

Pauli Saastamoinen

Lean-ajattelu ja sen soveltaminen elementtien toimitusketjun tehostamisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

23.4.2014

Tekijä(t) Otsikko	Pauli Saastamoinen Lean-ajattelu ja sen soveltaminen elementtien toimitusketjun tehostamisessa
Sivumäärä Aika	42 sivua + 1 liite 28.4.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennustuotantotekniikka
Ohjaaja(t)	Alexander Stefanov, Logistiikkatyönjohtaja Juha Virtanen, Lehtori
<p>Runkotyövaihe on merkittävä tahdistava työvaihe rakentamisprosessissa, sillä työvaiheet limitetään yleensä niin, että runko rakennetaan lähes valmiiksi, ennen kuin seuraavia työvaiheita voidaan aloittaa. Yhä tiukempien aikataulujen vuoksi runkovaiheen tehokkuuden parantaminen on yrityksen kilpailukyvyn kannalta järkevää. Tehokkuudella tarkoitetaan pääasiassa tuotannon läpimenoaikojen lyhentämistä ja kustannusten madaltamista.</p> <p>Tämä insinöörityö tehtiin NCC Rakennus Oy:n asuntorakentamisyksikön toimeksiannosta. Työssä lähestyttiin runkovaiheen tehokkuuden parantamista Lean-ajattelun kautta, jonka lähtökohdana on pyrkimys poistaa prosessista kaikki turha, eli lisäarvoa tuottamaton työ. Työ rajattiin käsittelemään betonielementtirakenteista runkoa ja tarkasteltavaksi asiaksi otettiin betonielementtien toimitusketju. Lähempään tarkasteluun valittiin elementtien välivarastointi työmaalla, joka on Lean-periaatteiden mukaisesti jo itsessään turha työvaihe. Välivarastointi aiheuttaa ylimääräistä työtä, vie paljon aikaa ja nostaa runkovaiheen kustannuksia.</p> <p>Työssä laskettiin välivarastoinnin aika- ja kustannusvaikutuksia ja pohdittiin niiden osuutta koko toimitusketjussa ja mietittiin välivarastoinnin optimoinnin kannalta oleellisia asioita ja niiden toteuttamiskelpoisuutta. Välivarastoinnin optimointi vaatii myös hyvin organisoituja tuotetoimituksia, joiden perustana on katkeamaton toimitusketju. Näin ollen toiseksi pääkohdaksi otettiin toimitusketjussa tapahtuvien häiriöiden ja häiriöketjujen hallinta, jotka ovat koko toimitusketjun tehokkuuden kannalta oleellisessa osassa.</p> <p>Työn tuloksena syntyi raportti, jonka avulla runkovaiheen häiriöiden tunnistaminen on helpompaa ja häiriöihin voidaan varautua paremmin. Tämän lisäksi työ antaa lukuja välivarastoinnin optimoinnin kustannusvaikutuksiin ja näin antaa näkökulmia elementtien välivarastoinnin kannattavuuteen ja helpottaa toimitusketjun suunnittelua.</p>	
Avainsanat	Logistinen prosessi, toimitusketju, elementtiasennus

Author(s) Title	Pauli Saastamoinen Lean thinking and how to put it into practice in increasing the efficiency of the supply chain in prefabricated unit construction
Number of Pages Date	42 pages + 1 appendix 28 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Construction and Site Management
Instructor(s)	Alexander Stefanov, Logistics supervisor Juha Virtanen, Lecturer
<p>The building of the frame has a major role in the scheduling of a construction process because the work steps are designed to overlap, and the frame must be almost complete before the next steps can begin. Due to constant demands to tighten schedules, improving the efficiency of the frame building phase is important. Efficiency here refers to reducing production turnaround times and lowering costs.</p> <p>This study was commissioned by NCC’s residential construction unit. The study focuses on analyzing the phase of building the frame through lean thinking. Lean thinking aims at eliminating all unnecessary work, which does not add value to the process. The scope was limited to building frames made of prefabricated concrete elements, and focus is on the supply chain of prefabricated concrete elements. The analysis concentrates on the intermediate storing of elements on the construction site because it is an unnecessary work phase according to the principles of lean thinking. Intermediate storage causes extra work, takes a lot of time and increases costs.</p> <p>Intermediate storage time and its cost implications were calculated and their role in the whole supply chain was examined. The optimization of intermediate storage requires a well-organized supply of the products and an uninterrupted supply chain. Therefore another focus was analyzing disturbances in the supply chain, which influence the efficiency of the supply chain.</p> <p>An outcome of the study is a report which works as a tool to identify potential problems and to minimize their impact at the stage of frame building. In addition, the study provides calculations that help to understand the costs effects of optimizing intermediate storage, and thus help to plan the supply chain.</p>	
Keywords	Logistics process, supply chain, element installation

