

LAB-ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus

Lotta Niemelä

Korkean rakentamisen työsuunnittelu

Opinnäytetyö 2020

Tiivistelmä

Lotta Niemelä

Korkean rakentamisen työsuunnittelu, 56 sivua, 1 liite

LAB-ammattikorkeakoulu

Tekniikan alan koulutus Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus

Opinnäytetyö 2020

Ohjaajat: lehtori Heikki Vehmas, LAB-ammattikorkeakoulu, kehitysjohtaja Antti Aaltonen, SRV Rakennus Oy

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda tarkastuslista korkean rakentamisen työsuunnittelua varten. Työ rajattiin koskemaan korkeita rakennuksia. Suomessa korkealla rakennuksella tarkoitetaan rakennusta, jossa on kellarikerrokset mukaan lukien yli 16 kerrosta. Työsuunnittelulla työssä käsitetään pitkän tähtäimen suunnittelua, joka alkaa jo hankekehitysvaiheessa, ja pitää sisällään perinteisen tehtäväsuunnitelman.

Korkean rakentamisen työsuunnitteluun vaikuttavia asioita ovat rakennuksen ympäristö, runkoratkaisu, logistiikka, arvontuontiketjun yhteistyö ja tiedonkulu. Näiden lisäksi työsuunnittelussa pitää ottaa huomioon esimerkiksi rakennuksen työturvallisuus ja kustannukset. Opinnäytetyössä tutkittiin, miten visuaalisin keinoin voidaan auttaa työsuunnittelua. Opinnäytetyössä työsuunnittelua lähestyttiin leanin ajattelumallilla, joka korostaa projektin yhteistyötä koko projektin arvontuontiketjussa.

Opinnäytetyöhön on kerätty korkean rakentamisen perusrunkoratkaisut, joissa jokaisessa painottuvat eri asiat työsuunnittelussa. Esimerkiksi paikallavalurungoissa korostuvat työmaan sisäiset siirrot muottien siirroissa ja työmaan resursointi.

Opinnäytetyötä varten etsittiin työkaluja, joilla työsuunnitelma pystyttäisiin yhdistämään pitkän tähtäimen suunnittelusta lyhyen tähtäimen suunnitteluun. Työsuunnittelun kannalta Last Planner on työkalu, jolla voidaan helpottaa kokonaisuuden hahmottamista ja seurata työn etenemistä hanketasolla. VisiLean ja Kan-BIM ovat tietomallipohjaisia Lean Constructionin -työkaluja. Tietomallipohjaiset työkalut auttavat hankkeen hahmottamista työn eri vaiheessa visuaalisuutensa avulla. Niiden avulla avustetaan esimerkiksi rakentamiseen liittyvien esteiden poistamista runkotyövaiheessa.

Työtä varten tehtiin kyselytutkimus, jossa kävi ilmi edellä mainitut työsuunnittelun kannalta oleelliset asiat. Kyselytutkimuksen ja kerätyn teorian pohjalta muodostettiin opinnäytetyön tavoitteena ollut tarkastuslista. Tarkastuslistaa varten luotiin muistisääntö HYLKEÄ, joka muodostuu huomioitavien asioiden iskulauseiden etukirjaimista: Huomioi ympäristö, Yhteistyö, Logistiikka logistiikka logistiikka!, Kehitä runkoratkaisut, Ennakoi porukalla ja Älä jätä viime hetkeen.

Asiasanat: korkea rakentaminen, työsuunnittelu

Abstract

Lotta Niemelä

Work planning of High-rise construction 56 pages, 1 appendix

LAB University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Civil and Construction Engineering

Bachelor's thesis 2020

Instructors: Mr Heikki Vehmas, teacher in LAB University of Applied Sciences and Mr Antti Aalto, development manager SRV Construction Ltd

The thesis aimed to create a checklist for the work planning of high-rise construction. The work was limited to high-rise buildings. In Finland, a high-rise building has more than 16 floors, including basement floors. Work planning involves long-term planning that begins at the project development stage and includes a traditional work task plan.

Issues that affect the work planning of high-rise construction include the building environment, the frame solution, logistics, the cooperation of the value import chain, and the flow of information. In addition to these, work planning must take into account, for example, occupational safety and building costs. The thesis also explored the theory of visual means to help with work planning. In the thesis, work planning was approached with the lean thinking model, which emphasizes project's cooperation in the entire value chain of the project.

The basic frame solutions of high construction have been studied in the thesis because in every frame solution different things are emphasized in the work planning. For example, in in-situ casting it is important to handle on-site transfers of molds and on-site resourcing.

For the thesis, tools were sought to combine the work plan from long-term planning to short-term planning. In terms of work planning, the Last Planner is a Lean Construction tool that makes it easier to perceive the big picture and monitor work progress at the project level. VisiLean and KanBIM are BIM-based Lean Construction tools. BIM-based tools help to visualize the project at different stages of the work. They help, for example, to remove construction-related obstacles in the framework phase.

A query research was made for this thesis. The research showed the important issues of work planning which can be found earlier in this abstract. The checklist, which was the aim of this thesis, was created based on the query research and theory study of this thesis. The checklist has a memory rule from each issue of the list. The memory code in Finnish is HYLKEÄ and it comes from issues: notice your environment, co-operate, logistics, develop the frame solutions, forecast with your group, and never leave anything for the last moment.

Keywords: High-rise buildings, work planning

Sisällys

1	Johdanto.....	6
2	Korkea rakentaminen.....	8
2.1	Esimerkki korkean rakentamisen määritelmästä.....	8
2.2	Runkorakenteet	9
2.2.1	Leikkausvoimaa vastaanottavat runkorakenteet	12
2.2.2	Jaetun kuorman vastaanottavat runkorakenteet	13
2.2.3	Jäykistävä ulkokehä	15
2.2.4	Tuubirunko	16
2.2.5	Runkoratkaisujen vertailu korkean rakentamisen kannalta	18
3	Työsuunnittelu	20
3.1	Työsuunnittelun lean-ajattelumalli.....	22
3.2	Lyhyen tähtäimen suunnittelun yhdistäminen pitkäkestoiseen suunnitteluun	25
3.3	Visuaalinen työsuunnittelu	27
3.4	Menetelmien vertailu.....	31
4	Työsuunnittelun kyselytutkimus	32
4.1	Yleiset tiedot korkeasta rakentamisesta.....	33
4.2	Työsuunnitelmassa huomioitavat asiat	35
4.3	Lean-työkalut ja visuaaliset työkalut	36
4.4	Yhteenveto kyselytutkimuksesta.....	37
5	Tarkastuslista korkean rakentamisen rungon työsuunnittelua varten	38
6	Työsuunnitelman visuaalisuus	44
7	Yhteenveto.....	45
8	Pohdinta.....	46
9	Johtopäätökset	49
	Lähteet.....	51

Liite 1: Kyselytutkimuksen kysymykset

Käytetyt termit

Aksiaalivoima	Vinottain rakennukseen kohdistuvat voimat, jotka otetaan vastaan säteen suuntaisesti
Arvontuontiketju	Projektin osapuolet, jotka toiminnoillaan tuovat lisäarvoa projektin lopputulokseen
Arvontuotto	Lisäarvon tuottaminen projektin lopputulokselle. Ei sisällä toimenpiteitä, jotka ovat projektin kannalta hukkaa
BIM, BIM-malli	Building Information Model, rakennuksen tietomalli, kolmiulotteinen suunnitelma rakennuksesta
Kanban	Lean-työkalu, jossa luodaan tuotannonohjauskortteja. Tuotannonohjauskorteista käy ilmi mitä tuotanto tekee, kuinka paljon tuotetta tehdään, kuinka kauan tuotanto ottaa aikaa ja milloin tuotannon on oltava valmis
KanBIM	Kanbanin ja BIM-mallin yhdistämiseen perustuva lean-työkalu, jossa tietomallipohjaisesti tehdään tuotannonohjauskortteja, joilla tuotantoa pyritään ohjaamaan päivätasolla.
Last Planner	Lean-työkalu, jolla pyritään ydistämään pitkän aikavälin ja lyhen aikavälin aikataulut. Last-Plannerin perusideana on esteiden poistaminen viikottaisista työsuorituksista ja työn toteutuksen mittaus viikkotasolla
Lean	Tuotannonohjausfilosofia, jonka perusajatuksena on poistaa hukka arvontuontiketjusta erilaisia työkaluja käyttäen
Lean-projekti	Projekti, jonka läpiviennissä otetaan huomioon leanin periaatteet ja käytetään lean-työkaluja
Lookahead planning	Last Plannerin osa-alue, jossa tehdään kolmiviikkoissuunnitelma. Suunnitelmasta käy ilmi, kuinka paljon mitäkin työsuoritetta aiotaan kolmessa viikossa tehdä ja kuinka paljon resursseja työn suoritus vaatii
Projektisysteemi	Projektisysteemi tarkoittaa lean-toimintamallia, jossa hallinnoidaan rakennusalan kokonaisprojektia
Tuulikuorma	Tuulen rakennukseen kohdistuneesta paineesta syntyvä kuorma
Vaakasuuntainen voima	Rakennukseen x-akselin suuntaisesti (vaakasuuntaan) vaikuttava voima
VisiLean	Last Planneriin pohjautuva lean-työkalu, jossa Last Planner -ajattelu on yhdistetty BIM-malliin

1 Johdanto

Tuottavuuden parantaminen on ollut yksi rakennusalan suurimmista haasteista 2000-luvulla, koska alan tuottavuus ei ole kasvanut yhtä nopeasti kuin muilla teollisuuden aloilla. Yhdeksi syyksi tuottavuuden heikkoon kasvuun nähdään rakennushankkeen koostuminen useasta eri osapuolista, joiden yhteistyö ei toimi täydellisesti. Rakennusosalalla vallitseva kulttuuri, jossa hankkeen eri osapuolet yrittävät maksimoida oman tuloksensa hankkeen muiden osapuolten kustannuksella, on omiaan heikentämään yhteistoimintaa. (Lohilahti 2017.) Rakennushankkeen yhteistyöhön perustuvan tuottavuuden parantamisen ovat huomioineet myös Farook, Ballard ja Tommelin (2018), jotka ovat tutkimuksella osoittaneet, että työsuunnittelussa pitää huomioida koko toimitusketju.

Opinnäytetyöllä pyritään vastaamaan seuraavaan tutkimuskysymykseen: "Mitä asioita huomioidaan korkeassa rakentamisessa rungon työsuunnittelussa, ja miten työsuunnitelma kannattaa laatia visuaalisesti?" Siinä pyritään löytämään asioita, joita työsuunnittelussa pitäisi huomioida, jotta työn tuottavuutta pystytään parantamaan. Työn tavoitteena on luoda tarkastuslista työsuunnittelua tekeville henkilöille. Työssä kehitetty tarkastuslista on pyritty luomaan muistisäännöksi, jotta se jäisi paremmin työsuunnitteluun osallistuvien henkilöiden mieleen. Työssä on etsitty myös teoreettista pohjaa visuaalisille keinoille, joita on mahdollista hyödyntää tulevaisuudessa työsuunnitelmia laadittaessa.

Työssä ei käsitellä perinteistä tehtäväsuunnitelmaa, joka tehdään yksittäisestä aikataulutehtävästä. Tehtäväsuunnitelmalla käy ilmi aikataulu-, laatu- ja kustannustavoite. Tehtävän suunnittelussa on oleellista tehdä myös potentiaalisten ongelmien analyysi ja miettiä aikataulutehtävän työturvallisuus, materiaalit ja kalusto. (Kankainen ja Junnonen 1999.) Työssä työsuunnittelu käsitetään laajempänä prosessina kuin yksittäinen tehtäväsuunnittelu. Työsuunnittelulla käsitetään prosessia, joka tehdään ennen varsinaiseen työvaiheen aloitusta pitkän aikatahtaimen suunnitteluna. Tätä on pyritty hahmottamaan kuvassa 1.

Työsuunnittelun ajoitus



Kuva 1. Työsuunnittelun ajoitus rakennushankkeessa

Työ on rajattu rungon työsuunnitteluun korkeissa rakennuksissa, koska niiden merkitys suomalaisessa rakentamisessa on noussut 2010-luvulla tehokkaamman maankäytön takia. Suomen väestönkasvu on keskittynyt pääosin kaupunkien alueille ja niiden osuuden Suomen väestöstä on laskettu kasvavan myös tulevaisuudessa. Suomi on kansainvälisesti jäljessä kaupungistumisessa, joten on odotettavissa väestörakenteen kaupungistumisen jatkuvan vielä tulevaisuudessa, vaikka väestönkasvu hidastuisikin (Vainio 2016).

Korkeat rakennukset vaativat tuotannon tehokkuuden ylläpitämiseksi uusia toimenpiteitä. Perinteinen tehtäväsuunnitelman tekeminen ei riitä, koska sen laamiseen ei osallistu koko toimitusketju, vaan on yksittäisen henkilön näkemys työn kulusta. Korkeassa rakentamisessa tärkeimmistä työvaiheista, kuten runkotyövaiheesta on luotava tehtäväsuunnitelmaa laajempi työsuunnitelma, jonka tekemiseen osallistuu hankkeen koko arvoketju lean-ajattelumallin mukaisesti. Leanilla pyritään poistamaan hukka tuotannosta hyvällä yhteistyöllä. Hukan poistamisella pyritään kasvattamaan tuotannon tehokkuutta. (Koskela 2000.)

Opinnäytetyössä työsuunnitelmaa on tuotannon tehostamisen takia lähestytty lean-ajattelun avulla. Leanin käyttöönotto on tapahtunut rakennusalalla vaiheittain (Koskela ja Koskenvesa 2003). Rakennusalan toimintaympäristön eroavaisuuden muihin tuotannon aloihin huomioon ottavaa leanin suuntausta kutsutaan Lean Constructioniksi (Lean Construction 2020). Tällä hetkellä tunnetuin käytössä oleva Lean Constructionin työkalu on Last Planner (Koskela ja Koskenvesa 2003). Jatkossa tässä työssä ei ole eroteltu leania ja Lean Constructionia. Kuitenkin on hyvä muistaa, että Lean Constructionin sovellukset, kuten Last Planner eivät ole käytössä muilla teollisuuden aloilla. Yksi leanin perusajatuksista on tuoda työsuunnitteluun visuaalisuutta ja mitattavuutta (Dave, Boddy ja Koskela

2013). Työsuunnitelmaa laadittaessa on tärkeä pystyä luomaan yhteiset toimintatavat koko arvontuontiketjulle, ajoittaa työsuunnittelun aloitus oikein ja saada koko arvontuontiketju ymmärtämään, mitä työsuunnittelulla halutaan ilmaista.

2 Korkea rakentaminen

Tähän lukuun on kerätty maailmalla yleisesti tunnetut korkeiden rakennusten runkotyyppit, koska niiden työsuunnittelut eroavat toisistaan. Työsuunnittelun yhtenä vaiheena voidaan pitää runkojärjestelmän valintaa.

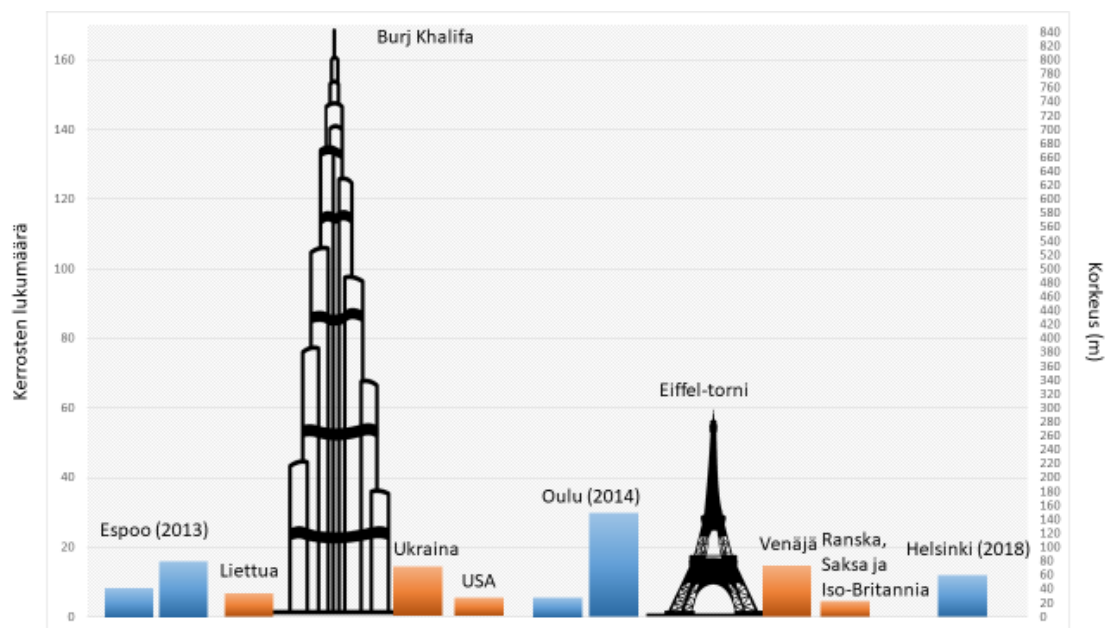
2.1 Esimerkki korkean rakentamisen määritelmästä

Suomen korkean rakentamisen määritelmä on kaupunkikohtainen ja kehittynyt ajan saatossa. Espoon kaupunki määritteli korkean rakennuksen vuonna 2013 rakennukseksi, joka on yli 40 metriä korkea. Espoossa hyvin korkeaksi rakennukseksi määriteltiin yli 80 metriä korkea rakennus. (Hietanen ym. 2013.) Oulun kaupunki määritteli korkean rakennuksen yli 27 metriä korkeaksi rakennukseksi, jossa on yli 12 kerrosta. Oulun kaupunki perustelee määrittelyään kaupungin matalalla rakennuskannalla. Yli 27 metriä korkea rakennus poikkeaa huomattavasti Oulun muusta rakennuskannasta. Oulun määritelmän mukaan 150 metriä korkea rakennus luetellaan pilvenpiirtäjäksi. (Oulun kaupunki 2014.) Tuorein määritys on Helsingin kaupungin korkean rakentamisen ohjekorteista, joissa korkeaksi rakennukseksi määritellään rakennus, jossa on 16 kerrosta tai enemmän. Näihin 16 kerrokseen luetaan rakennuksen kellarikerrokset. (Helsingin kaupunki 2018.) Näitä ohjekortteja pidetään tällä hetkellä suomalaisen korkean rakentamisen ohjekortteina.

Suomen eri kaupunkien eriävät määritelmät korkean rakennuksen korkeudesta ovat linjassa maailman korkean rakennuksen määrittelyn kanssa. Korkealle rakennukselle ei ole yhtenäistä määritelmää vaan se määritellään eri kaupungeissa eri tavalla. (Francis ja Corbett 2010; Günel ja Ilgin 2014.) Esimerkiksi Liettuassa määritelmä on Suomen tavoin aluesidonnainen (Tamošaitiene ja Gaudutis 2013). Korkean rakentamisen määritelmiä yhdistää se, että niihin kaikkiin liittyy näkemys ihmisten pelastautumiseen rakennuksesta. Rakennuksen korkeuden kasvaminen lisää aina haasteita rakennuksen palotekniseen suunnitteluun. (Craighead

2009.) Myös Suomessa palotekniikka vaatii erityistä huomiota suomalaisessa korkeassa rakentamisessa. Suunnittelijoilta ja työnjohdolta korkean rakentamisen hankkeisiin vaaditaan erittäin vaativan tason pätevyyttä. Korkeiden rakenteiden rakennusfysikaalinen tarkastelu on Suomen muita rakennuksia tarkempi. (Helsinki 2018.)

