden esivalmistelujen tarkistamiseen, aiempien vaiheiden sekä jo tehtyjen töiden tarkistamiseen. Nämä vaiheet ovat kriittisiä projektin etenemisen kannalta, ja niiden laiminlyönti tai viivästyminen voi vaikuttaa merkittävästi projektin etenemiseen. Esimerkiksi jos putkien reikiä ei ole tehty ennen putkiston asentamista, työ on keskeytettävä reikien tekemisen takia. Tämä voi viivästyttää projektia ja aiheuttaa lisäkustannuksia ja haasteita. Aiempien vaiheiden ja tehtyjen töiden tarkistaminen auttaa varmistamaan tarvittavien työkalujen ja materiaalien saatavuuden sekä välttämään ylimääräisiä kustannuksia, jotka voivat aiheuttaa viivästyksiä tai muita ongelmia.

Työn tarkastaminen on olennainen osa tehokasta suoritusta ja virheiden välttämistä. Hankkeessa on oletettu tahtituotannon helpottavan työn tarkastamista ja korjaamista, mutta haasteeksi ovat muodostuneet monet yhteydet ja vuorovaikutukset eri vaiheiden välillä. "Korjataan sitten" -asenne voi aiheuttaa ongelmia tahtituotannossa, joten on tärkeää varmistaa, että seuraavan tahdin edellytykset ovat kunnossa. Tämän ratkaisemiseksi on hankkeessa käytetty tarkastuslistoja, kommunikointia sidosryhmien kesken sekä resurssien hallintaa.

Resurssien tehokas kohdistaminen ja käyttäminen havaittiin hankkeessa keskeiseksi onnistuneen tahtituotannon edellytykseksi. Laadunhallinta tukee tässä tavoitteessa varmistamalla resurssien optimaalisen käytön ja prosessin sujuvuuden ilman viiveitä. Prosessin seuranta ja tarvittavien korjausten tekeminen ovat välttämättömiä tahtituotannon aikana. Laadun seuranta tässä vaiheessa auttaa havaitsemaan mahdolliset virheet ajoissa ja takaamaan, että tuotteet täyttävät vaatimukset.

Ideaali tahtituotannon työpaketti noudattaa jatkuvan parantamisen periaatetta, jossa prosessia arvioidaan säännöllisesti parannusmahdollisuuksien tunnistamiseksi. Laatu on tässä prosessissa keskeisessä roolissa, sillä se auttaa tunnistamaan heikkouksia ja varmistaa tuotantoprosessin tehokkuuden ja laadun. [Talotekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettely. Tehtävät ja dokumentointi 2018.] Integroimalla laadunhallinta jokaiseen tahtivaiheeseen, ideaali tahtituotannon työpaketti mahdollistaa tehokkaan ja laadukkaan tuotannon.

Hankkeessa havaitun perusteella työn toteutuksen lykkääminen myöhempään ajankohtaan voi aiheuttaa häiriöitä koko työprosessin sujuvuudessa, mikä puolestaan voi viivästyttää työn valmistumista tai heikentää tuotteen tai palvelun laatua. Tämän estämiseksi on keskeistä soveltaa selkeästi määriteltyjä prosesseja tahtituotannossa, joita tiimi noudattaa johdonmukaisesti. Tämä auttaa varmistamaan, että jokainen vaihe työprosessissa suoritetaan asianmukaisesti ja aikataulussa. Lisäksi on olennaista, että tiimillä on käytettävissään riittävät resurssit ja että aikataulut laaditaan realistisesti. Kokonaisvaltaisesti ottaen laadunvalvonnan ja -varmistuksen merkitys on suuri tahtituotannossa, jossa työ etenee vaiheittain. Tämä edistää lopputuotteen tai -palvelun korkeaa laatua.

Tulevaisuudessa tahtiaikataulun käyttömahdollisuudet rakennushankkeissa ovat erittäin lupaavia, koska tahtiaikataulu mahdollistaa tarkkojen aikataulujen luomisen, mikä auttaa projektitiimejä hallitsemaan työvoimaa, materiaaleja ja muita resursseja tehokkaammin. Tahtiaikataulun avulla voidaan myös tunnistaa riskit ja haasteet, jotka voivat vaikuttaa projektin aikatauluun ja kustannuksiin. Kehittyneet teknologiat ja tietojärjestelmät auttavat projektitiimejä hallitsemaan projektejaan entistä tehokkaammin ja kestävämmiin, ja tahtiaikataulu on keskeinen työkalu tässä kehityksessä.