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta ja tavoitteet	1
1.2	Työn rajaus ja tutkimusmenetelmät	2
2	Johdatus logistiikkaan	3
2.1	Logistiikka käsitteenä	3
2.2	Logistinen prosessi, arvoketju ja tilaus-toimitusketju	4
2.3	Logistiikan virrat	5
2.4	Toimitusketjun hallinta	6
2.5	Prosessin kehittäminen	7
2.5.1	Lean-ajattelu	7
2.5.2	Hukka ja sen osuus toimitusketjussa	9
2.5.3	JIT & JOT	10
2.5.4	Lean-ajattelun haasteet rakennusteollisuudessa	10
3	Elementtitoimitusten ketju	11
3.1	Tarjous-, sopimus- ja suunnitteluvaihe	12
3.2	Toteutus- ja kuljetusvaihe	14
3.3	Vastaanotto ja varastointi	15
3.4	Asennus	16
4	Toimitusketjun ongelmat ja häiriöt	17
4.1	Elementtien suunnittelu ja ohjaus	17
4.2	Elementtien valmistus ja toimitus	18
4.3	Asennusongelmat ja laatuvaikutukset	19
4.4	Informaatiovirran haasteet	20
4.5	Hukka elementtien toimitusketjussa	22
5	Toimitusketjun kustannukset	23
5.1	Elementtien tuotanto- ja kuljetuskustannukset	24
5.2	Elementtien varastointi- ja asennuskustannukset	25
5.3	Hukan aiheuttamat kustannusvaikutukset	26

5.3.1	Välivarastoinnin kustannukset	26
5.3.2	Elementtikuorman seisottamisesta aiheutuvat kustannukset	27
5.3.3	Asennusnopeuden vaikutus kustannuksiin	28
5.3.4	Yhteisvaikutukset	30
6	Elementtien toimitusketjun hallinta ja kehittäminen	30
6.1	Lean-ajattelun haasteet ja mahdollisuudet	31
6.2	Häiriöketjun hallinta	31
6.2.1	Häiriön analysointi	32
6.2.2	Häiriöketjun ennaltaehkäisy	33
6.2.3	Last Planner -menetelmä	34
6.3	Välivarastoinnin optimointi ja elementtitoimitusten hallinta	34
6.4	Suunnittelu hankintavaiheessa	35
6.5	Toteutus rakentamisvaiheessa	36
7	Yhteenveto ja johtopäätökset	38
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liite 1. Välivarastoinnin kustannusten laskenta-työkalu	

Lean-ajattelun lyhenteet ja käsitteet

Arvoketju	Tuotteen tai palvelun vaiheittaista jalostumista valmiiksi tuotteeksi niin, että jokainen vaihe nostaa lopputuotteen arvoa.
Arvovirtaus	Tarkoittaa arvoketjun virtausta kohti asiakasta. Tuotteen arvo kasvaa koko virtauksen ajan.
Hukka	Kaikki yksittäiset toiminnot arvoketjussa, jotka eivät tuota tuotteelle lisäarvoa, ovat hukkaa.
Häiriö	Häiriöllä tarkoitetaan tapahtumaa prosessissa, joka aiheuttaa tehtävän tuotannon poikkeamista suunnitellusta toteutuksesta.
Imu ja imuohjaus	Imu on asiakkaan tai prosessin seuraavan vaiheen tarve. Imuohjauksella tarkoitetaan tuotantotapaa, joka perustuu vain imuun, eli prosessin seuraava vaihe käynnistyy vain tarpeen perusteella.
JIT & JOT	Just In Time. Suomessa käytetään termiä JOT, eli Juuri Oikeaan Tarpeeseen. Tarkoittaa tuotannonohjausstrategiaa, jossa oikea määrä, oikeaa tuotetta toimitetaan asiakkaalle oikeaan aikaan, oikeaan paikkaan ja oikean laatuksena.
Lean-ajattelu	Tuotannon johtamisfilosofia, joka pyrkii poistamaan hukkaa kaikista tuotantoon liittyvistä toiminnoista.
Logistiikka	Osapuolten välisen materiaali-, raha- ja informaatiovirtojen suunnittelua, ohjaamista ja toteuttamista.
SCM	Supply Chain Management. Suomeksi toimitusketjun hallinta, jolla tarkoitetaan yritysverkoston materiaali-, raha- ja informaatiovirtojen kokonaisvaltaista suunnittelua, ohjausta ja johtamista. Keskeisessä osassa on myös toimitusketjun rakenteen muodostaminen ja sen kehittäminen.