Kuvassa 2 on esitetty Suomen korkean rakentamisen määritelmät verrattuna maailmalla esiintyviin määritelmiin ja maailman korkeimpiin rakennuksiin. Kuvasta 2 nähdään, että Suomi on samassa linjassa rakennusten korkeuksiin verrattuna muuhun Eurooppaan ja USA:han. Eurokoodien käyttöönotto on yhtenäistänyt Euroopan rakennusmääräyksiä (Russell ym. 2019). Rakennusmääräysten yhtenäistyminen selittää osaltaan korkean rakentamisen määritelmien samankaltaisuuden.



Kuva 2. Korkean rakentamisen eri määritelmiä ja maailman tunnetuimpia korkeita rakennuksia (Hietanen ym. 2013; Tamošaitiene ja Gaudutis 2013; Oulun kaupunki 2014; Helsingin kaupunki 2018; Clipart 2020a; Clipart 2020b)

2.2 Runkorakenteet

Korkean rakennuksen rungolle on ominaista kapeus, sillä runko tehdään tornimaiseksi (Oulun kaupunki 2014). Tamošaitenen ja Gaudutisin (2013) mukaan Ražis (2004) on kirjoittanut, että korkean rakennuksen rungon suunnittelussa on otettava huomioon vähintään rakenneratkaisun lujuus, stabiilisuus, jäykkyys, hyötysuhde, työstettävyys ja hinta. Runkoratkaisun valintaan on kehitetty erilaisia

valintamenetelmiä, jotka auttavat valitsemaan useasta eri vaihtoehdosta juuri hankkeelle sopivan rungon. Lopullinen ratkaisu tehdään kuitenkin rakennukseen tehtävien rakennelaskelmien mukaisesti. (Tamošaitiene ja Gaudutis 2013.)

Rakennuksen rungon valintaan vaikuttavat ulkoiset kuormitustekijät, kuten tuuli ja maanjäristysolosuhteet. Korkean rakennuksen runko on yleensä hyvin monimutkainen, ja sen rungon suunnittelu on tehtävä mallintamalla, jotta sitä varten tehtävät laskelmat olisivat realistisia. (Son ym. 2017.)

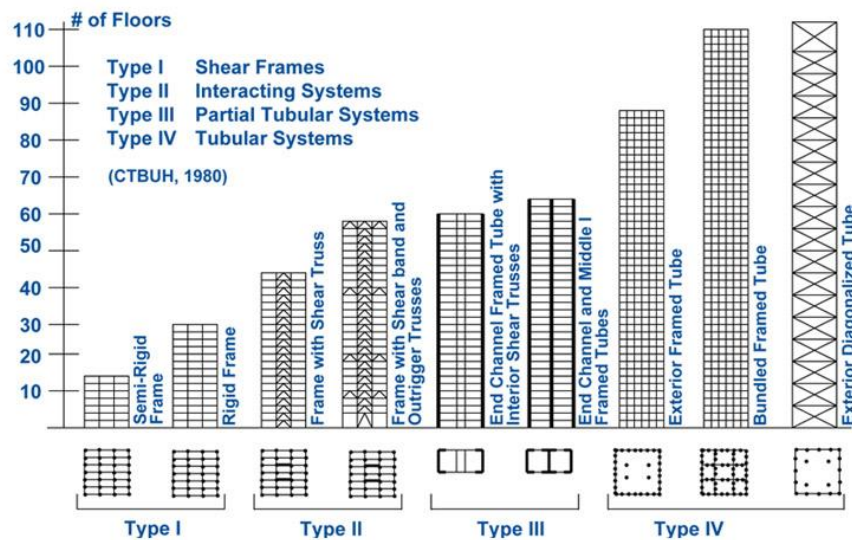
Rungon työsuunnittelun kannalta on tärkeää optimoida juuri kyseiselle rakennukselle sopiva ratkaisu. Tällaisia valintamenetelmiä on esimerkiksi CORPAS-G – menetelmä, josta Tamošaitenen ja Gaudutisin (2013) tekivät case-tutkimuksen rungon valintaan. CORPAS-G ei kuitenkaan ole ainoa monivalintamenetelmä. Jokainen yritys luo omat kriteerinsä itse. Tässä opinnäytetyössä ei keskitytä näihin kriteeristöihin.

Korkean rakentamisen runkoratkaisuun vaikuttaa kaikkialla samat seikat, mutta niiden painotukset saattavat hieman vaihdella. Tuulen vaikutuksen merkitystä ei voi liikaa korostaa, koska tuulen paine kasvaa korkealle mentäessä (Nerberg 2019). Tuulen vaikutuksen arvioimiseksi rakennuksiin tehdään rakennesuunnittelijan arvioiden mukaisesti tuulitunnelikokeet. Rakennuksen tuulikuormaan vaikuttavat rakennuksen muoto, dynaamiset ominaisuudet ja rakennuksen ympäristö, joiden vaikutusta rakennukseen testataan tuulitunnelikokeessa. (Helsingin kaupunki 2018.) Korkeissa rakennuksissa on havaittavissa ympäröivistä sääolosuhteista johtuvaa savupiippuilmioita, jotka vaikuttavat rakennuksen talotekniikkaan (Weismantle ja Leung 2007).

Opinnäytetyöhön on koottu korkean rakennuksen perusrunkoratkaisuja, jotka on esitetty kuvassa 3. Kuvan 3 runkoratkaisut on pystytty osoittamaan toimiviksi korkeissa rakennuksissa. Tässä opinnäytetyössä on haluttu käydä läpi maailmalla yleisesti tunnistetut runkorakenteet, koska rakentaminen kehittyy jatkuvasti ja Suomessakin korkeaan rakentamiseen voidaan tulevaisuudessa käyttää maailmalla hyväksi todettuja ratkaisuja. Runkoratkaisujen tunteminen on olennainen osa työsuunnittelua, koska rakenneratkaisun valinta aloittaa työsuunnittelun.

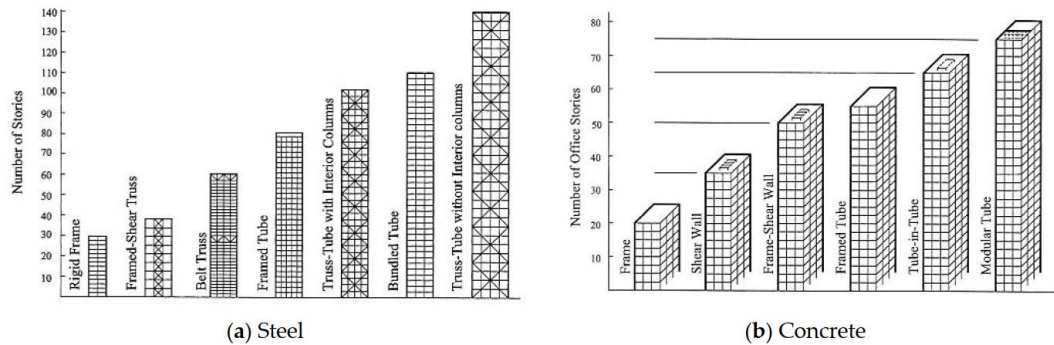
Osio on pyritty pitämään mahdollisimman suppeana tarjoten lukijalle vain peruskäsityksen runkoratkaisuista.

High Rise buildings and their **Evolution**



Kuva 3. Maailmalla käytettävät runkotyypit korkeassa rakentamisessa (Volta Green 2017)

Runkoratkaisut on luvussa jaettu kuvan 3 runkotyyppiin mukaisesti leikkausvoimaa vastaanottaviin runkoihin, jaetun kuorman vastaanottaviin runkoratkaisuihin, jäykistävän ulkokuoreen ja tuubijärjestelmään. Luvun loppuun taulukkoon 1 on kuvattu jokaisesta runkotyypistä niiden olennaisimmat edut ja haitat korkean rakentamisen sekä työsuunnittelun kannalta. Tämä on kuitenkin vain yksi tapa jaotella runkotyypit. Kuvassa 4 on esitetty rakennusmateriaaliin pohjautuva tapa jaotella runkotyypit. Kuvaa 4 on pyritty hyödyntämään käsiteltävien runkotyyppien rajausta tehtäessä. Teräsrakenteiset rungot on rajattu niin, että ne esiintyvät sekä kuvassa 3 että 4. Betonirakenteisista rungoista on pyritty esittelemään vastaavat vaihtoehdot.



Kuva 4. Runkoratkaisujen jakaminen teräs ja betonirunkoihin (Ali ja Moon 2018, s. 4)

2.2.1 Leikkausvoimaa vastaanottavat runkorakenteet

Kehäjäykistetty runko (Rigid Frame)

Kehäjäykistetty runko on leikkausvoimaa vastaanottava runkorakenne, jossa kuormaa ottavat vastaan sekä pilarit että palkit, minkä takia rungon analysointi on monia runkotyyppejä haastavampaa. Tyypillisimmät kehäjäykisteiset korkeiden rakennusten rungot ovat teräsrakenteisia. (Holmgård 2016.) Kuvassa 5 on esitetty esimerkki kehäjäykisteisestä rungosta Englannin Palestra-rakennuksesta. Kuvasta näkyy rungon perusidea pilaripalkkijärjestelmästä. Pilarien välissä on aina palkki jäykistämässä rakennetta. Rakennuksen välipohjan laatat tukeutuvat palkkeihin.

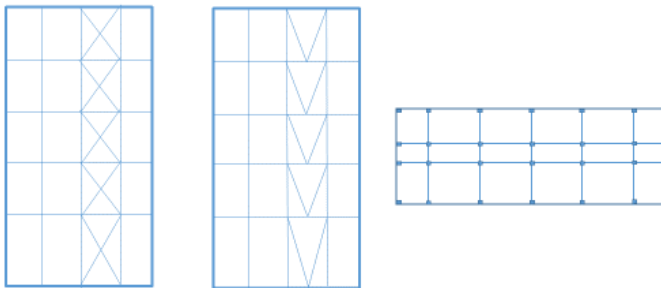


Kuva 5. Esimerkki kehäjäykistetyistä rungosta Palestra-rakennus (Allen 2006)

2.2.2 Jaetun kuorman vastaanottavat runkorakenteet

Ristikkorunko (Braced Frame)

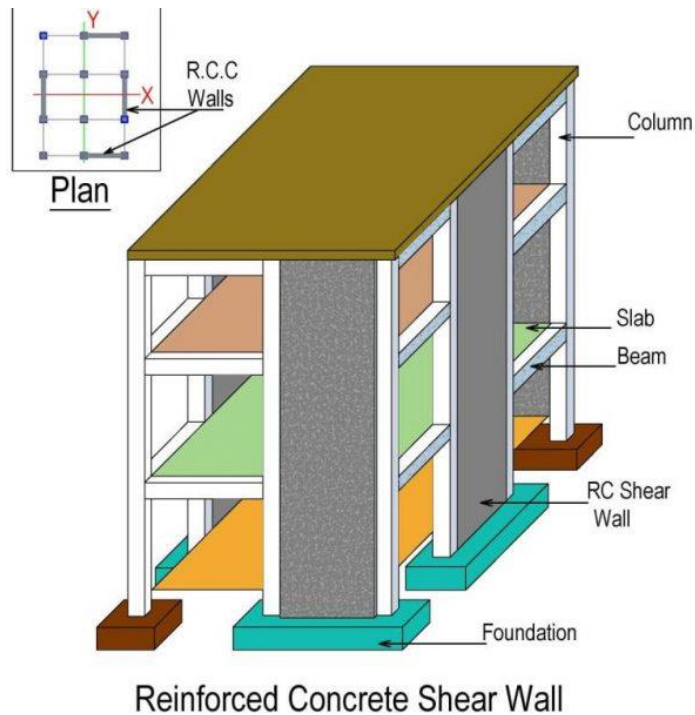
Teräsristikkorunko on yksi varteenotettava vaihtoehto korkeiden rakennusten runkoratkaisuna. Teräsristikkorunko antaa runkoratkaisulle tuen aksiaalista jännitystä vastaan ja vastustaa paikallisia kuormia. Ristikkorungon jäykistys perustuu yleensä X- tai V-palkeilla tehtävään jäykistykseen. X- tai V-palkeilla tehtävällä jäykistyksellä tarkoitetaan sitä, että rakennuksen pääpilareiden väliin tulee palkkeja jäykistämään rakennusta vinottaisia- ja vaakasuuntaisia kuormia vastaan. Jäykistyksen idea on esitetty kuvassa 6. Rungossa ensimmäinen kerros on yleensä muita kerroksia korkeampi. (Zhang ym. 2016.) Ristikkorunko ei ole Suomessa vielä yleinen, mutta sen merkitys voi kasvaa tulevaisuudessa.



Kuva 6. Ristikkorungon perusratkaisut (Zhang ym. 2016)

Jäykisteseinä (Share wall)

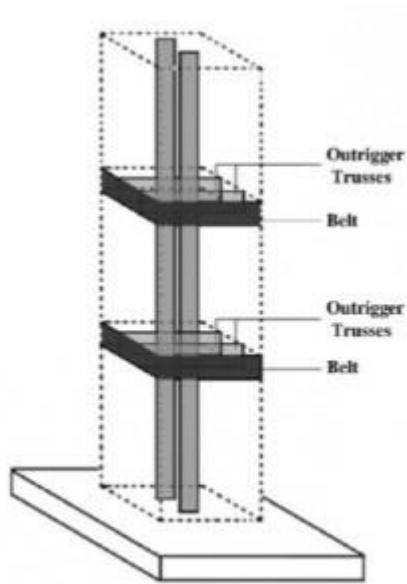
Jäykisteseinän runkojärjestelmässä on jäykistävä seinälinja, joka jäykistää rakennusta vaakasuuntaisia voimia vastaan. Se on yksi yleisimmin käytetty vaakasuuntaisia voimia vastustava runkojärjestelmä. Korkean rakentamisen kohteissa jäykistävät seinät ovat erittäin tärkeitä, koska korkean rakentamisen tuulikuorma on korkeampi kuin matalammissa rakennuksissa. Rakennuksen pilaripalkkijärjestelmä vie rungon kuormat ja pystysuuntaan rakennukseen kohdistuvat voimat perustuksille. Idea on esitetty kuvassa 7. (Kim ym. 2005.)



Kuva 7. Jäykistävän seinälinjan järjestelmä (What is a Frame with Shear Wall Structural System? 2020)

Ydin-ulkokehä (Core and outridge)

Xing ja Aguaguíña (2018) mukaan Taranath (2012) on sanonut, että ydin-ulkokehä-runkojärjestelmässä rakennuksen ulkokehä jäykistetään teräspalkeilla tai betoniseinillä, jotka ovat liittyneet rakennuksen ytimeen. Kehämuodostelma siirtää vaakasuuntaiset voimat ytimeen. Ydin-ulkokehäjärjestelmä on todettu yhdeksi tehokkaimmista korkean rakentamisen muodoista. Ydin jäykistää rakennuksen pystysuuntaisia voimia vastaan. (Xing ja Aguaguíña 2018.) Rakenteen idea on esitetty kuvassa 8.

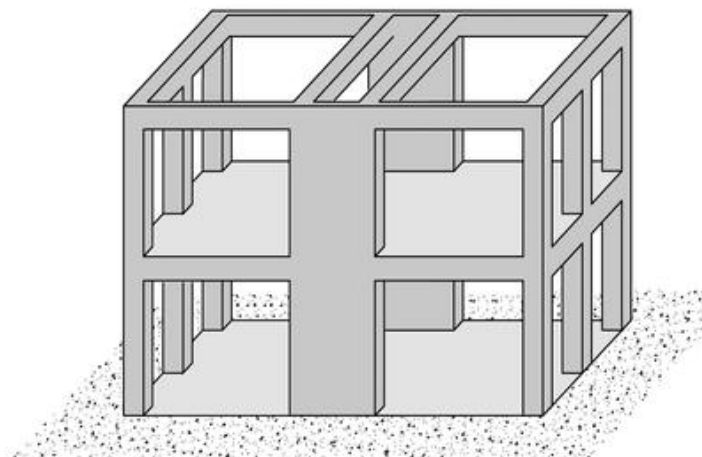


Kuva 8. Ydin ulkokehärakennejärjestelmän periaateidea (Agrawal 2019)

2.2.3 Jäykistävä ulkokehä

Seinäkehäjäykistys (Frame Shear Wall, Wall Frame)

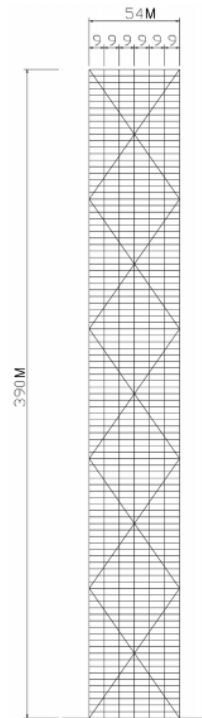
Seinäkehäjäykistysjärjestelmän runkosysteemillä tarkoitetaan järjestelmää, jossa runko vastustaa momenttia, mutta ei juurikaan painovoimasta johtuvaa kuormitusta. Seinäkehäjäykistyksellä on havaittu olevan jopa haittoja rakenteen yläosien jäykistykseen. (Estekanchi ym. 2018.) Seinäkehäjäykistyksessä vaakasuuntainen voima voidaan ottaa vastaan palkkijärjestelmällä, joka linkittää rakenteita toisiinsa. Seinäkehäjäykistysjärjestelmä on mahdollista toteuttaa betonielementeillä. (Xia ym. 2019.) Seinäkehäjäykistysjärjestelmän idea on esitetty kuvassa 9, josta näkyy hyvin runkoratkaisun jäykistävä linja.



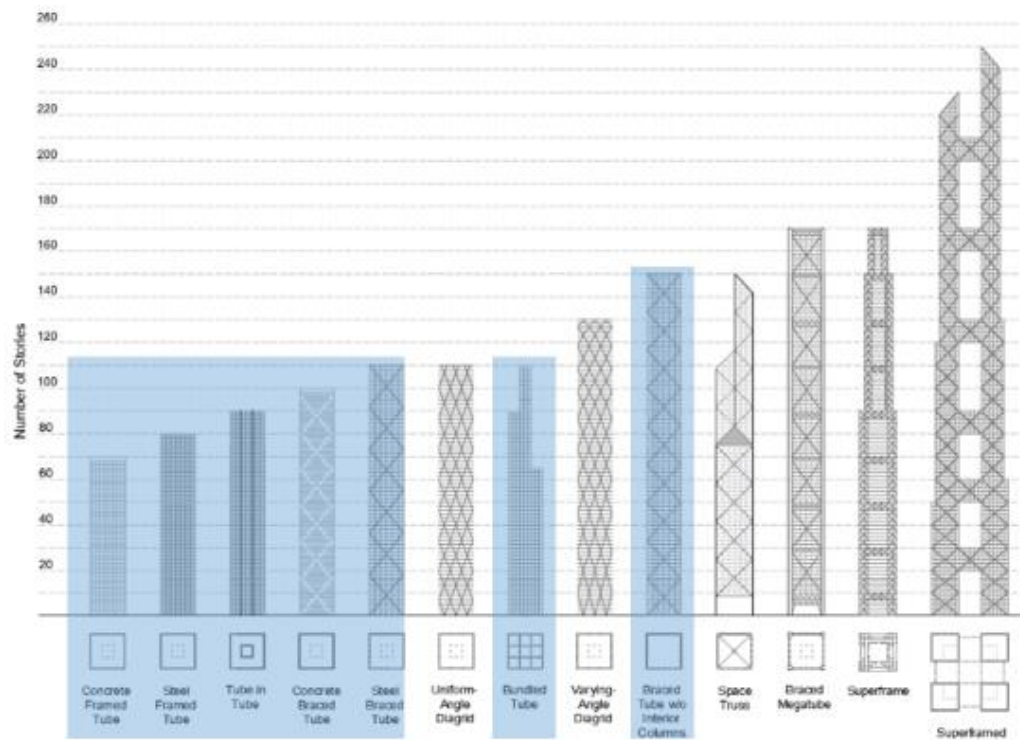
Kuva 9. Seinäkehäjäykistykseen idea Taxonomy-sivuston mukaan (*Taxonomy - Dual frame-wall system [LDUAL] 2020*)

2.2.4 Tuubirunko

Tuubirakennelma on yksi suosituimmista korkean rakentamisen runkojärjestelmistä. Runkojärjestelmässä keskiosa ottaa vaakasuuntaiset kuormat vastaan pääosin kehärakenteen aksiaalisina kuormituksina. Tyypillisesti tuubirakennelmassa on pääpilarit, joiden välinen jäykistys hoidetaan ristikkorakenteiden tavoin. Vaakasuuntaisten voimien muuttaminen aksiaalisiksi voimiksi tehostaa runkoratkaisua ja tekee siitä tehokkaan vaihtoehdon korkean rakentamisen runkoihin. Tuubirakenteen runkoratkaisun esimerkki on esitetty kuvassa 10. Kuvassa on nähtävissä rakennuksen pääpilarilinjat, joiden välissä on ristikkojäykistykselle tyypillistä jäykistystä. Ristikkorakenteesta poiketen jäykistys voidaan tuubirungossa hoitaa useamman kerroksen matkalta. (Moon 2011.) Tuubirunko voidaan kuitenkin jakaa alakategorioihin, joita ovat kehystetty tuubi (framed tube), ristikkotuubi (branched tube), pyöreä tuubi (bundled tube) ja tuubi tuubissa (tube in tube) (Ali ja Moon 2018). Erilaiset tuubirakenteet on esitetty kuvassa 11.