## **5 Yhteenveto**

Opinnäytetyössä käsiteltiin talotekniikan projektien aikataulutusta ja laadunhallintaa, erityisesti sairaalan rakennushankkeessa. Opinnäytetyössä keskityttiin projektin ajalliseen johtamiseen ja laadunvarmistukseen ja tulkittiin menetelmiä

tehtävien määrittämiseen, työjärjestyksen, resurssien ja keston arviointiin sekä aikataulun luomiseen ja hallintaan. Perehdyttiin myös tahtituotantoon, tehtävien painoarvojen määrittämiseen ja edistymisen seurantaan. Laadunvarmistusosiossa tarkasteltiin laatusuunnittelua, laadunvarmistusta ja laadunvalvontaa sekä laadunvarmistusprosessin toteuttamista. Opinnäytetyö sisältää tapaustutkimuksen, jossa havainnoitiin hanketta, sen aikataulutuksen menetelmiä ja laadunvarmistuskeinoja.

Analyysi osoittaa, että tahtiaikataulun käyttö talotekniikan projekteissa, kuten sairaalan rakentamisessa, tarjoaa hyötyjä ja haasteita. Hyötyihin kuuluvat esimerkiksi projektinhallinnan helpottuminen, tiimin ymmärryksen lisääntyminen projektin tehtävien tärkeysjärjestyksestä ja realistinen työnsuunnittelu. Haasteina ovat muun muassa liian tiukan aikataulun aiheuttamat ongelmat ja yksityiskohtaisen suunnittelun haasteet, jotka voivat hidastaa projektin etenemistä tai jopa johtaa sen epäonnistumiseen. Sairaalan rakentamisprojekteissa on monimutkaisia ja kriittisiä tehtäviä, joihin tulee kiinnittää erityistä huomiota suunnittelussa ja toteutuksessa. Tahtituotantomallin soveltaminen sairaalan rakennushankkeessa voi olla haasteellista ja aiheuttaa ongelmia, jotka vaikuttavat hankkeen onnistumiseen ja sairaalan toimivuuteen. On tärkeä varmistaa turvallisuusvaatimusten ja muiden sairaalalle asetettujen kriteerien täytyminen sekä saumaton työvaiheiden eteneminen.

Opinnäytetyö korostaa tehokkaan aikataulutuksen ja laadunhallinnan merkitystä projektinhallinnassa, mikä edesauttaa projektin onnistumista. Onnistunut projektinhallinta vaatii monialaista osaamista, hyvää suunnittelua ja tiivistä yhteistyötä kaikkien osapuolten kesken. Aikataulujen noudattaminen, selkeyden varmistaminen, ennakointi, suunnittelu, yhteistyö, viestintä ja resurssien hallinta ovat keskeisiä tekijöitä projektien menestymiselle ja tavoitteiden saavuttamiselle. Vaikka tahtituotanto ei välttämättä ole paras menetelmä sairaalan rakennushankkeessa, huolellinen suunnittelu, eri asiantuntijoiden välinen yhteistyö ja työnkulun tarkkuus ovat keskeisiä tekijöitä projektin onnistumisessa. Talotekniikan projektien aikataulutus ja laadunhallinta ovat avainasemassa projektin

onnistumisessa. Tehokkaan projektinhallinnan avulla voidaan saavuttaa projektin tavoitteet.

Tapaustutkimuksen perusteella projektinhallinnan tulisi keskittyä ennakointiin, suunnitteluun, yhteistyöhön, viestintään ja resurssien hallintaan, jotta tahtituo-  
tanto voidaan toteuttaa onnistuneesti ja varmistaa projektin tehokas eteneminen sekä lopputuloksen laatu. Tämä edellyttää jatkuvaa tahtiaikataulujen parantamista, aikataulumuutoksiin suhtautumista vakavasti ja niiden analysointia, riskien arviointia, mahdollisten ongelmien tunnistamista sekä resurssien hallintaa, jotta saavutetaan projektin tavoitteet ja sairaalan toimivuus.

## Lähteet

About Dalux. 2023. Verkkoaineisto. Dalux ApS, <<https://www.dalux.com/about-dalux>>. Luettu 23.4.2023.

Aikataulukirja 2016. 2015. Ratu KI-6028. Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Haghsheno, Shervin; Binninger, Marco; Dlouhy, Janosch & Sterlike, Simon. 2016. History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control. Teoksessa: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, Massachusetts, USA. 20.–22.7.2016.

Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2017. 2011. Ratu KI-6031. Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustuotteiden kansalliset tyyppihyväksyntämenettelyt. n.d. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/rakennustuotteiden-kansalliset-hyvaksyntamenettelyt>>. Luettu 23.4.2023.

Rakennustyömaan projektisuunnitelma. 2011. S-1229. Rakennustieto Oy.

Rakennustöiden laatu RTL 2017. 2016. Ratu KI-6029. Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki: Rakennustieto Oy.

TAKT.app. 2023. Verkkoaineisto. TAKT.ing. <<https://www.taking.com/taktapp/main>>. Luettu 23.4.2023.

Talonrakennushankkeen kulku. 2017. RT 10-11255. Rakennustieto Oy.

Talotekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettely. Tehtävät ja dokumentointi. 2018. RT 10-11302. Rakennustieto Oy.