TPS Toyota Production System. Toyotan kehittämä autojen valmistustoiminta, josta katsotaan Lean-ajattelun saaneen alkunsa.

Muut lyhenteet ja käsitteet

Last Planner	Tuotannonohjausmenetelmä, jonka tavoitteena on varmistaa edellytykset seuraavalle työvaiheelle. Perusideana on ottaa kaikki työvaiheen osapuolet mukaan suunnitteluun, jolloin heidät voidaan sitouttaa noudattamaan suunnitelmaan.
Make-do -ilmiö	Last Planner –menetelmän vastakohta, jossa puutteellinen suunnittelu pakottaa työvaiheen etenemisen käytössä olevilla resursseilla ja työvaihe aloitetaan ilman, että aloitusedellytykset on olemassa.
Optimointi	Optimiarvon tai –määrän etsiminen. Yleisesti parhaan mahdollisen vaihtoehdon etsimistä.
Osaoptimointi	Tarkoittaa prosessin tai ketjun yksittäisen vaiheen tai toiminnon optimointia.
Pilotointi	Kokeilu, testijakso tai testaus. Tarkoittaa jonkin asian tai suunnitelman kokeilevaa testausta käytännössä.
Ratu-kortisto	Talonrakennusteollisuus ry:n ja Rakennustieto Oy:n julkaisema tietopankki, joka sisältää tutkimustietoon perustuvat työmenetelmäkuvaukset, menekkitiedot, laadunvarmistuksen menettelyt ja turvallisuusohjeet.
RYHT 2000	Rakennustuotteiden yleiset hankinta- ja toimitusehdot.
Viisi miksi –analyysi	Häiriön analysoimiseen tarkoitettu apuväline, jonka avulla voidaan selvittää häiriöiden todellinen syy.

1 Johdanto

Rakennusalalla yritysten tuottavuus ja kilpailukyky perustuu pääasiassa tuotannon tehokkuuteen ja yritysten on menestyäkseen kannattanutkin keskittyä pääasiassa tuotannon kustannusten madaltamiseen.

Runkotyövaiheen tehokkuuden tärkeyttä kustannuksia pienentävänä tekijänä ei talonrakentamisen tuotantoprosessissa voida liikaa korostaa. Tavanomaisella asuinkerrostalotyömaalla rakentamisvaiheet limitetään yleensä niin, että runko rakennetaan lähes valmiiksi ennen seuraavaan vaiheen aloitusta. Näin ollen se on merkittävän tahdistava vaihe koko prosessissa ja on lisäksi kustannuksiltaan melko suuri. Runkovaiheen häiriöt viivästyttävät koko rakentamisprosessia ja kustannusvaikutukset voivat olla hyvinkin suuret.

Yhä kireämpien aikataulujen vuoksi runkovaiheen tuotantotehokkuus on nostettu pöydälle ja runko yritetään saada pystyyn keinolla millä hyvänsä. Valitettavan usein tämä tapahtuu laadun kustannuksella, jolloin runkotyössä tehtyjä virheitä joudutaan korjaamaan myöhemmissä vaiheissa. Tässä insinööriyössä lähestytään runkovaiheen tuotantoprosessia Lean-ajattelun kautta. Pyritään tunnistamaan toimitusketjun pullonkauloja muodostavat häiriöt ja tätä kautta löytää keinoja ketjun tehostamiseen.