Kuva 10. Tuubirunkorakenne (Moon 2011 s. 231)



Kuva 11. Esimerkki tuubirunkotyypeistä (Ali ja Moon 2018, s.6)

2.2.5 Runkoratkaisujen vertailu korkean rakentamisen kannalta

Taulukkoon 1 on koottu edellä esitetyt runkoratkaisut ja niiden olennaisimmat hyödyt ja haitat korkean rakentamisen kannalta. Taulukkoon on koottu asioita, joita näiden runkotyyppien työsuunnittelussa on vähintään otettava huomioon. Esimerkiksi taulukosta puuttuva tuulen vaikutus on huomioitava aina korkean rakentamisen rungon työsuunnittelussa (Karimimoshaver ja Winkemann 2018).

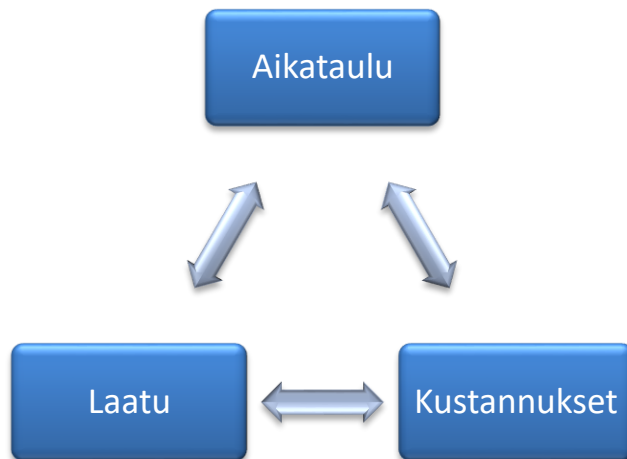
Runkotyypit	Rakennus-materiaali	Hyödyt	Haitat	Työsuunnittelussa huomioitavat asiat
Kehäjäykistetty runko	Teräs tai betoni	Joustavat kerrosrakenteet Nopea rakennettavuus	Kalliit momenttiliitokset Kallis palosuojaus	Pilareiden ja palkkien työmaalle tuonin logistiikka Työmaan ulkopuolella valmistus juuri oikeaan aikaan Visuaalinen seuraaminen osien valmistumisesta
Ristikkorunko	Teräs	Vastaanottaa hyvin vaakasuuntaisia voimia aksiaalisen jäykistyksen takia. Pienempi palkkikorkeus ja ei diagonaalipalkkeja	Arkkitehtonisen suunnittelun rajoitukset. Kalliit diagonaaliliitokset	Pilareiden ja palkkien työmaalle tuonti logistiikka Työmaan ulkopuolella valmistus juuri oikeaan aikaan Visuaalinen seuraaminen osien valmistumisesta Työjärjestys
Jäykistävä seinälinja	Teräksen ja betonin yhdistelmä tai betoni	Vastaanottaa hyvin vaakasuuntaisia voimia	Arkkitehtonisen suunnittelun rajoitukset	Elementointi Pilareiden ja palkkien työmaalle tuonin logistiikka Työmaan ulkopuolella valmistus juuri oikeaan aikaan Visuaalinen seuraaminen osien valmistumisesta Paikallavalu Betonin pumppausnopeus, työsaumat Betonin pumppuauton teho Työmaan resurssointi Muottikierto Resurssit
Ydin-ulkokehä	Teräs ja betoni tai niiden yhdistelmä	Ulkokehän yhdistäminen ytimeen saa aikaan hyvän momentin vastustuksen. Arkkitehtonisesti enemmän vapauksia rungon suunnittelussa.	Ulkokehään tulevat näköhaitat	Elementointi Pilareiden ja palkkien työmaalle tuonin logistiikka Työmaan ulkopuolella valmistus juuri oikeaan aikaan Visuaalinen seuraaminen osien valmistumisesta Paikallavalu Betonin pumppausnopeus, työsaumat Betonin pumppuauton teho Työmaan resurssointi Muottikierto Resurssit Työjärjestys
Seinäkehäjäykistys	Teräksen ja betonin yhdistelmä, komposiitti, betoni	Ottaa hyvin vastaan vaakasuuntaisia kuormia, kestää hyvin momenttia	Heikko rakenne pystysuuntaisille kuormille Hankala sisustaa	Elementointi Pilareiden ja palkkien työmaalle tuonin logistiikka Työmaan ulkopuolella valmistus juuri oikeaan aikaan Visuaalinen seuraaminen osien valmistumisesta Paikallavalu Betonin pumppausnopeus, työsaumat Betonin pumppuauton teho Työmaan resurssointi Muottikierto Resurssit

Tuubirunko	Teräs tai betoni	Ottaa hyvin vastaan vaakasuuntaisia kuormia Kestää hyvin tuulikuormaa Työnaikainen jäykistys ja nosturin sijoittelu	Arkkitehtonisen suunnittelun rajoitukset sisäisestä tuubista johtuen	Elementointi Pilareiden ja palkkien työmaalle tuonnin logistiikka Työmaan ulkopuolella valmistus juuri oikeaan aikaan Visuaalinen seuraaminen osien valmistumisesta Paikallavalu Betonin pumppausnopeus, työsaumat Betonin pumppauksen teho Työmaan resurssointi Muottikierto Resurssit Nostokaluston sijoittaminen Rungon hyödyntäminen rakentamisessa
-------------------	------------------	---	--	--

Taulukko 1. Korkean rakentamisen runkotyyppien vertailua korkean rakentamisen kannalta ja rakentamisessa työsuunnittelun kannalta huomioitavia asioita. (Robison 1988; Soutsos ym. 2000; Bazet ym. 2000; Maddalena 2004; Koskenvesa 2012; Zhang ym. 2013; Kim ym. 2013; Antonov ym. 2016; Bofo ym. 2016; Samanta ja Huang 2017; Ali ja Moon 2018)

3 Työsuunnittelu

Tässä opinnäytetyössä työsuunnittelulla tarkoitetaan työvaiheen toteutuksen kokonaisvaltaista suunnittelua ennen töiden aloitusta, joka pitää sisällään rungon rakennesuunnitelmien optimoimisen työtekniikan kannalta, runkotöiden logistisen suunnittelun, työvaiheen suunnittelun ja työn turvallisuuteen liittyvän suunnittelun. Tämän opinnäytetyön käsitettä työsuunnittelusta ei saa sekoittaa työmaalla yleisesti tehtävään tehtäväsuunnitteluun, joka tässä opinnäytetyössä käsitetään osaksi työsuunnittelua. Mäki (2010) on määritellyt, että tehtäväsuunnitelmassa esitetään yhden työtehtävän aikataulu-, kustannus- ja laatutavoitteet. Tehtäväsuunnitelmassa keskitytään yksittäisen tehtävän suunnitteluun ja siinä käydään läpi systemaattisesti tehtävän osa-alueet. Kuvassa 12 on kuvattu tehtäväsuunnitelman ajatuspohja. Tehtäväsuunnitelma on riippuvainen työvaiheen aikataulu-, kustannus- ja laatutavoitteista ja ne tasapainottavat toisiaan kolmion kärkien tavoin. Esimerkki tehtäväsuunnitelmasta on runkotyövaiheesta tehtävä tehtäväsuunnitelma, jonka muodon ja sisällön jokainen yritys määrittelee toimintajärjestelmässään. Tehtäväsuunnitelma on osa työsuunnitelmaa, ollen osa, jonka työmaa tekee työsuunnitelman päätteeksi.



Kuva 12. Tehtäväsuunnitelman periaate

Tässä opinnäytetyössä työsuunnittelua lähestytään lean-ajattelumallin pohjalta. Leania on tutkittu rakennusalalla 1990-luvun alusta asti. Rakennusalalle ajattelumalli on rantautunut autoteollisuudesta ja pohjautuu mudan eli hukan poistamiseen ja sen avulla lisäarvon tuottamiseen arvontuontiketjussa. (Koskela 1992.) Lean Constructionin Last planner -järjestelmän avulla halutaan yhdistää lyhyen tähtäimen ja pidemmän aikavälin suunnittelu (Hamzeh ym. 2008). Visuaalisuus on tärkeä osa työsuunnittelua. (Sacks ym. 2010; Sacks ym. 2013; Gurevich ja Sacks 2014).

Työsuunnittelun kannalta korkeilla rakennuksilla on paljon yhteisiä piirteitä. Korkeat rakennukset sijaitsevat yleisesti ottaen kaupunkikeskittymissä, joten niiden logistinen suunnittelu on perinteistä rakennusta haastavampaa. Logistinen suunnittelu on aloitettava hyvissä ajoin ja siinä on huomioitava tavallista tarkemmin työvoiman liikkuvuus, työmaan nostokapasiteetti ja tavaroiden varastointi. (Viertola 2019.)

Opinnäytetyön työsuunnittelua koskeva osuus on jaettu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa käsitellään sitä, miten lean-johtaminen tehdään työsuunnittelussa. Toisessa osassa käsitellään lyhyen tähtäimen ja pitkän tähtäimen suunnitelman yhdistäminen Last Planner -järjestelmän avulla. Näillä kappaleilla vastataan tutkimuskysymyksen osioon, mitä asioita huomioidaan korkeassa rakentamisessa rungon työsuunnittelussa projektinjohtamisen näkökulmasta. Teoriaosiossa ei ole perehdytty yksittäisten toimenpiteiden nimeämiseen, koska ne ovat

hyvin sidonnaisia kohdemaan rakentamistapaan, ja opinnäytetyön yksittäiset työsuunnittelutehtävät selvitettiin empiirisellä tutkimuksella. Kolmannessa osiossa käsitellään visuaalisia työkaluja, jolla pyritään vastaamaan tutkimuskysymyksen osaan, miten suunnitelma kannattaa laatia visuaalisesti.

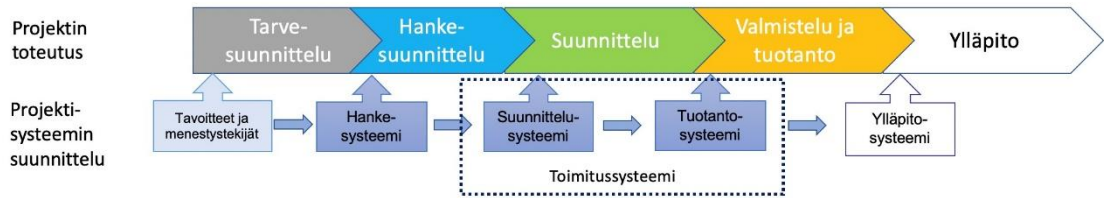
3.1 Työsuunnittelun lean-ajattelumalli

Lean-ajattelumallin pohjana on tuoda lisäarvoa tuotannon johtamiseen poistamalla tuotannossa oleva hukka. Lean sisältää joukon erilaisia tuotannonohjauksen työkaluja, joiden on todettu toimivan tuotantopainotteisten alojen lisäksi myös rakennusalalla. (Koskela 1992.) Työsuunnittelun kannalta, kuten myös koko tuotannon johtamisen kannalta, lean-ajattelumalli ei voi koskea yksittäistä menetelmää työmaalla vaan sen tulisi koskea koko tuotannon arvoketjua, joka rinnastetaan tässä opinnäytetyössä koko työsuunnittelun arvoketjuun, suunnittelusta hankintaan, kustannusseurantaan ja edelleen työvaiheen yksittäisiin toimenpiteisiin (Koskela ym. 2002).

Projektin kokonaisuuden johtamisessa eli projektisynteesisissä leanin käyttöönotto on rakennusalalla vielä kesken. Siten ei ole vielä teoriapohjaa tilanteelle, jossa koko arvontuontiketjua hallittaisiin lean-johtamisella käyttäen koko ketjun osalta samoja työkaluja. Lean-ajattelumallia kehitetään jatkuvasti ja sen uusia sovelluksia syntyy alan tarpeista. (Koskela ym. 2002; Mölsä, 2019; Tiusainen 2020.) Tah-tituotanto on yksi hyvä esimerkki alan tarpeista syntyneestä uudesta työkalusta. Suomessa yleisesti käytössä olevan Last-Plannerin tai muun lean-työkalun käyttäminen rakennusprojekteissa ei tarkoita, että lean-ajattelumallin kokonaispotentiaalia hyödynnettäisiin Suomessa projektin kokonaisuuden hallinnassa. (Koskela 2000; Tiusainen 2020.)

Kuvassa 13 on esitetty Suomen malli projektisysteemistä, jolla tähdätään projektin kokonaisuuden hallintaan. Tätä voi verrata kuvassa 14 olevaan kansainvälisen tutkimustuloksen malliin. Projektisysteemi koostuu valinnoista, joilla rakennusprosessilla pyritään saamaan paras arvontuotto projektin omistajille. Parhaaseen arvontuottoon kuuluu esimerkiksi projektin kriteereiden ja tavoitteiden asettaminen. (Salminen, 2020) Tämä on nähtävissä myös kuvasta 14, jossa lean-

projektinhallintaa kuvataan projektin eri vaiheiden summaksi. Summaa ei voi olla, jos hankkeella ei ole yhteisiä tavoitteita.



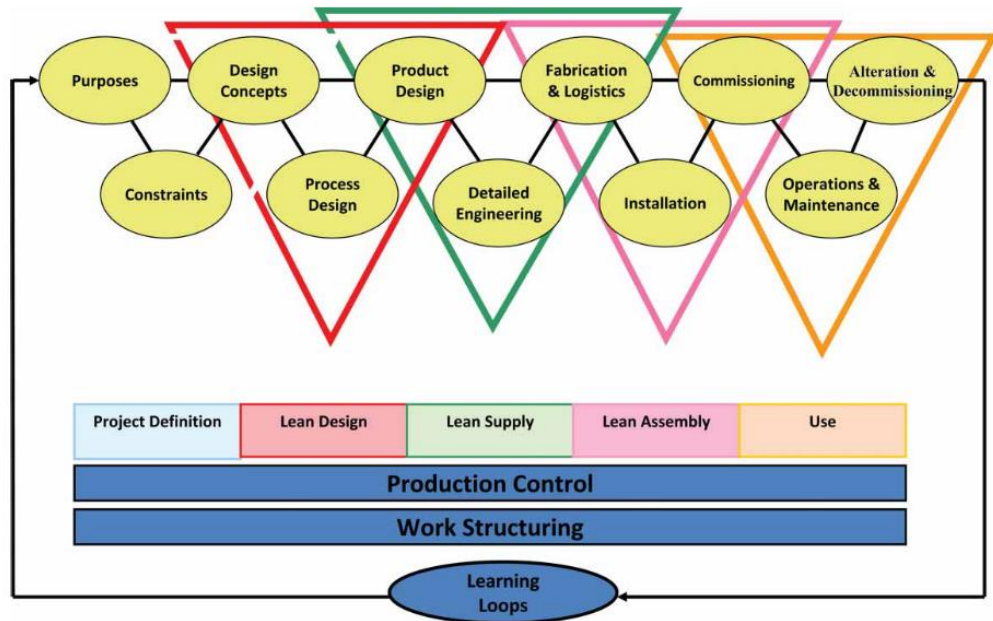
Kuva 13. Projektisysteemi (Salminen 2020)

Wrightin (2000) haastatteleman Beckin mukaan suurin osa rakennusalan ongelmista johtuu yhteistyön puutteesta. Ongelmat aiheuttavat koko arvotuontiketjun kannalta tehottomuutta. Leanin avulla rakennusalan eri osa-alueille on mahdollista löytää yhteisiä toimintamalleja ja samalla parantaa yhteistyötä ja poistaa tehottomuutta. (Wright 2000.) Yhteistyön tarve on havaittavissa myös projektisysteemin suunnittelussa, jossa hankkeen organisointi pitää miettiä ja projektin osapuolten osallistumisen aikataulu hankkeeseen (Salminen 2020). Yhteistyöntarve on havaittavissa myös kuvan 14 lean-projektissa.

Kuvassa 13 projektinläpivienti on kuvattu jatkuvaksi systeemiksi, mutta kuvassa 14 painottuu enemmän verkostomaisuus. Verkostomaisuus ilmenee, koska projektia ei voi määrittellä, jos sen tarkoitusta, rajoituksia ja konseptia ei tiedosteta. Toisaalta suunnittelua varten on tiedettävä projektin konsepti, prosessit ja tuotannon suunnitelmat. Hankintoja varten on tiedettävä tuotannon suunnitelmat, detaljit ja tuotantotapa sekä tuotantoon tarvittava logistiikka. Asennusta ja rakentamista varten on tiedettävä tuotantotapa, asentaminen, rakennusjärjestys, ja käyttöönotto. Käytön aikana on tiedettävä käyttöönotto, hoitotoimenpiteet ja mahdolliset purkutoimet. Edellisen vaiheen toimenpiteet siis jatkuvat aina seuraavassa vaiheessa. Nämä vaiheet toimivat jatkuvana kehänä lean-projektissa. (Ballard ja Tommelein 2012.)