1.1 Tausta ja tavoitteet

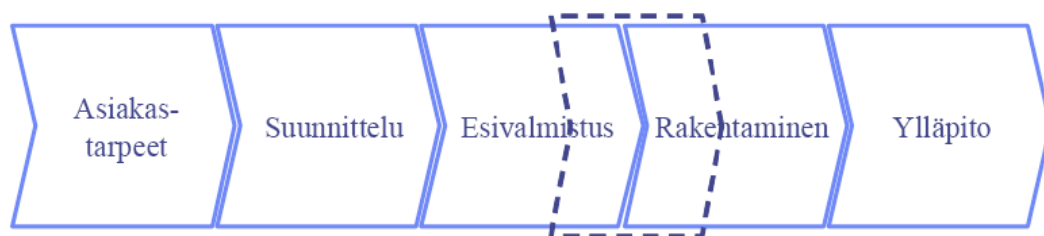
Vaikka suurin osa runkotyövaiheen kustannuksista on sidottu jo elementtien hankintavaiheessa, ennen kuin itse runko alkaa valmistua, voidaan työvaiheen tehokkuutta parantaa vielä työmaalla tapahtuvalla ennakkosuunnittelulla ja toiminnalla. Lähtökohtana tälle insinööriyölle on pyrkimys poistaa runkotyövaiheen prosessista kaikki turha, eli lisäarvoa tuottamaton työ. Merkittävä, ja kustannuksiltaan suuri, asia on elementtien välivarastointi työmaalla. Välivarastointiin kuluva aika tavanomaisella työmaalla liikkuu sadoissa työtunneissa, joka jo itsessään lisää kustannuksia huomattavasti. Lisäkustannuksia syntyy myös nosturin ja elementtipukkien vuokrista. Kustannusnäkökulman lisäksi, varsinkin pääkaupunkiseudun, ahtaat tontit tuovat oman haasteensa välivarastoinnin järjestämiseen.

Työssä perehdytään logistiikasta tuttuun Lean-ajatteluun, esitellään sen tunnusmerkit, tarkoitus ja taustalla olevat periaatteet. Työn tavoitteena on tutkia Lean-ajattelutavan soveltamista elementtien toimitusketjussa ja selvittää sen tuomia hyötyjä niin aikataulun kuin kustannustenkin näkökulmasta. Työssä tarkastellaan lähemmin elementtien välivarastointia ja vaikutusta koko toimitusketjuun. Tuloksena syntyy raportti, joka antaa näkökulmia suunniteltaessa elementtien toimitusketjua ja sen yksittäisiä toimintoja, kuten välivarastoinnin tarpeellisuutta ja sopimusten yksityiskohtia.

Tämä insinööriytyö tehdään NCC Rakennus Oy:n asuntorakentamisyksikön toimeksiantona. NCC Rakennus Oy on NCC-konsernin rakentamistoiminnasta vastaava elin, jonka toimialoja ovat asunto- ja talonrakentaminen. NCC Rakennus Oy:n Tampereella toimiva yksikkö ei erinäisistä syistä ole tottunut varastoimaan elementtejä työmaalla. Pääasialliset syyt ovat ahtaat tontit ja ”näin on vain totuttu tekemään”-ajattelu. Idea työlle lähti liikkeelle Tampereen yksilön toiminnasta ja sen soveltamisesta Pääkaupunkiseudulle. Sillä erotuksella, että tarkoitus oli löytää, toimitusketjun tehokkuutta lisääväle, välivarastoimattomuudelle muitakin syitä, kuin kaksi edellä mainittua.

1.2 Työn rajaus ja tutkimusmenetelmät

Tässä insinööriytyössä käsitellään vain elementtirakenteisen rungon prosessia, jota tarkastellaan urakoitsijan näkökulmasta. Työstä rajataan pois elementtien valmistusprosessi ja tarkastellaan suuren verkoston sijaan elementtitoimittajan ja rakennusyrityksen välistä rajapintaa. Tiedonkulkua koko ketjun aikana käsitellään tarkemmin, mutta esimerkiksi elementtien suunnitteluun liittyvät asiat rajataan työn ulkopuolelle.



Kuvio 1. Työ on rajattu käsittelemään elementtitoimittajan ja rakennusyrityksen välistä toimitusketjun osaa. [7.]

Vaikka Viron EU-jäsenyyden myötä betonielementtien hankinta Suomenlahden toiselta puolen on yleistynyt huomattavasti ja varsinkin suurimmat rakennusliikkeet käyttävät Viron halvempaa hintatasoa hyödykseen, tämä insinööri työ on rajattu käsittelemään vain kotimaan toimitusketjua. Ketjussa tapahtuva kuljetus on lähes poikkeuksetta toimitajan vastuulla, jonka vuoksi tilaaja ei pysty saamaan siitä, mahdollisesti saavutettavissa olevia kustannussäästöjä.

Lähdetietona kustannusvertailuissa on käytetty, työn teon aikana, voimassa olleita kausisopimuksia sekä yksittäisten kohteiden, erikseen solmittuja, sopimuksia.

Pääasiallisena tutkimusmenetelmänä käytetään alan kirjallisuudesta poimittua teoriaselvitystä sekä rakennusalalla toimivien ammattilaisten haastattelututkimusta. Kirjallisuuden avulla avataan logistiikan historiaa ja käsitteistöä, sekä sitä kautta johdatellaan logistiikkaan ja sen merkitykseen rakennustyömaalla. Haastattelututkimuksen tarkoituksena on selvittää rakennustyömaan elementtien toimitusketjun eri vaiheissa havaittuja ongelmia.

2 Johdatus logistiikkaan

2.1 Logistiikka käsitteenä

Sanana logistiikka ulottuu aina muinaisen Kreikan historiaan saakka, josta se on kulkenut lähinnä vuosisatojemme sotien yhteydessä nykypäivään saakka. Muinaisessa Kreikassa logistiikka liitettiin käytännön laskutaitoon, josta se kehittyi päättely- ja ajattelutaitoa tarkoittavaksi sanaksi. Roomalaisella kaudella ja myöhemmin Bysantin imperiumissa armeijan upseereita, jotka olivat vastuussa rahoituksesta ja huoltoasioista, nimitettiin *logistikas*-upseereiksi. 1600-luvun Ranskassa logistiikkaan liitettiin huoltoasioiden lisäksi vielä armeijan joukkojen siirtely. [1.]

Käsitteenä logistiikkaa käytettiin ensimmäisiä kertoja vasta ensimmäisen maailmansodan jälkeen Yhdysvaltain armeijan toimesta, jolloin sillä tarkoitettiin kansan taloudellista ja teollista tukea armeijalle. Yhdysvaltain käyttämän logistiikan merkitys konkretisoitui muun muassa 1990-luvun Persianlahden sodassa, jossa suoritettiin mittava huoltotarvikkeiden jakelu rintamalle ja Irakin sodassa vuonna 2003, jolloin hyökkäys tyrehtyi lähes kokonaan huoltokuljetusten epäonnistuessa. [1.]

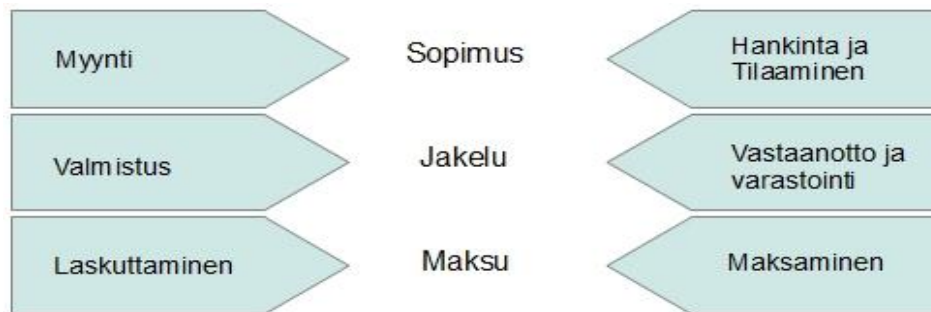
Yritysmaailman käsitteenä logistiikka nykyisessä merkityksessään on suhteellisen nuori, vaikka se on yrityksiensä perustoimintona ollut käytössä pitkäänkin. 1990-luvun talousopin kautta se on levinnyt ympäri maailmaa ja nykyisin sillä tarkoitetaan kaikenlaista materiaali-, raha- ja informaatiovirtojen kokonaisvaltaista hallintaa. Logistiikkaa pidetään nykyaikaisessa, asiakaslähtöisessä yritystoiminnassa, merkittävimpänä yksittäisenä toimintona, jolla voidaan saavuttaa huomattavaa kilpailuetua ja säästöjä. [1.]