Bazet ja muut (2000) ovat tutkineet useamman projektin hallintaa samanaikaisesti. Heidänkin tutkimuksessaan korostuu projektien yhteisen suunnitelman tär-

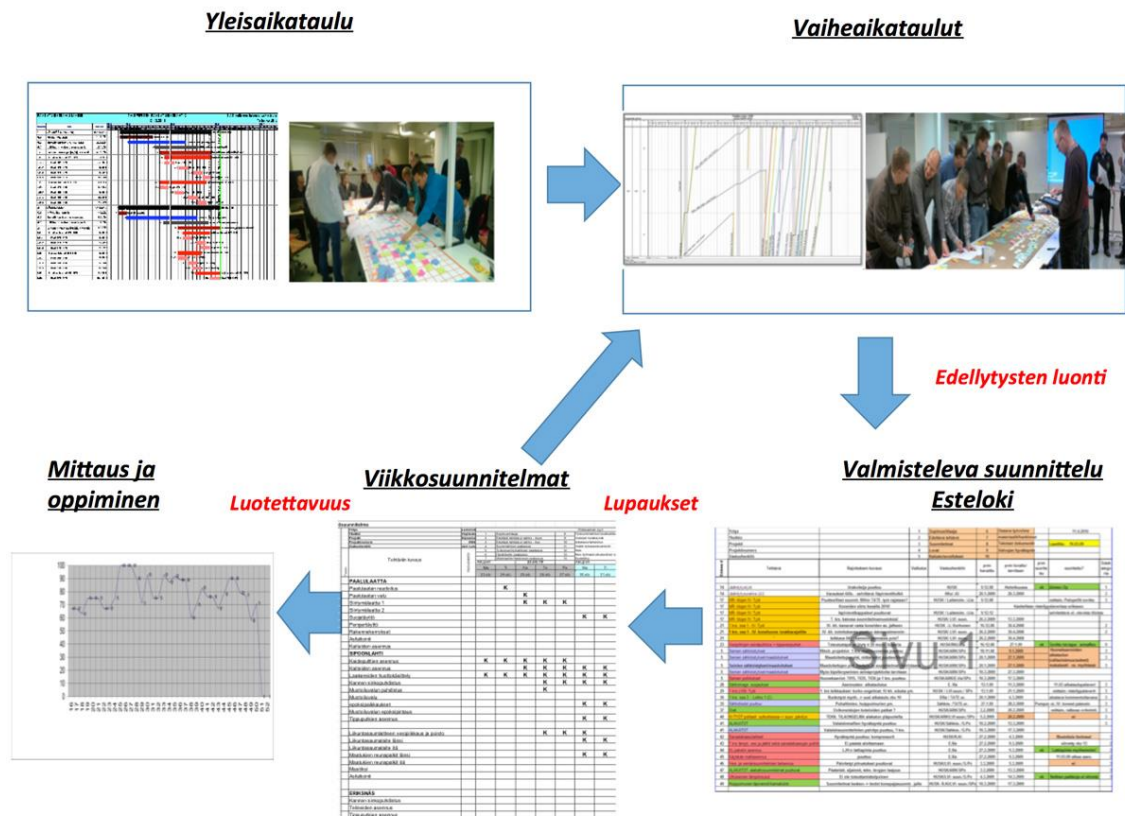
keys. Projektien päällekkäisillä resursseilla ja materiaaleilla on oltava yhteiset tavoitteet ja yhteinen aikataulu. (Bazet ym. 2000.) Yhteistyön merkitys korostuu lean-projektinhallinnan tavoin myös useamman projektin hallinnassa (Ballard ja Tommelein 2012).



Kuva 14. Lean-projekti (Ballard ja Tommelein 2012)

Kuvia 13 ja 14 vertaamalla on havaittavissa samat vaiheet. Projektisysteemissä korostuu kuitenkin yksittäistä lean-projektia enemmän kaupallisen yhteistyön sopiminen. Projektisysteemissä painotetaan lean-projektia enemmän kaupallista yhteensovitusta ja työkalujen yhteiskäytöstä sopimista (Salminen 2020).

Toisena lähtökohtana työsuunnittelulle voidaan pitää leanin ajatusta työn mitattavuudesta. Toimenpiteiden toteutumista on pystyttävä mittaamaan, mikä näkyy esimerkiksi laajasti käytössä olevasta Last Planner -menetelmästä. Last Plannerilla tarkoitetaan lyhyen aikavälin tuotannosuunnittelumenetelmää. Sen perusajatuksena on epävarmuuden vähentäminen ja toimenpiteiden aloituksen mahdollistaminen niiden suunniteltuna ajankohtana. (Koskela ja Koskenvesa 2003.) Kuvassa 15 on esitetty periaate Last-Plannerin toiminnalle.



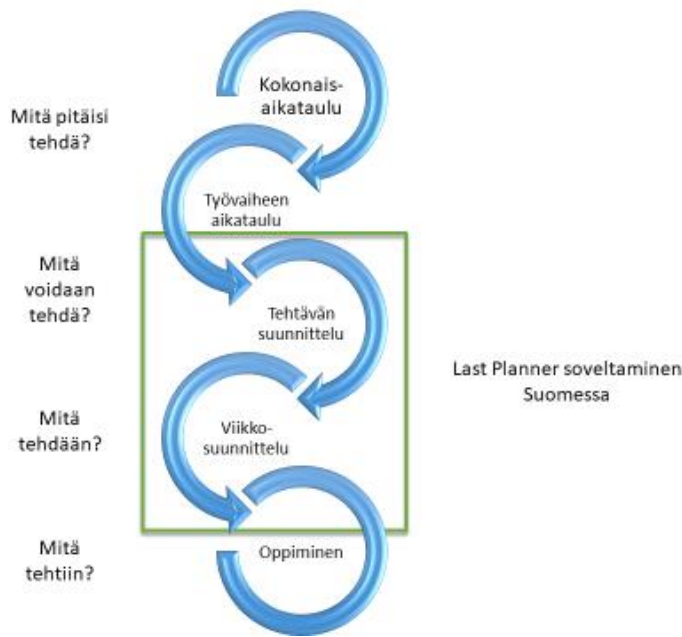
Kuva 15. Last Plannerin toimintaperiaate (Merikallio 2015)

Last Planner -järjestelmän laajentamista koko tuotannonohjauksen suunnitteluun on tutkittu benchmarkingin avulla. Perusajatuksena on tuotannon suunnittelun samankaltaisuus aikavälistä riippumatta. Tuotannon suunnittelu tarvitsee yhteistyötä, sitoutumista ja kehittämistä. Tuotannosta tehty ennuste on ennuste riippumatta siitä, missä vaiheessa tuotantoa se tehdään. Näiden samankaltaisuuksien pohjalta Last Planner -järjestelmän mitattavuus on yleistettävissä koko tuotannonohjaukseen. (Ballard ja Tommelein 2016.)

3.2 Lyhyen tähtäimen suunnittelun yhdistäminen pitkäkestoiseen suunnitteluun

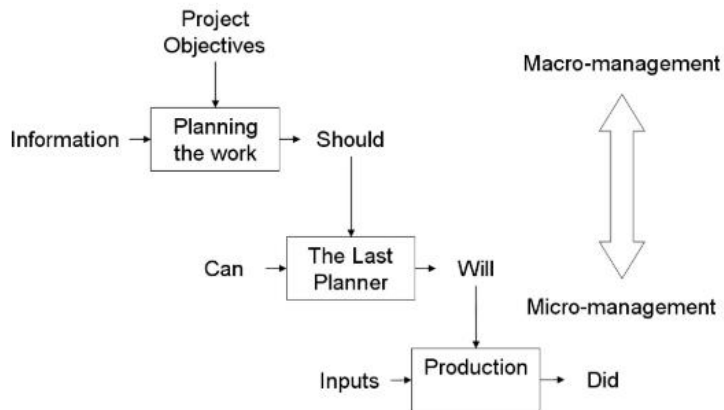
Last Plannerin tärkeimpänä ajatuksena on selvittää, miksi jotain asiaa ei voida tehdä. Tavoitteena on pystyä noudattamaan hankkeen kokonaisaikataulua. Last Planner -menetelmän kokonaisajatus on esitetty kuvassa 16. (Ballard ja Tommelein 2016.) Last Planner- järjestelmän käytössä on kuitenkin havaittu haasteena järjestelmän kokonaispotentiaalin hyödyntäminen rakennushank-

keessa. Järjestelmän käytössä keskitytään helposti sen lyhyen aikavälin toimenpiteiden hyödyntämiseen, kuten tehtävän suunnitteluun ja työvaihekohtaiseen aikatauluun. Tehtävän suunnitteluna käsiteltävä osuus on usein lyhyen tähtäimen suunnittelua, josta ei mene tietoa hankkeen sijoittajille tai suunnittelijoille. Työvaiheen aikataulut ovat yleensä vain otteita yleisaikataulusta ja koskevat vain yksittäistä työvaihetta. Hankekokonaisuuden linkittäminen puuttuu. (Hamzeh, Ballard ja Tommelein 2008.)



Kuva 16. Last Planner -ajattelumalli (Hamzeh ym. 2008)

Last Planner -järjestelmä voi toimia työsuunnittelun pohjana, koska se on laajennettava mikrojohtamisesta makrojohtamiseen. Kuvassa 17 on esitetty Jongellin (2006) näkemystä Ballardin (2002) Last Planner -toimintatavasta olla osana tuotannon kokonaisvaltaista johtamista. Kuvasta nähdään, että Last Planner on vain osa kokonaissuunnittelua, mutta se yhdistää pitkän tähtäimen suunnittelun ja lyhyen aikavälin suunnittelun.



Kuva 17. Last Planner osana kokonaisjohtamista (Jongeling 2006, s. 32)

Pitkän aikavälin suunnitteluun kuuluu rakennuksen suunnitelmien tekeminen tuotantoon, niiden toteuttaminen ja ”lookahead” -ajattelulla on saatu käännettyä ajattelumalli kohti Last Planner -menetelmää, jossa painotetaan tuotannon ennakkosuunnittelua. Tuotantovirtojen johtamisessa korostetaan tuotannon suunnittelua pitkällä aikavälillä. (Jongeling 2006.) Koskela (2000) on kuvannut tuotantovirtojen koostuvan esimerkiksi materiaalivirrasta, resurssien virrasta ja tiedon virrasta. Loppujen lopuksi kokonaisuuden johtaminen lean-ajattelulla on kuten kuvassa 17 kuvattiin projektin kokonaisvaltaista johtamista, jossa jokainen osa-alue on yhdistettävissä toisiinsa.

Suomalaisissa Last Planner -sovelluksissa keskitytään usein lyhyen tähtäimen tuotannon suunnitteluun. Suunnittelu käyttää omaa Last Planner -järjestelmäänsä (Mäki ja Korpela 2013.) ja rakennustuotannossa käytetään omaa menetelmäänsä. Useamman päällekkäisen suunnitelman käyttö ei lisää yhteistä kommunikaatiota koko arvontuontiketjuun vaan mahdollistaa informaatiokatkot tuotannon suunnitteluun (Hamzeh ym. 2008).

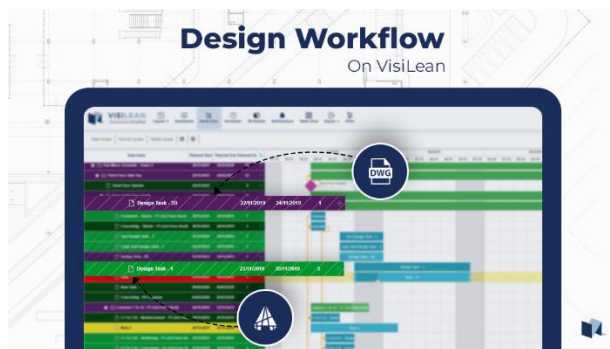
3.3 Visuaalinen työsuunnittelu

Visuaaliseen työsuunnitteluun on useita eri vaihtoehtoja. Last Planner -järjestelmää tukevaa menetelmää kutsutaan VisiLeaniksi (Dave ym. 2011). Toisaalta kanbaniin keskittyvää järjestelmää kutsutaan KanBIMiksi (Sacks ym. 2013). Molemmilla menetelmillä on kuitenkin yhteistä se, että niillä tuotannon suunnittelu pyritään tuomaan läpinäkyvämmäksi ja helpommaksi ymmärtää tietomallintamisen menetelmiä hyödyntämällä. Tietomallintaminen on kehittynyt huomattavasti

siitä, kun ensimmäiset leanin menetelmät otettiin rakennusalaan käyttöön, joten näiden menetelmien kehitys on jatkuvaa. Tietomallintamisen kuitenkin uskotaan helpottavan leanin käyttöä mahdollistamalla useamman henkilön yhtäaikaista työskentelyä mallin parissa ja helpottamalla kerralla kuntoon rakentamisen -periaatteen toteutumista. (Heigermoser ym. 2019.)

Dave ja muut (2011) ovat tutkineet Last Plannerin tietokonesovellusta, jonka he ovat tutkimuksessaan nimenneet VisiLeaniksi. VisiLean on järjestelmä, joka pyrkii synkronoimaan rakennusalan menetelmiä ohjelmiston avulla. Sen avulla pyritään rakentamaan reaaliaikainen ohjelmisto rakennustyömaan hallintaa varten. Ohjelmisto on kehittynyt erityisesti Last Planner -pohjaiseen aikataulun hallintaan. VisiLean voidaan toteuttaa pilvipohjaisena järjestelmänä, jolloin sen käyttö voidaan laajentaa läpi toimitusketjun. BIM-malli on yksi VisiLeanille tärkeä työkalu, koska leanin yksi perusajatuksista on visuaalinen johtaminen. Mallinnuksen avulla pystytään antamaan visuaalisesti tehtäviä hankkeen toiselle osapuolelle ja tehtävän hahmottaminen helpottuu. (Dave ym. 2011.)

VisiLean pohjautuu Last Planner -järjestelmään. Järjestelmä tarjoaa kuitenkin mahdollisuuden resurssien hallinnan helpottumiseen käyttäjän kannalta, koska hankkeen päällekkäiset resurssit paljastuvat. Järjestelmästä ei ollut kaupallista ohjelmistoa, kun siitä tehdyt tieteelliset artikkelit kirjoitettiin. VisiLean ja muiden vastaavien visuaalisuutta parantavien ohjelmistojen toimiminen rakennusalan tarpeisiin pystytään kuitenkin todistamaan. (Dave ym. 2013.) Tällä hetkellä VisiLean on yksittäisen yrityksen tuote, jolla on myös muita kilpailijoita markkinoilla. VisiLean keskustelee kuitenkin merkittävimpien aikatauluohjelmien kanssa (VisiLean 2020). Kuvassa 18 on esitetty VisiLeanin mainos työn suunnitteluun.

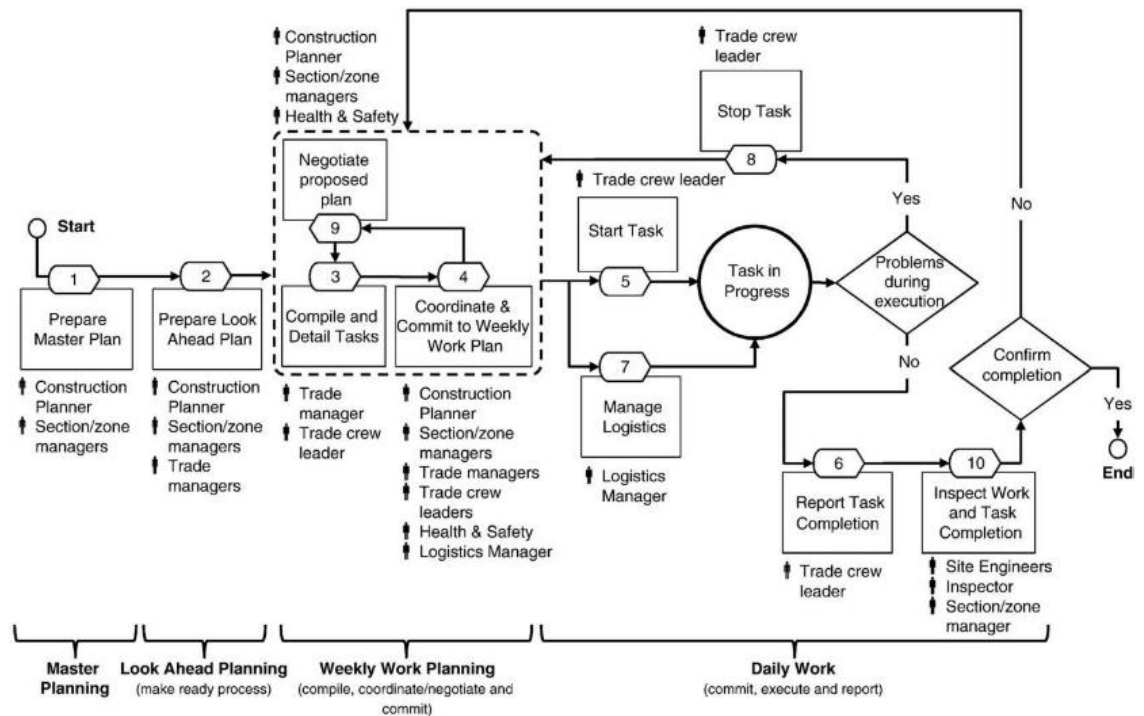


Kuva 18. VisiLeanin mainos työn suunnitteluun (Bhatt 2020)

Sacks on tutkinut 2010 luvun alussa kanbanin järjestelmään pohjautuvaa BIM-järjestelmää. Kanbanilla tarkoitetaan visuaalista tuotannonohjauskorttia, jossa kerrotaan mitä tuotannon on saatava aikaiseksi, missä aikataulussa tuotanto on tehtävä ja milloin tuotanto on tehtävä. KanBIMin eräänä perusajatuksena on, että Last Planner -järjestelmä ei pysty vastaamaan erittäin kompleksisten työmaiden tarpeisiin, koska niillä esteitä syntyy päivittäin, ja Last Plannerin tarkastelu-aika on yksi viikko. (Sacks ym. 2010; Sacks ym. 2013; Gurevich ja Sacks 2014.)

KanBIM on kehitetty työskentelytiimin töiden hallintaan ja saavuttamaan laatua työnkulkuun vähentäen työskentelystä syntyvää hukkaa. Tutkimukset ovat osoittaneet KanBIMistä olevan hyötyä tehtävien valintaan. Se auttaa projektin vetäjää keskittymään projektin läpiviennin kannalta oleellisiin tehtäviin ja poistamaan epäolennaisten tehtävien tekemisestä syntyvän hukkan. Menetelmän avulla työskentely on lisännyt projektin työntekijöiden itsevarmuutta ja auttanut heitä työskentelemään lean-periaatteiden mukaisesti. (Gurevich ja Sacks 2014.)

Kuvassa 19 on kuvattu KanBIM-menetelmän perusajatus, joka perustuu Last Planner -järjestelmän lisäksi prosessisuunnittelun menetelmään. Järjestelmässä on samat perusvaiheet kuin Last Planner -järjestelmässä. Aikatauluinsinöörin rooli korostuu useammassa vaiheessa Last Planneria enemmän. Prosessi alkaa kokonaissuunnitelman laatimisesta, jossa laaditaan kokonaisprojektin aikataulu ja huomioidaan hankkeen resurssit ylätasolla. Tämä voidaan rinnastaa hankkeen yleisaikatauluun. Yleisaikataulusta luodaan pienempiä ja helpommin hallittavia paketteja, jotka jalkautetaan tuotantoon työsuunnittelulla. Viikoittaisen työsuunnittelun avulla kontrolloidaan tehtäväpaketteja, johon työnjohtajat kokoavat tehtävätyyppejä, jotka näkyvät tietomallissa erilaisilla symboleilla. Tehtävätyypit, joita ei vielä ole otettu käsittelyyn on merkitty tietomalliin määrittelemättömiksi elementeiksi. Viikkopalaverissa käydään näiden tehtävätyyppien avulla tehtäväpakettien toteutettavuutta hankkeen eri osapuolten kanssa. Aikatauluinsinööri päivittää KanBIMin viikkopalaverissa tapahtuneiden neuvottelujen pohjalta. Jokaiselle työvaiheelle nimetään ohjelmassa vastuuhenkilö. Mallin avulla paljastuneet ristiriidat pyritään ratkaisemaan viikkopalaverissa. (Sacks ym. 2010.)



Kuva 19. KanBIM-järjestelmän kuvaus (Sacks ym. 2010, s. 648)

Last Planner -järjestelmästä poiketen KanBIMissä toimitaan päivittäisellä tasolla. Tämä on yksittäisen työnjohtajan mahdollisuus hallita mallia. Työnjohtajat raportoivat töiden käynnistymisestä ja saavat visuaalisen näkymän muista käynnissä olevista töistä sekä mahdollisista oman työvaiheensa esteistä. Työnjohtajan päivittäisen toiminnan esimerkinäkymä tutkimusta varten tehdystä pilottiohjelmasta on esitetty kuvassa 20, josta nähdään, että visuaalinen malli helpottaa työnjohtajaa suuntaamaan työryhmänsä oikeille alueille. Ohjelma tunnistaa automaattisesti tietomallissa syntyviä konflikteja, joten niiden uudelleen arvioimisen ja suunnittelemisen tarve havaitaan ajoissa. Jokaisella tehtävällä on oma tehtäväkorttinsa, johon työnjohtaja merkitsee työvaiheen puutteita ja valmiusastetta. Tehtäväkorttien avulla pyritään hallitsemaan mallinnuksen ja henkilön oppimisprosessia töiden hallinnassa. Sacks ym. 2010.)



Kuva 20. Työnjohtajan KanBIM-näkymä (Sacks ym. 2010, s. 651)

3.4 Menetelmien vertailu

Lean-työkaluja on vertailtu taulukossa 2. Taulukkoon on otettu omaksi osiokseen lean-projekti ja projektisysteemi, jotta lukija hahmottaisi paremmin, ettei niissä ole kyse yksittäisestä työkalusta vaan kokonaisuuden hallinnasta. Tällä hetkellä lean-työkaluja ja menetelmiä testataan toimivaksi rakentamisessa yleensä. Niiden soveltamisesta juuri korkeaan rakentamiseen ei löydy tieteellistä tutkimusta.

	Lean projektinhallinta ja projektisysteemi	Last Planner	VisiLean	KanBIM
Hankekokonaisuuden huomioiminen	Projektikokonaisuudessa huomioidaan hankkeen koostuminen osiensä summasta. Hankeella pitää olla yhtenäiset tavoitteet ja työkalut	Last Planner huomioi hankekokonaisuuden tuomalla pitkän aikavälin suunnitelman yleisaikataulusta lyhyen aikavälin suunnitelmaan. Hankekokonaisuus huomioidaan tuotannon toteuman mittauksen kautta. Mittaus toteutetaan mittaamalla kuinka paljon edellisellä viikolla suunnitelluista tehtävistä on toteutunut	Last Planneriin pohjautuva visuaalinen työkalu. Huomioi hankekokonaisuuden Last-Plannerin tavoitin	Yksittäisenä työkaluna ei huomioi hankekokonaisuutta. Mahdollistaa yleisaikataulun jalkauttamisen päivätasolle. Mahdollistaa työsuunnittelussa tuotannonohjauskorttien laatimisen, joiden avulla voidaan luoda hankekokonaisuuden yhteiset tavoitteet.
Pitkän aikavälin huomioiminen	Huomioi hankeaikataulun	Yleisaikataulun jalkautus työvaiheikatauluun ja sitä kautta viikkosuunnitelmaan	Last Planneriin pohjautuva visuaalinen työkalu. Huomioi pitkän aikavälin Last-Plannerin tavoitin	Yhdistää pitkän aikavälin suunnittelun yksittäisen työvaiheen läpiviennin suunnitteluun
Lyhyen aikavälin huomioiminen	Lyhyen aikavälin aikataulun hallinta toteutetaan sovitulla lean-työkaluilla esim. Last Plannerilla	Viikkosuunnittelulla yhteistyössä hankkeen eri osapuolten kanssa	Last Planneriin pohjautuva visuaalinen työkalu. Huomioi lyhyen aikavälin Last-Plannerin tavoitin	Huomioi työn toteuman ja työn etenemisessä syntyneet esteet päivätasolla. Auttaa projektikokonaisuuden seuraamista.
Visuaalisuuden toteutus	Visuaalisuus huomioidaan sovitulla lean-työkaluilla esim. VisiLeanilla tai KanBIMillä	Visuaalisuus pohjautuu yhdessä laadittavaan aikatauluun	Pilvipohjainen Last Planner, josta näkyy töiden eteneminen. Voidaan yhdistää tietomalliin, jolloin sen avulla voidaan hyödyntää 4D lean-työsuunnittelua	Hyödyntää käytössään BIM-mallia. Projektisuunnittelija pystyy reaaliaikaisesti BIM-mallista seuraamaan, miten projekti sujuu
Käyttö työsuunnitelmissa	Antaa pohjan työsuunnittelulle yhteistyössä hankkeen eri osapuolten kanssa. Luo yhtenäisen pohjan työkuultuurille rungon työsuunnitteluun vaikuttavien organisaatioiden välillä.	Last Planner entuudestaan tuttu työkaluna auttaa hankkeen osapuolia hahmottamaan hankkeen lyhyen aikavälin tapahtumat. Käytännössä Last-Planner on yksi työkaluista, joita työsuunnittelussa voidaan päättää ottaa käyttöön. Vaatii kuitenkin yhtenäisyyden koko hankkeeseen, ei erillisiä Last-Plannereita runkotyön eri alueille kuten suunnitteluun ja tuotantoon	ViesiLean on työsuunnittelun aikana käytettäväksi sovitava työkalu, jolla voidaan helpottaa hankkeen etenemisen hahmottamista visuaalisin keinoin. Esim. elementtien suunnittelun, tuotannon ja asentamisen katkeamattoman suunnitelman tekeminen ja seuraaminen	Työsuunnittelussa pystytään helpottamaan yhteisymmärryksen saavuttamista ja yhteisten tavoitteiden asettamista. Auttaa hahmottamaan hankkeen eri vaiheissa on keskityttävä, jotta koko toimitusketju toimii ilman häiriöitä

Taulukko 2. Lean työkalujen ja periaatteiden vertailu (Wright 2000; Koskela ym. 2002; Hamzeh ym. 2008; Sacks ym. 2010; Brodetskaia ym. 2011; Dave ym. 2011, Dave ym. 2013; Sacks ym. 2013, Sacks ym. 2017; Gurevich ja Sacks 2014; Merikallio 2015; Heigermoser ym. 2019; Bhatt 2020; Salminen 2020; VisiLean 2020)

4 Työsuunnittelun kyselytutkimus

Opinnäytetyötä varten tehtiin kyselytutkimus kohdeyrityksen henkilöstölle. Kyselyyn vastasi 7 henkilöä 18:sta eli alle 50 %. Kyselytutkimukseen osallistuneiden joukko rajattiin pieneksi, koska kyselyyn osallistuvilla henkilöillä haluttiin olevan

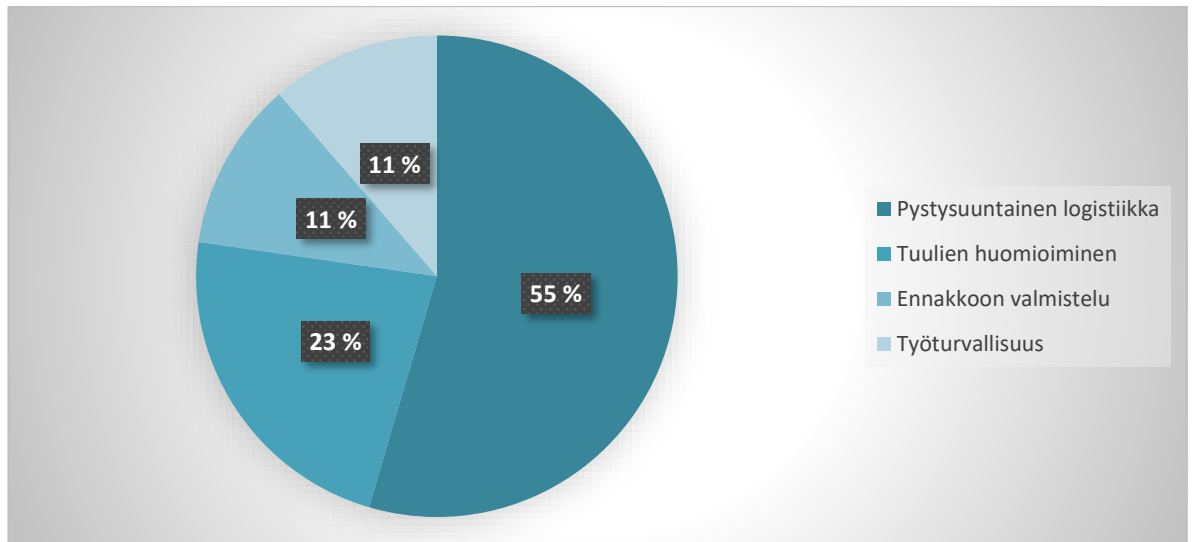
kokemusta korkeasta rakentamisesta. Korkeita rakennuksia on 2000-luvulla rakennettu vain 12, joten kyselyn tuloksia voidaan pitää luotettavana, koska niihin osallistuneiden henkilöiden lukumäärä ei ole suuri.

Kyselytutkimukseen sovellettiin laadullista tutkimusta, mutta henkilöiden haastattelua ei suoritettu, minkä takia kyselytutkimus ei täysin täytä laadullisen tutkimuksen metodia. Tutkimuksen tekijä kuitenkin ohjasi kyselytutkimusta kuvaamalla kysymyssarjan alussa, miten aihe tässä kyselyssä on ajateltu. Laadulliseen tutkimuksen soveltamiseen päädyttiin, koska kyselyyn osallistuvien henkilöiden oma näkemys tutkittavaan asiaan oli merkityksellinen. Opinnäytetyöhön liittyvät kyselytutkimuksen kysymykset on esitetty liitteessä 1. Kyselytutkimusta rajoitti käytetty alusta (Survey Monkey), joka mahdollisti vain yhdeksän kysymystä.

4.1 Yleiset tiedot korkeasta rakentamisesta

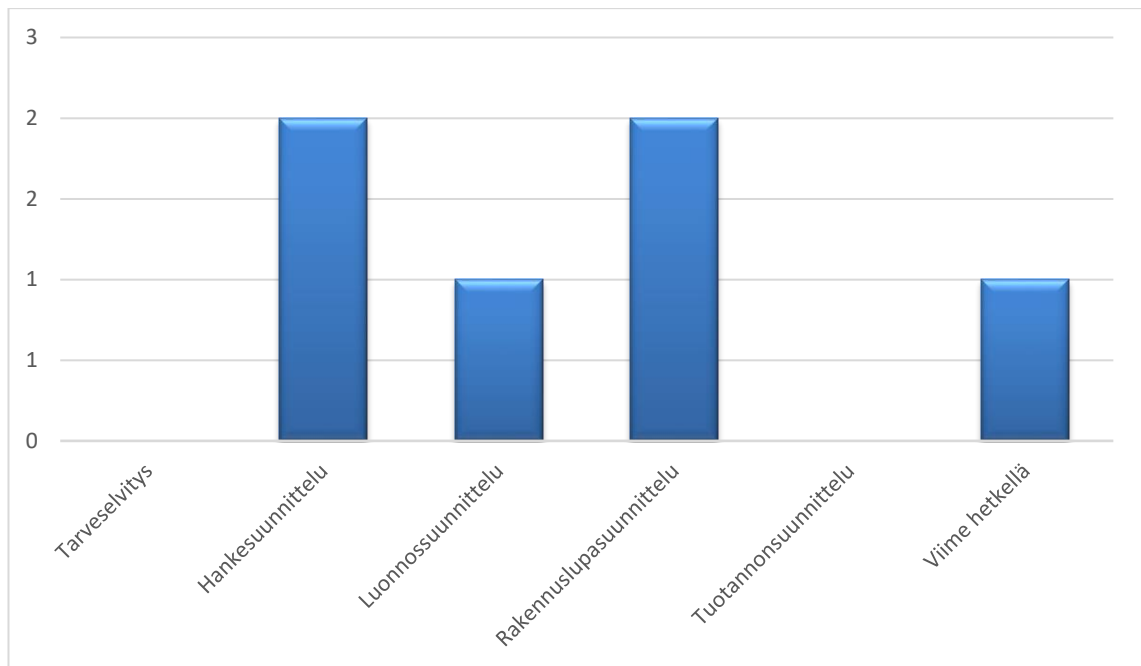
Kyselyn taustatietona haluttiin varmistaa, että osallistujat olleet mukana korkean rakentamisen projekteissa, koska tämä oli yksi tutkintajoukkoa rajannut tekijä. Kaikki kyselyyn osallistuneet olivat osallistuneet korkean rakentamisen kohteisiin. Taustatietona haluttiin myös vastaajan oma näkemys korkean ja perinteisen rakentamisen työsuunnittelusta. Suurin osa vastaajista (86 %) oli sitä mieltä, että työsuunnittelu eroaa korkeassa rakentamisessa suhteessa perinteiseen rakentamiseen.

Kuvassa 21 on esitetty vastaajien mielestä suurimmat erot korkean rakentamisen ja perinteisen rakentamisen työsuunnittelussa. Kysymyksen prosenttiosuudet on kerätty sanallisista kommentteista, joten niitä ei pysty esittämään lukumäärinä, koska niissä on tulkittu vastaajien sanallisia kommentteja. Suurin ero on kyselyyn osallistuneiden mielestä pystysuuntaisen logistiikan huomioiminen sekä henkilöettä tavaraliikenteessä. Toinen merkittävä tekijä on tuuliolosuhteiden huomioiminen. Tuuliolosuhteilla on merkitystä sekä logistiikkaan, että rakentamisen aika-tilaan ja tätä kautta kustannuksiin. Vastanneiden mielestä työsuunnitteluun liittyy olennaisesti rakennesuunnittelussa tuotannon erityistarpeiden huomioiminen sekä runkotyövaiheen työturvallisuus.



Kuva 21. Kyselytutkimuksen tulokset korkean rakentamisen ja perinteisen rakentamisen työsuunnittelun eroista

Kyselyssä haluttiin myös selvittää, milloin on oikea aika aloittaa työsuunnitelman laatiminen. Kuvassa 22 on esitetty vastaajien näkemys oikeasta aloituskohdasta. Kuten kuvassa on huomattavissa, vastaajien mielestä työsuunnittelu kannattaa aloittaa mahdollisimman aikaisin. Kyselyn sanallisissa kommentteissa nostetaan esille, että työsuunnittelussa on erilaisia tarkkuustasoja ja tarkempi tehtäväsuunnittelu aloitetaan tuotannosuunnittelun vaiheessa. Sanallisissa kommentteissa nousee myös esille työsuunnittelun aloitus riittävän aikaisin, jotta työmaiden tarpeet pystytään huomioimaan rungon rakennesuunnittelussa esimerkiksi työn aikainen harustaminen. Hankesuunnittelua puoltaa kyselytutkimuksen tulos logistiikan huomioimisesta. Korkean rakentamisen hankkeen sijoittaminen alueelle, jolla pystysuuntainen logistiikka on haasteellista, voidaan mahdollisesti vaikuttaa hankesuunnittelun yhteydessä.



Kuva 22. Kyselytutkimuksen tulokset työsuunnittelun aloitusajankohdasta, vastaajien lukumäärä, joka valinnut kyseisen vaihtoehdon.

4.2 Työsuunnitelmassa huomioitavat asiat

Kyselyssä kerrottiin haastateltaville opinnäytetyön näkemys tehtävän suunnitelman ja työsuunnitelman eroavaisuudesta. Kyselyssä kysyttiin vastaajien mielipidettä siitä, ottaako nykyinen malli tehtäväsuunnitelmasta riittävästi huomioon korkean rakentamisen erityispiirteet. Kyselyyn osallistuneista kolme henkilöä oli sitä mieltä, että tehtäväsuunnitelmassa ei ole otettu riittävästi huomioon korkean rakentamisen erityispiirteitä. Vastaavasti kolmen henkilön mielestä erityispiirteet on huomioitu riittävästi tehtäväsuunnitelmassa. Yksi vastaajista ei vastannut kysymykseen.

Taulukkoon 3 on kerätty vastaajien näkemys siitä, mitä asioita työsuunnittelussa on huomioitava. Tähän kysymykseen saatiin kuusi vastausta seitsemästä. Kyselyyn oli etukäteen annettu huomioitavien asioiden vaihtoehdot, joten tässä suhteessa tutkimus on hieman harhaanjohtava. Kysymys vaatisi seuranta tutkimuksen, jossa kyselyyn osallistujat pääsisivät luettelemaan vastausvaihtoehdonsa ilman johdatusta.

Aikataulu	Kustannukset	Laatu	Työturvallisuus	Resurssit
6	4	3	4	3
Suunnittelutilanne	Suunnitelmien toteutuskelpoisuus	Rungon työjärjestys	Toteuttaja	Tekijöiden kokemus
3	4	5	2	3
Riskit	Optimointi	Muuttuvat tekijät	Suunnittelijoiden kokemus	Suunnittelussa ratkaisujen toteutettavuus
3	3	2	3	1
Muottikierto	Lohkojako	Vaadittavat pätevyydet	Asennusjärjestys	Mahdolliset pullonkaulat
5	5	3	3	3
Valmistuminen mahdollisten riskien toteutumiseen	Tuulipäivät	Nosturikapasiteetti	Logistiikka	Sääolosuhteiden muutos korkealla
4	4	3	5	1

Taulukko 3. Kyselytutkimuksessa työsuunnittelussa esiin nousseita huomioitavia asioita. Lukumäärä on aina kyselyssä kyseisen asian kyseisen vaihtoehdon valinneiden vastaajien lukumäärä.

Taulukosta 3 käy ilmi aikataulun tärkeys työsuunnittelun kannalta. Suurin osa kyselyyn vastanneista aloittaisikin työsuunnittelun ennen toteutussuunnittelua. Muottikierto ja lohkojako sekä rungon työjärjestys katsotaan myös merkittäviksi asioiksi, joilla on vaikutusta myös suunnitteluun. Rungon optimointia ei katsota yhtä tärkeäksi asiaksi, mutta toisaalta rungon työsuunnittelussa muottikierron ja lohkojaon huomioiminen voidaan katsoa olevan rungon optimoimista. Työmaan logistiikka on myös nostettu merkittävään osaan. Rungon työsuunnittelussa on pystyttävä huomioimaan, miten rakentamisen logistiikka on toteutettavissa.

4.3 Lean-työkalut ja visuaaliset työkalut

Kyselyn taustatiedoksi haluttiin tietää vastaajien tietotaso lean-työkaluista. Viisi henkilöä, joka vastaa 71 %:a, kokonaiskyselyyn osallistujista oli käyttänyt entuudestaan lean-työkaluja. Yksi kyselyyn osallistuneista henkilöistä oli jättänyt vastaamatta kyseiseen kysymykseen, jolloin lean-työkaluja käyttäneiden henkilöiden osuus nousee 83 %:iin. Vastaajat ovat työssään soveltaneet esimerkiksi Last Planner -työkalua ja JIT-toimituksia. JIT-toimituksilla tarkoitetaan juuri oikeaan

aikaan työmaalle tulevia toimituksia. JIT on lyhenne sanoista Just In Time. Vastaajat toteavat kuitenkin, että työkalujen käyttö edellyttää niiden soveltamista, jotta ne sopivat juuri korkean rakentamisen kohteisiin.

Vastaajilta tiedusteltiin mahdollisuudesta soveltaa KanBIMiä työmaalla. Kyselyssä kerrottiin vastaajille KanBIMin määritelmä. Vastaajista 83 % oli sitä mieltä, että visuaalisten työkalujen käytöstä on hyötyä työsuunnitelmaa tehtäessä. Visuaalisuuden nähdään parantavan hankkeen eri osapuolten kommunikointia ja toimintatapojen jalkauttamista käytäntöön. Vastaajista 83 % oli sitä mieltä, että KanBIM voisi jollain mallilla toimia suomalaisessa rakennusteollisuudessa. Sanallisissa kommentteissa käy kuitenkin ilmi, ettei kyseinen työkalu ole välttämätön vaan työsuunnittelun perusasiat kuntoon laittamalla saadaan jo hyvä lopputulos aikaiseksi.

Vastaajat kommentoivat sanallisessa osiossa visuaalisuuden helpottavan yhteistyötä. Heidän mielestään se auttaa perehtymään paremmin yksityiskohtiin. Visuaalisuus auttaa paremmin hahmottamaan asioita, jotka muuten saattaisivat jäädä havaitsematta. Sanallisista kommentteista käy myös ilmi, että visuaalisuus edesauttaa suunnittelun läpivientiä, koska hankkeen eri osapuolet hahmottavat tilanteen nopeammin ja eri osapuolten erityisvaatimukset osataan ottaa paremmin huomioon.

4.4 Yhteenveto kyselytutkimuksesta

Taulukkoon 4 on koottu yhteenveto kyselytutkimuksesta. Kuten taulukosta huomataan, kyselytutkimuksesta on käynyt ilmi, ettei työsuunnittelu ole sidonnainen rakennuksen tyyppiin. Korkea rakentaminen luo rakennuksen mallin ja korkeuden takia muutamia erityistarpeita. Kyselystä käy myös ilmi, että lean-työkalut ovat tuttuja yrityksen työntekijöille ja leaniin kuuluva visuaalisuus nähdään työsuunnittelua edistävänä asiana.

Tutkimuksen aihealue	Kyselyssä esille nousseet asiat
Työsuunnittelussa huomioitavat korkean rakentamisen erityispiirteet	Logistiikan huomioiminen Sääolosuhteiden ja sitä kautta tuulisuuden huomioiminen Työturvallisuus Tuotantotarpeiden huomioiminen jo rungon suunnitteluvaiheessa
Työsuunnittelun aloittamisen ajankohta	Työsuunnittelu kannattaa aloittaa mahdollisimman aikaisin. Aikaisella aloituksella pystytään eniten vaikuttamaan korkean rakentamisen työsuunnittelun erityispiirteisiin.
Työsuunnitelman pitää sisältää vähintään	Työsuunnitelman pitää vähintään sisältää: rungon kokonaisuakataulun suunnittelu, työmaan logistiikan suunnittelu, rungon suunnittelu työmaan tarpeet huomioiden (muottikierto, lohkojako, yms.). Lisäksi työsuunnittelussa pitää huomioida tuulisuusolosuhteet ja hankkeen kustannukset.
Lean-työkalujen käyttö	Lean-työkalut ovat tuttuja kyselyyn vastanneille henkilöille. Lean-työkalujen käyttö vaatii niiden soveltamista yrityksen ja toteutusmuodon tarpeisiin.
Visuaalisuus	Visuaalisuuden katsotaan tuovan lisäarvoa työsuunnitteluun ja helpottavan hahmottamaan rungon suunnittelun tilannetta sekä mahdollisia toteutuksen ja suunnittelun haasteellisia kohtia.

Taulukko 4. Kyselytutkimuksen tulosten yhteenveto

5 Tarkastuslista korkean rakentamisen rungon työsuunnittelua varten

Kyselytutkimuksen ja teorian pohjalta opinnäytetyöhön muodostettiin seuraava tarkastuslista, johon on pyritty keräämään asioita, joita työsuunnittelussa olisi hyvä huomioida. Tarkastuslistan käytännöllistä hyötyä ei tässä opinnäytetyössä pystytty selvittämään, mutta sen tutkiminen olisi seuraava askel tarkastuslistan laadinnassa.

Tarkastuslista on esitetty kuvassa 23. Tarkastuslista on opinnäytetyötä varten pyritty pitämään mahdollisimman karkealla tasolla, jotta siinä ei paljasteta yrityksen tuotantoon liittyviä yksityiskohtaisia toimintamalleja. Opinnäytetyönlaatija halusi laatia tarkastuslistan niin, että se muodostaa muistisäännön sen käyttäjälle. Tästä syystä tarkastuslistaa on täsmennetty vastaavalla tavalla. Tarkastuslista

muodostaa sanan HYLKEÄ, joka sopii hyvin tarkastuslistan tarkoitukselleen. Työsuunnitelma on tarkoitettu laatia niin, että se toimii toimintakarttana korkean rakentamisen työmaalla ja hylkii työmaan hukkan pois tuotannosta.

Tarkastuslista korkean rakentamisen työsuunnitteluun

H uomioi ympäristö	↔	Tilan ja sääolosuhteiden vaikutus
Y hteistyö	↔	Koko tuotantoketju mukaan suunnitteluun
L ogistiikka, logistiikka, logistiikka!	↔	Pystynostot, varastointi, visuaalisuus
K ehitä rakennusratkaisut	↔	Rakennettavuus, toistettavuus, tehokkuus
E nnakoi porukalla	↔	Tiedonkulku hankkeessa, tiedon visuaalisuus
Ä lä jätä mitään viime hetkeen	↔	Kokonaisuuden läpimenoaika

Kuva 23. Korkean rakentamisen tehtäväsuunnittelun tarkastuslista

Huomioi ympäristö – tilan ja sääolosuhteiden vaikutus

Korkean rakentamisen rakennusympäristö aiheuttaa omia haasteita työsuunnitteluun, joka on otettava huomioon jo rakennesuunnitelmien laadintavaiheessa. Tuuliolosuhteet esimerkiksi voivat pidentää hankekokonaisuuden läpimenoaika, koska rakentamisen yleisaikataulua, ja edelleen rungon työvaiheikataulua laadittaessa on huomioitava tuulipäivät. Tuulipäivien aikana nostot rakennukseen eivät onnistu samalla tehokkuudella kuin ilman tuulta. Erittäin tuulisena päivänä nostot voivat jäädä kokonaan tekemättä.

Työsuunnittelussa tuulipäivät ja muut säähän ja ympäristöön liittyvät tekijät pitäisi pystyä huomioimaan niin, etteivät ne vaikuta merkittävästi yleisaikatauluun tai tuotannon läpivientiin. Tätä varten voidaan esimerkiksi tehdä taulukkotyökalu, jossa tuulipäivien aiheuttamat riskit havainnoidaan ja niitä vastaan tehtävät toimenpiteet mietitään ja riski pyritään poistamaan ennen tuotannon aloitusta mahdollisimman hyvin.

Yhteistyö – koko tuotantoketju mukaan suunnitteluun

Työsuunnitelmaa laadittaessa on muistettava yhteistyö koko arvontuontiketjun läpi. Tämä tarkoittaa sitä, että sekä suunnittelijat että tulevat alihankkijat pitää ottaa mukaan työsuunnitelman laatimiseen. Hankkeen eri osapuolten kanssa on työsuunnitteluvaiheessa sovittava, mitä menetelmiä käytetään ja miten niitä käytetään. Nämä menetelmät on otettava käyttöön niin suunnittelijoiden, tuotannon kuin kumppaneidenkin kanssa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että runkoon liittyvät aliurakoitsijat on kiinnitettävä tavallista aiemmin hankkeeseen.

Yhteistyön varmistamiseen voidaan käyttää esimerkiksi allianssityylistä lähestymistapaa, jolla varmistetaan projektisysteemin mukaisesti yhteinen tavoite ja yhteiset toimintatavat. Allianssin sääntöihin pitäisi määrittää myös käytettävät työkalut. Työsuunnittelua voidaan pitää allianssin laatimana ohjenuorana toteutukselle. Urakkamuodot eivät rajoita työsuunnittelun toteutusta käyttämällä allianssityylistä lähestymistapaa, koska työsuunnittelu aloitetaan niin aikaisin, että sitä varten voidaan valita urakkamuoto, johon se sopii. Hankkeeseen myöhemmin tulevat osapuolet pitää sitouttaa aiemmin valittuihin yhteistyön muotoihin.

Logistiikka, logistiikka, logistiikka – Pystynostot, varastointi, visuaalisuus

Työmaan logistiikan huomioiminen on korkean rakentamisen työsuunnittelussa huomattavasti merkittävämmässä roolissa kuin perinteisen rakennuksen työsuunnittelussa. Logistiikkareittien visualisoiminen on oleellinen osa logistiikka-suunnittelun tiedonkulkua. Visualisointityökalut ja tietomallin hyödyntäminen tulee sopia työsuunnitelmaa laadittaessa. Samoin on mietittävä henkilö- ja tavara-liikenteen kapasiteetteja sekä väliaikaisia kokoontumis- ja wc-tiloja, joilla vähennetään henkilöiden pystysuuntaista liikkumista.

Työsuunnitelman kannalta logistiikka voidaan huomioida erillisenä logistisena suunnitelmana. Visuaalisuuden parantamiseksi työmaasta kannattaa luoda logistiikan tietomalli, joka voidaan myöhemmin liittää tuotantoa ja suunnittelua ohjaa-

viin tietomalleihin. Mallien ristiin tarkastuksella saadaan niistä mahdolliset ristiriitaisuudet pois. Logistiikan tietomalli auttaa myös hahmottamaan, mihin kokoon-
tumispaikat ja pystysuuntaiset nostopisteet kannattaa sijoittaa.

Kehitä rakenneratkaisut – Rakennettavuus, toistettavuus, tehokkuus

Rakenneratkaisun kehittäminen on tärkeä osa rakennuksen työsuunnittelua. Opinnäytetyön toisessa kappaleessa kuvattiin, että maailmanlaajuisesti on käytössä erityylisiä runkoratkaisuja korkean rakentamisen kohteisiin. Näiden tutkiminen juuri kyseiseen kohteeseen sopivaksi on suoritettava, koska rakennuksien sijainnit vaihtelevat ja näin ollen myös niiden käytössä olevat rakenteet vaihtelevat. Käytännössä Suomen korkean rakentamisen kohteissa on tällä hetkellä pääsääntöisesti paikallavalurungot, mutta rakennustekniikan kehittyessä tämä voi muuttua. Runkoratkaisun valinta vaikuttaa myös työmaan logistiikan suunnitteluun. Runkoratkaisun optimoinnilla pystytään myös jo ennen rakentamista miettimään toteutuksen aikaisia ratkaisuja kuten välitasojen vesikattoja, nostureiden sijainteja ja työaikaista hissikapasiteettia rakennuksen sisälle.

Työsuunnittelussa runkoratkaisun kehittäminen käytännössä tapahtuu rakennesuunnitelmien muokkaamisella tuotannon tarpeisiin. Kehittämisessä pitää huomioida tuotannon tehokkuus ja toistettavuus. Mitä enemmän rakenteissa on toistoa, sitä paremmin työmaalla tapahtuu oppimista ja työ tehostuu.

Ennakoi porukalla – Tiedonkulku hankkeessa, tiedon visuaalisuus

Tiedonkulku on otettava huomioon työsuunnitelmaa laatiessa. Tiedonkulkua mietittäessä on mietittävä eri osapuolten tausta, jotta keskusteluun ei jää epäselvyyttä. Työsuunnitelmassa olisi hyvä miettiä tiedonkulun visuaalisuutta ja sopia siinä käytettävät työkalut ja menetelmät. Esimerkiksi KanBIM mahdollistaa tiedonkulun visualisoinnin koko toimitusketjua koskevien tuotannonohjaukskorttien avulla. Tiedonkulun visualisoinnin toimivuutta KanBIMin avulla ei tutkittu tässä opinnäytetyössä.

Työsuunnittelua tehtäessä tiedonkulun voi varmistaa esimerkiksi hankkeen eri osapuolten välisellä virtuaalisella ympäristöllä, jossa varsinainen työsuunnittelu

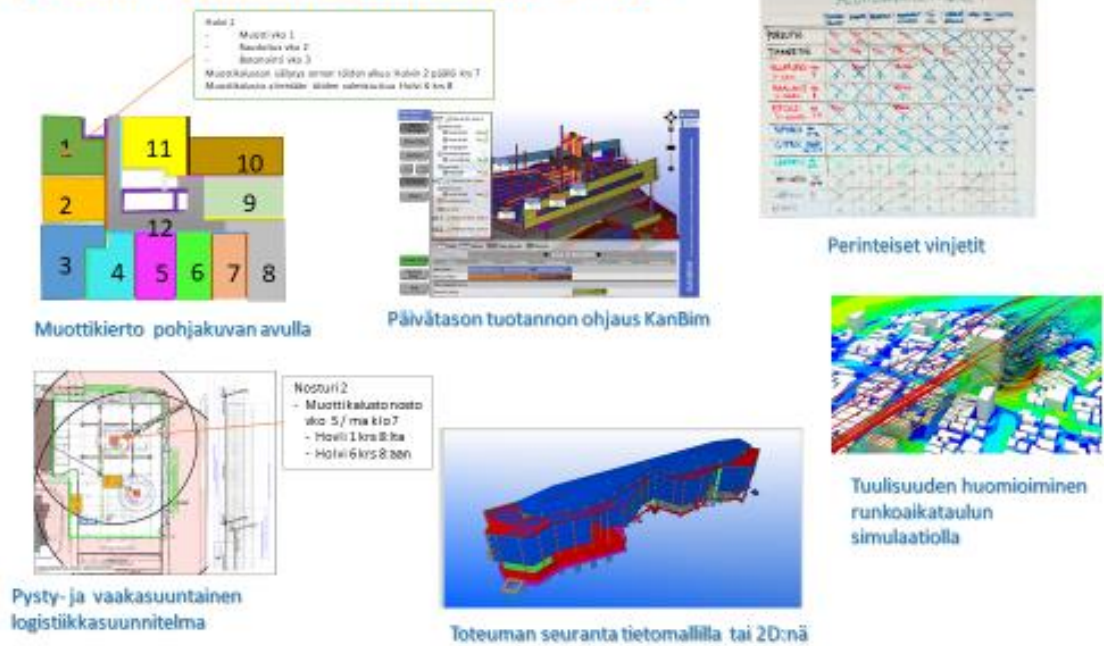
tehdään. Tietoa työn etenemisestä voidaan tehostaa visuaalisilla lean-työkaluilla, mutta ne eivät saa olla itseisarvo tiedonkululle.

Älä jätä viime hetkeen – Kokonaisuuden läpimenoaika

Tarkastuslistan perusajatuksena on huomioida koko hankkeen läpimenoaika, joka tarkoittaa myös suunnitteluun tarvittavaa aikaa. Ennen työsuunnittelua hankkeesta olisi laadittava karkealla tasolla kokonaisaikataulu, jossa on huomioitu suunnittelun tarvitsema aika, rakennustuotannon tarvitsema aika ja käyttöönoton tarvitsema aika. Tämän pohjalta luodaan hankkeen yleisaikataulu. Yleisaikataulu täydennetään työvaihekohtaiseksi aikatauluksi. Last Planner ei voi rungon työsuunnittelussa koskea yksittäistä prosessin osa-aluetta, kuten suunnittelua, vaan sen on katettava koko runkotyön prosessi.

Työsuunnittelun kannalta aikataulu on tärkeä. Sen on oltava yhtenäinen tavoite koko projektin arvontuontiketjulle. Tämä voidaan toteuttaa käyttämällä esimerkiksi yhtenäistä aikatauluohjelmaa ja sopimalla yhtenäiset menetelmät, miten toteutusta seurataan lean-työkalujen avulla. Toteutuksen tuottavuuden seuraaminen ei saa rajoittua vain yhteen projektisysteemin vaiheeseen vaan sen on toteuttava kaikissa vaiheissa. Kuvassa 24 on esitetty esimerkkejä siitä, mitä visuaalinen suunnittelu voi olla. Kuvaan on kerätty kyselytutkimuksessa ja teorian pohjalta hahmotettuja keinoja rakentamisen ja tuotannosuunnittelun vaiheisiin.

Työsuunnittelun visuaalisia keinoja



Kuva 24. Visuaalisuuden huomioimisen esimerkkejä (Sacks ym. 2010; Koskenvesa ym. 2015; Tekla 2019; Viertola 2019; Churazova 2020)

Oheinen tarkastuslista ei poista yrityskohtaisen tehtäväsuunnitelman laatimisen tärkeyttä. Tehtäväsuunnitelman voidaan ajatella olevan osa työsuunnittelua. Se on työmaan näkemys siitä, miten se huomioi työvaiheen laadun, kustannukset ja aikataulun. Se on ote laajemmasta suunnittelusta. Taulukossa 5 on esitetty esimerkki, mitä asioita hankkeen eri vaiheissa voidaan tarkastuslistan eri kohdissa huomioida.

	HANKEKEHITYS	LUONNOSSUUNNITTELU	RAKENNUSLUPA-SUUNNITTELU	TOTEUTUSSUUNNITTELU	RAKENTAMINEN
H	Tontin tarkastelu •Miten tontille voidaan rakentaa? (esim. logistiikan syöttöreitit ja tuulilolosuhteet)	Sääolosuhteiden tarkempi tarkastelu •Tuulitunnelikokeiden toimijan valinta	Tuulitunnelikokeet Kulkureitit rakennusalueelle	Varmistetaan, että tuulen vaikutus huomioidu hankkeen aikataulussa, logistiikka-suunnitelmassa ja tehtäväsuunnitelmassa	Kaikki mietitty etukäteen. •Sääolosuhteet pystytään hallitsemaan rakentamisen aikana
Y	Hankkeen osapuolten sitouttaminen •Varmistetaan parhaat mahdolliset suunnittelijat ja toteuttajat (valitaan ammattitaidon ja yhteistyön perusteella) •Luodaan aikataulu, milloin projektin eri osapuolet sitoutetaan hankkeeseen	Valitaan hankkeelle logistiikkaurakoitsija •Valitaan urakoitsija, jolla on kokemusta korkeasta rakentamisesta ja joka pystyy sparraamaan rungon työaikaista tarpeista Tarkennetaan sitouttamisaikataulua, nimetään tärkeimmät yhteistyökumppanit esim. betonin toimittaja.	Sovitaan tuotannossa käytettävät lean-työkalut ja sitoutetaan myös suunnittelijat Täydennetään yhteistyökumppaneiden sitouttamista runkourakoitsijalla, jos ei tehdä omana tuotantona.	Koulutetaan arvonuontiketju yhteisiin lean-työluihin •Mietitään jalkautus aina allurakoitsijoille Valitaan loput avainkumppanit, joiden panoksella voi olla vaikutusta suunnitelmiin.	Yhteistyön saumattomuuden varmistaminen •Yhteiset työskentely-ympäristöt •Yhteiset lean-työkalut koko arvonuontiketjun läpi •Yhteinen toteuman raportointitapa •Yhteiset tavoitteet ja onnistumisen kriteerit
L	Ei tarvitse vielä aloittaa	Logistiikan huomiominen aloitetaan rungon suunnittelussa •Rakennuksen työaikaisten ja lopullisten nostokuilutarpeiden yhteensovitus	Luodaan ensimmäiset logistiikkamallit, joilla pystytään miettimään logistisia ratkaisuja	Luodaan pystylogistiikan mallit. Koulutetaan tulevaa toteutusorganisaatiota logistiikan toimintamalleihin. Varmistetaan logistiikan huomiominen työmaasuunnitelmissa ja runkosuunnitelmissa	Kokenut logistiikkaurakoitsija •Päivittäinen visuaalisoiminen esim. pohjakuvaan •Logistiikan minuuttisuunnitelma päivittäin
K	Ei tarvitse vielä aloittaa	Rungon harustaminen •Harustamisen tutkiminen aloitetaan. Harustaminen ei saisi haitata julkisivutoitaita.	Runkoratkaisut kehitetään tuotannon näkökulmasta jo arkitehdin suunnitelmiin. Rungon rakennesuunnitelmissa huomioidaan alusta asti esim. muottikierto ja jälkikuonta. Suunnittelu tehtävä niin että muottikierto saadaan toistoa (oppimisen maksimointi)	Varmistetaan, että runkoratkaisuissa työmaan tarpeet huomioidu. Toteutuksen harjoittelu rungon tyyppikerroksien rakentamisella simulointiohjelmilla.	Runkoratkaisut kehitetty valmiiksi. Suunnitelmat toteutuskelpoisia ennen kuin niiden toteutus tapahtuu. Suunnittelijan ja työmaan saumaton yhteistyö.
E	Viestintäkanavien mietintä •Päätetään esimerkiksi yhteisen työympäristön käytöstä, joka aloitetaan tulevissa vaiheissa	Perustetaan yhteiset toimintaympäristöt •Luodaan pilvipohjaiset työympäristöt Sovitaan edistymisen raportoinnista •Sovitaan raportoinnissa käytetyistä työkaluista	Aloitetaan visuaalinen läpikäynti •Tietomalli havainnollistamassa mistä puhutaan •Sovitaan visuaalisista menetelmistä, joilla etenemää ennustetaan ja toteumaa raportoidaan	Suunnitelmien yhteensovitus. Päätetään tuotannon aikaisesta visuaalisesta toteuman seurannasta, ja yhteensovitetaan se jo syntyneeseen toteumaan. Simuloinnin tulokset kaikkien tietoon ja siitä saadut opit huomioidaan suunnitelmissa.	Varmistetaan tiedonkulun katkeamattomuus koko arvonuontiketjussa.
Ä	Mietitään alustava hankkeen tavoiteaikataulu, jota kaikki hankkeen osapuolet aina tuotantoon asti kommentoivat	Tarkennetaan yleisaikataulua ja sovitaan milloin työvaiheikatauluun tarvitaan määrätietoa	Luodaan rungon ensimmäinen työvaiheikataulu suunnittelun pohjaksi	Rungon työvaiheikataulu lopulliseksi, työvaiheikatauluun tarvittavat määrät tiedossa. Työvaiheikataulun 6 viikkoisaikataulut mietitään vinjet-mallilla.	Pyritään luomaan päivätasoiset aikataulut, joissa sovitaan mitä hankkeessa tapahtuu, missä tapahtuu ja milloin tapahtuu ja kuinka kauan kestää. Tähän voidaan hyödyntää esim. KanBimiä

Taulukko 5. Esimerkki siitä, mitä asioita missäkin projektin vaiheessa voi huomioida tarkastuslistan avulla

6 Työsuunnitelman visuaalisuus

Työsuunnitelman visuaalisuutta kannattaa miettiä hankkeen etenemisen mukaan. Esimerkiksi tietomallipohjaista tuotannonohjausta ei kannata käynnistää hankesuunnitteluvaiheessa ja toisaalta toteutuksessa pelkästään tietomallipohjaiset suunnitelmat eivät välttämättä vastaa työmaan tarpeita.

Teoriassa mainitun KanBIMin käyttö päivätason työnohjaukseen vaatisi yritystä luomaan omat tuotannonohjauskorttinsa, sillä käytössä olevien tietomalliohjelmien avulla jokainen yritys pystyy modifioimaan omat korttinsa. KanBIMistä ei

tällä hetkellä ole kaupallista ohjelmaa saatavilla. Teoriaosiossa esitetyn aikatauluinsinöörin päivittäinen seurantatyö on hankalampi toteuttaa, koska se sisältää päivittäistä tuotannon ajoitusta tietomallin avulla. Seurantatyön toteuttaminen tietomallin avulla vaatisi yritystasosta suunnittelua siihen, miten heillä käytössä olevat ohjelmat sopivat tiedon syöttöön ja kuinka syöttö mukautuu malliin. Lisäksi ohjelmista pitäisi tutkia, miten ne pystyvät lähettämään hälytyksiä aikatauluinsinöörille.

Myös VisiLeanin hyödyntämistä pitää harkita yritystasolla. Se on yksi ohjelma muiden joukossa, joten yritystasolla pitää arvioida sen antama hyöty suhteessa siitä syntyviin ylimääräisiin kustannuksiin. Toisaalta korkean rakentamisen työsuunnittelun visualisoiminen ei välttämättä tarvitse mitään uutta. Visualisoimisen voi tehdä perinteisin keinoin esimerkiksi piirtämällä vinjetti pohjakuvan päälle. Työkalua enemmän kannattaakin miettiä arvontuontiketjun tarpeet. Visuaalisten työkalujen käyttäminen pitää lähteä työsuunnitteluun osallistuvien henkilöiden käyttötottumuksista ja osaamistasosta, muuten niiden käyttäminen saattaa jäädä vähäiseksi.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyössä määriteltiin korkean rakennuksen olevan Suomessa rakennus, jossa on yli 16 kerrosta kellarikerrokset mukaan luettuna. Korkean rakennuksen määritelmässä on maakohtaisia eroja. Eurokoodien käyttöönotto on Euroopan tasolla yhtenäistänyt määritelmää, mutta niissä on vielä eroavaisuuksia.

Korkeassa rakentamisessa on tunnistettu toimivia runkoratkaisuja, joilla korkeat rakennukset pystytään jäykistämään vaakasuuntaisia tuulikuormia vastaan. Valittu runkorakenne vaikuttaa siihen, mitä työsuunnittelussa otetaan huomioon. Runkoratkaisuissa, joissa on korkea esivalmistuksen aste, korostuu logistiikan huomioiminen. Runkoratkaisuissa, joissa on paljon paikalla valmistettavia osia, korostuu työmaan resursoinnin tärkeys ja osien siirtäminen työmaalla.

Opinnäytetyössä työsuunnittelu määriteltiin suunnitelmaksi, joka rungosta tehdään pitkällä aikavälillä. Työsuunnittelussa huomioidaan koko runkotyövaiheen

arvontuontiketju ja tämän takia työsuunnittelun laadintaa lähestyttiin opinnäytetyössä lean-projektinhallinnan näkökulmasta. Lean-projektinhallinnassa korostuu hankkeen eri osapuolten välinen yhteistyö. Ajattelumallin avulla on helppo hahmottaa projekti osiensa summaksi.

Last Planner on eräs leanin työkalu, joilla voidaan suorittaa hankekokonaisuuden aikataulun viemistä lyhyemmän tähtäimen aikatauluksi. Työsuunnittelun kannalta Last Planner on työkalu, jolla voidaan auttaa kokonaisuuden hahmottamista ja seurata työn etenemistä hanketasolla. VisiLean ja KanBIM ovat tietomalliin pohjautuvia lean-työkaluja, joilla työsuunnitelman laadintaan saadaan visuaalisuutta ja helpotetaan työn etenemisen hahmottamista. Niiden avulla helpotetaan yhteistyön etenemistä ja esteiden poistamista runkotyövaiheesta.

Työtä varten tehdystä kyselytutkimuksesta kävi ilmi, että korkean rakentamisen työsuunnittelussa logistiikka, aikataulu, rungon optimointi tuotannon kannalta ja tuulisuus ovat merkittävimmät asiat. Kyselytutkimuksesta saatiin myös selville, että lean-työkalujen käyttäminen vaatii hankekohtaista soveltamista.

Kyselytutkimuksen ja opinnäytetyötä varten tehdyn kirjallisuustutkimuksen pohjalta laadittiin tarkastuslista työsuunnittelua varten. Tarkastuslista muodostaa muistisäännön HYLKEÄ. Tarkastuslistassa muistutetaan työsuunnitelman laatijoita huomioimaan ympäristö, johon rakennus rakennetaan ja sen sääolosuhteiden vaikutus. Lisäksi siinä kannustetaan työsuunnitelman laatijoita yhteistyöhön, koska yhteistyö on ainoa keino saada kaikkien hankkeen osapuolten osaaminen osaksi työsuunnitelmaa. Tarkastuslista korostaa logistiikan huomioimista työsuunnittelussa ja rungon optimointia tuotantoa varten. Tarkastuslistassa toivotaan runkoon osallistuvien henkilöiden välille katkeamatonta informaationkulkua ja pyydetään aloittamaan työsuunnittelu mieluummin liian aikaisin kuin liian myöhään.

8 Pohdinta

Korkean rakentamisen runkoratkaisun optimointi tuotannon kannalta parhaaksi poistaa rakentamisesta hukkaa esimerkiksi ylimääräisten nostojen muodossa. Hukan poistaminen on lean-tuotannon perusajatus (Koskela ym. 2002.), joten

sen poistaminen työsuunnittelussa kannattaa aloittaa jo rakennesuunnitelmia laadittaessa. Rungon työsuunnittelun kannalta hukan poistuminen tapahtuu paremman yhteistyön ansiosta. Hankkeen eri osapuolten yhteistä työsuunnitelmaa tehtäessä tulee huomioida jokaisen näkemys. Yhteistyön puute on ollut yksi rakennusalan ongelmista (Wright 2000; Ballard ja Tommelein 2012), joten sen kehittäminen yhteisen työsuunnitelman avulla auttaa ongelmien synnyn ehkäisemisessä. Ongelmat voidaan katsoa lean-tuotannossa osaksi hukkaa (Koskela 1992).

Last Planner -työkalun tuottavuuden mittaamisella on taustalla koko hankkeen pitäminen aikataulussa (Ballard ja Tommelein 2012). Tuottavuuden mittausta pitäisikin ottaa käyttöön jo hankkeen alkuvaiheessa, ja käyttää yhtenäistä menetelmää koko hankkeen ajan. Rungon eri osavaiheista tehtävät erilliset Last Plannerit tai vastaavat suunnitelmat eivät tue alkuperäistä lean-ajatusta poistaa työn etenemisen esteet koko arvontuontiketjusta. (Koskela ja Koskenvesa 2003; Sacks ym. 2017). Last Planner nähdään tällä hetkellä enemmänkin yhdessä laadittuna viikkoaikatauluna kuin esteiden poistamiseen perustuvana työkaluna. Ajaako työkalun osana oleva lookahead planning eli lyhyen tähtäimen suunnitelma siihen, että työkalu on lähinnä lyhyen tähtäimen viikkosuunnittelua eikä esteitä poistavaa ja tuotannon onnistumista mittaava työkalu? Olisiko KanBIMissä vastaava ongelma, koska siinä aikataulun suunnittelu on vielä Last Planneriakin lyhyemmällä aikavälillä?

Maakohtaiset eroavaisuudet, kuten ympäristön huomioiminen, ovat tärkeä osa rungon työsuunnittelua. Suomessa merkittävään osaan nousee tuulen vaikutus työn toteutettavuuteen. Suurimmassa osassa maailman maista korkean rakentamisen runkotyöhön vaikuttaa merkittävässä määrin työskentely maanjäristysalueilla. Maanjäristysalueella työskenteleminen luo rungon jäykistykseen omia haasteita. Siellä myös rungon työtekniikkaan liittyvien seikkojen huomioiminen on tehtävä maanjäristystä varten tehtävän jäykistyksen rajoitusten mukaisesti. (Erberik ja Elnashai 2004; Charleson 2008; Bai ym. 2016; Estekanchi ym. 2018.)

Työsuunnittelussa visuaalisuus auttaa asioiden hahmottamista. Visuaalisuutta voidaan tehdä sekä kaksiulotteisesti että kolmiulotteisesti. Kolmiulotteinen kom-

munikointi voi tapahtua KanBIMin kaltaisella menetelmällä tuotannonohjauskorttien avulla. Sacksin ja muiden (2010) mukaan korteista on käytävä ilmi, mitä tehdään, milloin tehdään ja kuinka paljon asiaa tehdään. Tämä periaate säilyy läpi koko rungon työsuunnittelun, mutta sisällön on muututtava hankkeen eri vaiheissa. Mielenkiintoista olisi tutkia, olisiko korkean rakentamisen kohteeseen mahdollista tehdä KanBIMin avulla mallikerros, jonka toteutettavuus hiotaan optimiinsa ja toteutusta harjoitellaan virtuaalisesti ennen kuin varsinainen rakentaminen alkaa. Auttaisiko virtuaalisesti tehtävä kerros optimoimaan korkean rakentamisen tuotannon, jossa on suuri toisto ja saamaan rakennuttamisesta tehokkaampaa? Simulaatiossa sääolosuhteiden huomioiminen on haastavaa. Visuaalisella harjoittelulla tuotantoon saadaan kuitenkin toistoa, jolla ongelmakohdat on mahdollista havaita ennen tuotannon aloittamista.

Visuaalisuus voi tapahtua myös VisiLeanin (Dave, Boddy ja Koskela 2013.) kaltaisen Last Planner -ohjelmiston avulla. Työsuunnittelua ei voida tehdä ohjelmisto edellä vaan se on tehtävä yhteistyö ja rungon toteutettavuus edellä. Projekti on nähtävä jatkuvana syklinä, jossa hankkeen eri vaiheet limittyvät keskenään. Työsuunnittelun kannalta on tärkeää, että hankkeen eri osavaiheissa tapahtuu oppimista ja tämä oppiminen siirtyy aina projektin seuraavan vaiheen käyttöön. (Ballard ja Tommelein 2012). Toisaalta voidaan miettiä, millä keinoilla työsuunnittelun synnyttämää projektin eri vaiheissa tapahtuvaa oppimista voitaisiin tehostaa. Jatkotutkimuksena voisi tarkastella auttaisiko esimerkiksi kerroksen simulointi oppimisen tehostumista? Olisi myös tärkeä sopia keinot, joilla oppimista seurataan, että oppiminen ei päättyisi vaan hankkeessa tapahtuisi jatkuvaa oppimista. Työsuunnittelun kannalta visuaalisuus on luotava sellaiseksi, että oppi ei jää hukkaan. Visuaalisuuteen vaikuttaa hankkeen eri osapuolten mahdollisuus käyttää eri työkaluja. Toisaalta olisi mietittävä, voitaisiinko kaikkia hankkeen osapuolia saada käyttämään samoja ohjelmistoja, jolloin yhteistyö ei jäisi niistä kiinni? Auttaisiko yhteisten ohjelmistojen käytössä yhteinen alusta esimerkiksi Trimblen tarjoama Trimble Connect tai vastaava tietomallin pilvipalvelu, joka toimii OpenBIMin periaatteilla?

Jatkotutkimuksessa olisi hyvä selvittää, mitä lisäarvoa erilaiset menetelmät antavat rakennushankkeelle. Esimerkiksi KanBIM vaatii yrityksestä laajaa tietomalli

osaamista, jotta yritys voi itse luoda käytettävän tietomalli ympäristön. Jatkotutkimuksena kannattaisikin selvittää, mitä tietomallinnuksessa käytössä olevia ohjelmia siinä voitaisiin hyödyntää ja kuinka paljon se oikeasti toisi lisäarvoa hankkeeseen? Toisaalta kannattaisi tutkia, miten jo olemassa olevia menetelmiä voidaan hyödyntää. Jatkotutkimuksena kannattaisi tutkia tarvitaanko tietomalleja työsuunnittelussa. Esimerkiksi opinnäytetyön kirjoittaja on omassa työssään havainnut, että vaikka tietomallipohjainen aluesuunnitelma on havainnollinen ja sen avulla on helppo esitellä hanketta. Tietomallipohjaisesta aluesuunnitelmasta ei kuitenkaan tämän hetken ohjelmilla saa riittävän tarkkaa tietoa, kun tehdään aluesuunnitelmaa erittäin ahtaille tonteille. Toisaalta ohjelmat kehittyvät koko ajan, mutta pysykö rakentamisen toteuttavan portaan osaaminen niiden perässä, koska heidän ydinosaamistaan tarvitaan rakennuksen valmiiksi saattamiseen.

9 Johtopäätökset

Rungon työsuunnittelun kannalta avainasemassa on hankkeen eri osapuolten välinen yhteistyö. Yhteistyön avulla työsuunnitelma saadaan luotua sellaiseksi, että rakentamisen aikainen hukka pystytään ennakoimaan ja mahdollisesti poistamaan ennen rakentamisen aloitusta. Yhteistyön avulla löytyy myös parhaat käytännöt rungon toteutettavuuteen, koska jokainen hankkeen osapuoli pystyy tuomaan oman näkemyksensä töiden toteutettavuuteen rauhallisessa työympäristössä ilman rakentamiseen liittyvää kiirettä.

Visuaalisuus helpottaa hankkeen osapuolten välistä kommunikaatiota ja on tärkeä osa rungon työsuunnittelua. Visuaalisuuden käyttö työsuunnittelussa vaatii kuitenkin lisätutkimusta siitä, millaista visuaalisuutta kannattaa käyttää missäkin hankkeen vaiheessa. Opinnäytetyössä esille nostettu KanBIM-järjestelmä voisi toimia suomalaisessa rakentamisessa keskustelukortteina, joilla projektinhallintaan erikoistuneet henkilöt ohjaavat projektia kohti tavoitteita. Käytännössä tämä luultavasti tapahtuisi BIM-mallin kommunikointityökalujen avulla, joita on valmiiksi käytössä yleisimmissä tietomallinnusohjelmissa. Tuotannonohjauskorttien käyttöönotto vaatisi kuitenkin toimintatavan muutosta suomalaiseen rakentamiseen

ja tuotannon vahvempaa otetta suunnittelun ohjauksesta. Tämän tutkiminen käytännössä jää tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

Opinnäytetyön tutkimuskysymyksenä oli: ”Mitä asioita huomioidaan korkeassa rakentamisessa rungon työsuunnittelussa, ja miten työsuunnitelma kannattaa laatia visuaalisesti?” Vastaus tähän on, että korkean rakentamisen rungon työsuunnittelussa on otettava huomioon samoja seikkoja kuin perinteisen rakentamisen työsuunnittelussa. Korkeat kohteet painottavat työsuunnittelun logistiikkaa, hankkeen osapuolten välistä yhteistyötä, sääilmiöiden vaikutusta, tiedonkulkua ja rungon teknistä toteutettavuutta. Visuaalisuus edesauttaa suunnitelman ymmärrettävyyttä ja helpottaa tiedonkulkua sekä auttaa työvaiheen toteutuksen ja rungon vaatimusten hahmottamisessa rakennusteknisten laskelmien näkökulmasta, joten visuaalisesta työsuunnittelusta on hyötyä korkean rakentamisen kohteissa. Loppupeleissä korkean rakentamisen työsuunnittelussa on kyse hyvästä yhteistyöstä ja kaikista keinoista, joilla sitä voidaan tukea.

Lähteet

Agrawal, N. 2019. Efficient Use of Outrigger & Belt Truss in Tall Buildings | Seminar | CivilDigital |. <https://civildigital.com/efficient-use-outrigger-belt-truss-tall-buildings/> . Luettu: 18. huhtikuuta 2020.

Ali, M. & Moon, K. 2018. Advances in structural systems for tall buildings: Emerging developments for contemporary urban giants, *Buildings*, 8(8), 1-34.

Allen, R. 2006. The Pennsylvania State University. <https://www.engr.psu.edu/ae/thesis/portfolios/2006/rsa126/building-stats.htm> Luettu: 22.3.2020.

Antonov, A., Molodtsov, M., & Molodtsova, V. 2016. Framing Systems in Residential Construction. *Procedia Engineering* 150, 2138–2145.

Bai, Y., Shi, Y. & Deng, K. 2016. Collapse analysis of high-rise steel moment frames incorporating deterioration effects of column axial force – bending moment interaction. *Engineering Structures* 127, 402–415.

Ballard, G. & Tommelein, I. 2012. Lean management methods for complex projects. *Engineering Project Organization Journal* 2(1–2), 85–96.

Ballard, G. & Tommelein, I. 2016. Current Process Benchmark for the Last Planner System. http://p2sl.berkeley.edu/wp-content/uploads/2016/10/Ballard_Tommelein-2016-Current-Process-Benchmark-for-the-Last-Planner-System.pdf. Luettu: 27.11.2019.

Bazet, I., Camalot, J., Cavaille J., Dubois D., Esquirol P., Fargier H., Galvagnon V., Lopez P., Merce C., Prade H., Terssac G. & Thierry C. 2000, Planning by repairing and cooperation in multi-project management. *IFAC Proceedings*. Grenoble, 633–639.

Bhatt, R. 2020. Design Workflow on VisiLean - VisiLean, VisiLean. <https://visilean.com/2020/04/14/design-workflow-on-visilean/>. Luettu: 18. 4.2020.

Boafo, F., Kim, J. & Kim, J. 2016. Performance of modular prefabricated architecture: Case study-based review and future pathways. *Sustainability*. 8(6), 1–16.

Brodetskaia, I., Sacks, R. & Shapira, A. 2011. A workflow model for systems and interior finishing works in building construction. *Construction Management and Economics* 29(12), 1209–1227.

Charleson, A. 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. https://www.academia.edu/36573017/Seismic_Design_for_Architects_-_Outwitting_The_Quake. Luettu: 29.3.2020.

Churazova, A. 2020. Pedestrian Wind Comfort: CFD Wind Analysis Validation, Simscale. <https://www.simscale.com/blog/2018/05/pedestrian-wind-comfort->

validation/. Luettu: 21. 4.2020.

Clipart. 2020a. Burj Khalifa PinClipart.
https://www.pclipart.com/downpngs/iTRiwJJ_burj-khalifa-burj-al-arab-drawing-tower-skyscraper/. luettu: 18.4.2020.

Clipart. 2020b. Eiffel Tower Silhouette.
https://www.pclipart.com/downpngs/hwhmw_eiffel-tower-silhouette-eiffel-tower-silhouette-png-clipart/. Luettu: 18.4.2020.

Craighead, G. 2009. High-Rise Security and Fire Life Safety - Geoff Craighead - Google-kirjat. 3th p. Elsevier Ltd.
[https://books.google.fi/books?id=4BWYBELDQlwC&pg=PA1&dq=high+rise+building+definition&hl=fi&sa=X&ved=0ahUKEwiAobq7uJfoAhUNzMQBHVIrCKMQ6AEIKDAA#v=onepage&q=high rise building definition&f=false](https://books.google.fi/books?id=4BWYBELDQlwC&pg=PA1&dq=high+rise+building+definition&hl=fi&sa=X&ved=0ahUKEwiAobq7uJfoAhUNzMQBHVIrCKMQ6AEIKDAA#v=onepage&q=high%20rise%20building%20definition&f=false). Luettu: 13. maaliskuuta 2020.

Dave, B., Boddy, S. & Koskela, L. 2011. Visilean: Designing a production management system with lean and BIM. 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 477–487.

Dave, B., Boddy, S. & Koskela, L. 2013. Challenges and opportunities in implementing lean and BIM on an infrastructure project. 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 66-69.

Erberik, M. & Elnashai, A. 2004. Fargility analysis of flat-slab structures. Engineering Structures 26, 937–948.

Estekanchi, H., Harati, M. & Mashayekhi, M. 2018. An investigation on the interaction of moment-resisting frames and shear walls in RC dual systems using endurance time method. The Structural Design of Tall and Special Buildings 27(12), s. e1489.

Francis, B. & Corbett, G. 2010. Brannigan's Building Construction for the Fire Service - Francis Brannigan, Glenn Corbett - Google-kirjat. 4th p. Toimittanut J. Kling. Mississauga: Jones & Bartlett Publishers.
[https://books.google.fi/books?id=iiBeqD7R6FkC&pg=PA264&dq=high+rise+building+definition&hl=fi&sa=X&ved=0ahUKEwiAobq7uJfoAhUNzMQBHVIrCKMQ6AEIMzAB#v=onepage&q=high rise building definition&f=false](https://books.google.fi/books?id=iiBeqD7R6FkC&pg=PA264&dq=high+rise+building+definition&hl=fi&sa=X&ved=0ahUKEwiAobq7uJfoAhUNzMQBHVIrCKMQ6AEIMzAB#v=onepage&q=high%20rise%20building%20definition&f=false). Luettu: 13.3.2020.

Günel, M. & Ilgin, H. 2014- Tall Buildings: Structural Systems and Aerodynamic Form - Mehmet Halis Günel, Hüseyin Emre Ilgin - Google-kirjat. Toimittanut M. H. Günel ja H. E. Ilgin. Newyork: Ruotledge.
[https://books.google.fi/books?id=m-bpAwAAQBAJ&pg=PA5&dq=high+rise+building+definition&hl=fi&sa=X&ved=0ahUKEwiAobq7uJfoAhUNzMQBHVIrCKMQ6AEIcTAH#v=onepage&q=high rise building definition&f=false](https://books.google.fi/books?id=m-bpAwAAQBAJ&pg=PA5&dq=high+rise+building+definition&hl=fi&sa=X&ved=0ahUKEwiAobq7uJfoAhUNzMQBHVIrCKMQ6AEIcTAH#v=onepage&q=high%20rise%20building%20definition&f=false). Luettu: 13.3.2020.

Gurevich, U. & Sacks, R. 2014. Examination of the effects of a KanBIM production control system on subcontractors' task selections in interior works.

Automation in Construction 37, 81–87.

Hamzeh, F., Ballard, G. & Tommelein, I. 2008. Improving construction work flow - the connective role of look-ahead planning. 16th Annual conference of the International Group for Lean Construction, s. 12.

Heigermoser, D., García De Soto, B., Abbot E. & Chua D. 2019. BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management. Automation in Construction 104, 246-254.

Helsingin kaupunki (2018) Korkean rakentamisen rakentamistapaohje 2018. https://www.hel.fi/static/rakvv/ohjeet/KORKEAN_RAKENTAMISEN_RAKENTAMISTAPAOHJE_OHJEKORTIT.pdf. Luettu: 2.2.2020.

Hietanen, H., Stadius A., Keränen O., Huvinen M., Mäkelä S., Palola A., Khulman A. & Hakonen R. 2013. Espoon korkean rakentamisen periaatteet 2013. <https://www.espoo.fi/download/noname/%7B55A889EE-E8F1-40F3-ABD9-D0AAA05E99ED%7D/35450>. Luettu 2.2.2020.

Holmgård, N. 2016. Lateral Load Resistance of Rigid Frame Structural System in Tall Buildings. Aalto University. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/23993/master_Holmgård_Nicklas_2016.pdf?sequence=1. Luettu: 22.3.2020.

Jongeling, R. 2006. A Process Model for Work-Flow Management in Construction. Luleå University of Technology. www.ltu.se/shb. Luettu: 27.11.2019.

Kankainen, J. ja Junnonen, J.-M. (1999) Tehtäväsuunnittelu ja -valvonta rakentamisessa. Toimittanut R. Keskusliitto. Helsinki : Rakennustieto.

Karimimoshaver, M. & Winkemann, P. 2018. A framework for assessing tall buildings' impact on the city skyline: Aesthetic, visibility, and meaning dimensions. Environmental Impact Assessment Review 73(July), 164–176.

Kim, H., Lee, D. & Kyeong K. 2005. Efficient three-dimensional seismic analysis of a high-rise building structure with shear walls. Engineering Structures 27, 963–976.

Kim, S., Kim M., Choi, J., Kim, H., Kim, D & Lee, Y. 2013. A study of structural material quantities of high-rise residential buildings. Proceedings of the 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. Hokkaido.

Koskela, L. 1992. Cifecenter for integrated facility engineering application of new production philosophy to construction. <http://www.leanconstruction.org/media/docs/Koskela-TR72.pdf>. Luettu: 27.11.2019.

Koskela, L. 2000. An exploration towards a production theory and its application to construction. <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>. Luettu: 27.3.2019.

Koskela, L., Ballard G., Honwell G. & Tommelein I. 2002 The foundations of lean construction, *Desing and Construction: Buildin in Value*, 211-226.

Koskela, L. ja Koskenvesa, A. 2003 Last Planner-tuotannonohjaus rakennustyömaalla. Espoo. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>. Luettu: 27.11. 2019.

Koskenvesa, A. 2012. Tuotannosuunnittelun käytännöt. Rakentajan kalenteri. Toimittanut R. ja insinöörit A. R. ry ja R. R. Sr. Rakennustieto Oy, 192-197.

Koskenvesa, A. ym. 2015 Laadukasta rakentamista työmaan hyviä käytäntöjä. Helsinki.

Lean Consruction 2020. Lean construction defined. <https://www.leanconstruction.org/wp-content/uploads/2019/06/LeanConstructionDefined.pdf>. Luettu: 21.4.2020.

Lohilahti, O. 2017. Rakennusalalla työn tuottavuus ei ole kasvanut 40 vuodessa - onko allianssista tai leanista apua? *Rakennuslehti*. <https://www.rakennuslehti.fi/2017/09/rakennusalalla-tyon-tuottavuus-ei-ole-kasvanut-40-vuodessa-onko-allianssista-tai-leanista-apua/>. Luettu: 19.4. 2020.

Maddalena, S. 2004. Off-site prefabrication - the advantages of precast cladding construction. *Concrete*, 6–8.

Mäki, T. & Korpela, J. 2013. Last Planner tietomallinnetun hankkeen suunnittelunohjauksessa. *Rakennusteollisuuden säätiö. Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry*, 204-208.

Merikallio, L. 2015. Last Planner -menetelmä tuotannonohjaukseen – LCI Finland, Lean Construction Institute. <http://lci.fi/blog/menetelmakortti/last-planner-systeemi/>. Luettu: 18. 4.2020.

Mölsä, S. 2019. Suomen parhailla työmailla lean on kirosana - silti se saa ihmiset hymyilemään ja työt sujumaan. *Rakennuslehti*. <https://www.rakennuslehti.fi/2019/10/suomen-parhailla-tyomailla-lean-on-kirosana-silti-se-saa-ihmiset-hymyilemaan-ja-tyot-sujumaan/>. Luettu: 18.4.2020.

Moon, K. 2011. Sustainable Design of Braced Tube Structures: The Role of Geometric Configuration *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*.

Nerberg, S. 2019. Weathering heights. *Business Magazine*, 40-45.

Oulun kaupunki 2014. Oulun kaupunki korkean rakentamisen selvitys. <https://www.ouka.fi/documents/12610409/18292571/Korkea-rakentaminen-Oulussa-selvitys-10062014-KH.pdf/dfa8f5ae-e958-4901-8102-9e88c3342eba>. Luettu: 13.3.2020.

Robison, R. 1988. High Strength High Rise. *Civil engineering New York, N.Y.* 58(3), 62–65.

Russell, J., Sagaseta J., Cormie D. & Jones A. 2019. Historical review of prescriptive design rules for robustness after the collapse of Ronan Point. *Structures* 20(April), 365–373.

Sacks, R. Barak R., Belacino B., Gurevich U. & Pikas E. 2013. KanBIM Workflow Management System: Prototype implementation and field testing. *Lean Construction Journal*, ss. 19–35.

Sacks, R. Seppänen O., Priven V. & Savosnick J. 2017. Construction flow index: a metric of production flow quality in construction. *Construction Management and Economics*. Routledge 35(1–2), 45–63.

Sacks, R., Radosavljevic, M. & Barak, R. 2010. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in Construction* 19(5), 641–655.

Salminen, J. 2020. Projektisysteemistä uusi käsite hankkeen valmisteluun – LCI Finland, Lean Construction Insitute - FI. http://lci.fi/blog/salminen_projektisysteemi/. Luettu: 18.4.2020.

Samanta, A. & Huang, Y. 2017. Ground-motion scaling for seismic performance assessment of high-rise moment-resisting frame building. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 94(September), 125–135.

Son, H., Park J., Kim H., Lee Y. & Kim D. 2017. Generalized finite element analysis of high-rise wall-frame structural systems. *Engineering Computations* 34(1), 189–210.

Soutsos, M., Bungey J., Long A. & Henderson G. 2000. In-situ strength assessment of concrete - The European concrete frame building project. <http://www.germann.org/TestSystems/LOK-TEST/cardington.pdf>. Luettu: 8.4.2020.

Tamošaitiene, J. & Gaudutis, E. 2013. Complex assessment of structural systems used for high-rise buildings. *Journal of Civil Engineering and Management* 19(2), 305–317.

Taxonomy - Dual frame-wall system [LDUAL] 2020. <https://taxonomy.openquake.org/terms/dual-frame-wall-system-ldual>. Luettu: 28.3.2020.

Tekla (2019) Tekla BIM Awards. <https://www.tekla.com/fi/bim-awards-2012/bimmodel9-fi.html>. Luettu: 21.4.2020.

Tiusainen, P. 2020. Systeemiajattelu tukee lean-rakentamista – LCI Finland, Lean Construction Insitute - FI. <http://lci.fi/blog/systeemiajattelu-tukee-lean-rakentamista/>. Luettu: 18.4.2020.

Vainio, T. 2016. Asuntotuotantotarve 2015-2040. Asuntotuotantotarve. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Espoo.

Viertola, J. 2019. Korkean rakentamisen logistiikkamalli. Tampereen yliopisto. Rakennustuotanto ja talous. Diplomityö.

VisiLean. 2020. VisiLean - Lean-BIM Integrated Digital Construction Management Solution. <https://visilean.com/>. Luettu: 18.4.2020.

Volta Green. 2017. High Rise Buildings Evolution and Innovation. Voice of Volta Green. <http://voltagreens.com/voice-of-volta-green/high-rise-buildings-evolution-and-innovation/>. Luettu: 18.4.2020.

Weismantle, P. & Leung, L. 2007. Burj Dubai stack effect - Passive Stack Effect Mitigation Measures in the Design of World's Tallest Buildin. CTBUH Journal (Fall), 8-13.

What is a Frame with Shear Wall Structural System? 2020. <https://gharpedia.com/blog/what-is-a-frame-with-shear-wall-structural-system/>. Luettu: 8.4.2020.

Wright, G. 2000. Lean construction boosts productivity. Building Design & Construction 41(12), 29–32.

Xia, G., Shu, W. & Stanciulescu, I. 2019. Efficient analysis of shear wall-frame structural systems. Engineering Computations 36(7), 2084–2110.

Xing, L. & Aguaguiña, M. 2018. Optimal vertical configuration of combined energy dissipation outriggers. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 1-17.

Zhang, S., Teizer J., Lee J., Eastman C. & Venugopal M. 2013. Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules. Automation in Construction 29, 183–195.

Zhang, Z., Fan F., Wang K. & Franciosa B. 2016. Analysis on Seismic Performance of Centrally Braced Steel Frame. Journal of Mechanical Engineering Research and Developments 39(2), 308–314.

Liite 1

Kyselytutkimuksen kysymykset

Korkeanrakentamisen rungon työsuunnittelu

1. Lähtötiedot korkeasta rakentamisesta

Helsingin kaupungin korkean rakentamisen ohjekorteissa korkeaksi rakennukseksi määritellään rakennus, jossa on 16 kerrosta tai enemmän.

* Oletko ollut mukana korkean rakentamisen kohteissa?

Kyllä

En

* Poikkeako korkean rakentamisen kohteiden työsuunnittelu mielestäsi matalimmista rakennuksista?

Kyllä

Ei

Jos vastasit kyllä, miten korkean rakentamisen kohteiden työsuunnittelu mielestäsi eroaa matalammista rakennuksista?

Korkeanrakentamisen rungon työsuunnittelu

2. Työsuunnittelun ja tehtäväsuunnitelman ero

Mäki (2010) on määritellyt, että tehtäväsuunnitelmassa työmaa määrittää työvaiheen aikataulu-
kustannustavoitteet sekä tarvittavat resurssit omiin käyttötarpeisiinsa. Työsuunnittelussa ei tarkastella
vain lyhyen tähtäimen suunnittelua vaan pitkän tähtäimen suunnittelua, jolla varmistetaan työvaiheen
toteutus.

* Onko nykyisissä tehtäväsuunnitelmissa otettu riittävästi huomioon korkean rakentamisen
erityispiirteitä?

Kyllä

Ei

Jos vastasit ei, mitä piirteitä pitäisi mielestäsi ottaa huomioon?

* Mitä asioita huomioisit korkean rakennuksen rungon työsuunnittelussa? Jos tehtävän suunnitelma on mielestäsi riittävä työsuunnitelmaksi, mitä asioita huomoit siinä? (voit valita useampia vaihtoehtoja)

- Aikataulu
- Kustannukset
- Laatu
- Työturvallisuus
- Resurssit
- Suunnittelutilanne
- Suunnitelmien toteutuskelpoisuus
- Rungon työjärjestys
- Toteuttaja
- Tekijöiden kokemus
- Riskit
- Optimointi
- Muuttuvat tekijät
- Suunnittelijoiden kokemus
- Tekijöiden kokemus
- Suunnittelussa ratkaisujen toteutettavuus
- Muottikierto
- Lohkojako
- Vaadittavat pätevyudet
- Asennusjärjestys
- Mahdolliset "pullonkaulat"
- Valmistautuminen mahdollisten riskien toteutumiseen
- Tuulipäivät
- Nosturikapasiteetti
- Logistiikka
- Muu (täsmennä)

* Missä vaiheessa aloittaisit työsuunnittelun?

- | | |
|---|--|
| <input type="radio"/> Tarveselvityksessä | <input type="radio"/> Rakennuslupasuunnittelussa |
| <input type="radio"/> Hankesuunnittelussa | <input type="radio"/> Toteutussuunnittelussa |
| <input type="radio"/> Luonnossuunnittelussa | <input type="radio"/> Viime hetkellä |

Miksi aloittaisit suunnittelun valitsemassasi vaiheessa?

Korkeanrakentamisen rungon työsuunnittelu

3. Visuaalinen työsuunnittelu ja Lean-työkalut

Lean-työkaluilla tarkoitetaan Toyotan tuotantofilosofiasta lähtöisin olevaa ajattelutapaa, jolla pyritään minimoimaan tuotannosta syntynyt hukka. Hukaksi käsitetään esimerkiksi ylipitkät läpimenoajat, ylimääräiset toimituserät tai ylimääräiset resurssit. Tunnetuimmat Suomen rakennustyömailla käytössä olevat lean-työkalut ovat Last-planner ja Just-In-Time - toimitukset.

* Oletko käyttänyt työssäsi lean-työkaluja

- Kyllä
- Ei

Jos vastasit kyllä, mitä työkaluja olet käyttänyt, ja miten ne ovat mielestäsi toimineet?

* Sacks & all (2011) ovat tutkineet lean-työkalun kanbanin ja Bim-mallin yhdistämistä. Kanbanilla tarkoitetaan tuotannonohjauskorttia, joka kertoo mitä pitää tuottaa, milloin tuotanto pitää suorittaa ja kuinka paljon tuotantoa pitää tehdä tässä ajassa. Näetkö hyötyä visuaalisessa työsuunnittelussa?

Kyllä

Ei

Jos vastasit edelliseen kysymykseen kyllä, miten visuaalisuus mielestäsi hyödyntää työvaiheen suunnittelua?

* Kanbim tarkoittaa tuotannonohjauskorttien tekemistä tietomallilla, voisiko menetelmä mielestäsi toimia suomalaisessa rakennustuotannossa?

Kyllä

Ei

Jos vastasit ei, täsmentäisitkö mikä menetelmän toimimisen estää?

Korkeanrakentamisen rungon työsuunnittelu

4. Korkeanrakentamisen työsuunnittelun tarkastuslista

Korkean rakentamisen työsuunnittelu ei voi olla yksittäisen runkomestarin taidon näyte vaan siinä on oltava mukana koko toimitusketju. Korkean rakentamisen toiston takia rungon suunnitelmat on optimoitava tuotannon kannalta. Toisaalta niissä on huomioitava loppukäyttäjän tarpeet. Rungon työsuunnittelun paras tapaus olisi, jos rakennus pystyttäisiin rakentamaan visuaalisesti etukäteen ja tässä visuaalisessa kokeilussa miettiä koko toimintaketjun avustuksella, miten tuotanto pystytään optimoimaan.

* Mitä asioita lisäisit rungon työsuunnittelun muistilistallesi?