2.2 Logistinen prosessi, arvoketju ja tilaus-toimitusketju

Logistiikka ei ole pelkkä yksittäinen toiminto, vaan se on sarja erillisiä toimintoja ja tehtäviä, joilla on jokaisella oma tarkoituksensa, ja jotka yhdessä muodostavat palvelun tai tavaran yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Tämän vuoksi tapahtumaa voidaan kutsua logistiseksi prosessiksi. Logistisessa prosessissa erinäiset materiaalit ja toiminnot muuttuvat valmiiksi tuotteiksi ja hyödykkeiksi. Tämä vaiheittain tapahtuva prosessi voidaan ajatella myös yritysten muodostamana ketjuna, joka alkaa tuotteeseen tarvittavasta raaka-aineesta ja päättyy asiakkaaseen. [3.]

Amerikkalainen Michel Porter esitti mallin, jossa jokainen ketjun vaihe lisää jollain tavalla hyödykkeen arvoa aiheuttaen samalla yritykselle kustannuksia. Porterin mukaan yritys muodostuu arvotoiminnoista, joista aiheutuvat kustannukset tuottavat asiakkaan hyödykkeen arvon. Porterin mukaan yrityksen arvoketju muodostuu kahden toisiaan tukevan luokan arvotoiminnoista, jotka ovat koko yrityksen kilpailuedun perusta. Hän mainitsee toiminnoissaan tulo- ja lähtölogistiikan, jotka liittyvät oleellisesti tavaroiden kuljetukseen, vastaanottoon ja varastointiin. Yrityksen kilpailuetu muodostuu siitä, kun arvoketjun toiminnot suoritetaan siten, että niiden aiheuttamat kustannukset ovat pienemmät kuin tuotettu lisäarvo. [3.]

Logistisen prosessin käynnistymisessä oleellisin asia on asiakkaan tilaus, eli kysyntä, joten yhtä hyvin logistisesta prosessista, tai arvoketjusta, voidaan käyttää nimitystä tilaus-toimitusketju [3].

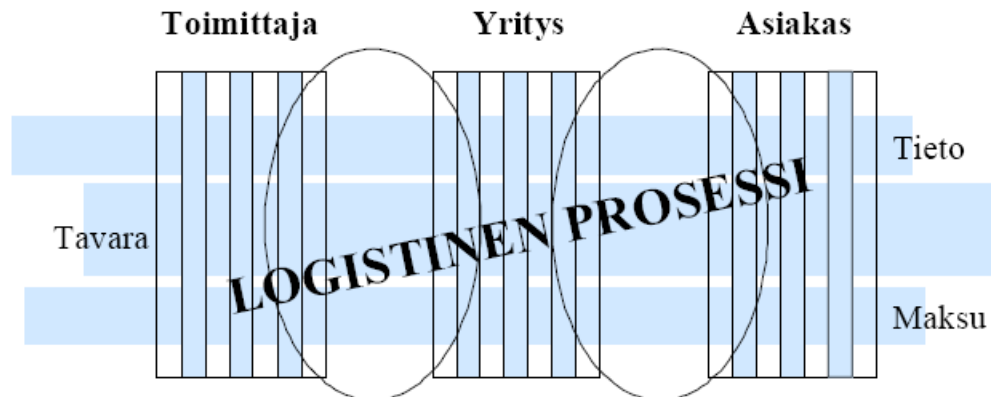


Kuvio 2. Kahden yrityksen välinen tilaus -toimitusprosessi. [3.]

2.3 Logistiikan virrat

Nykyinen pääomatalous on kehittynyt aikana, jolloin ihminen tuotti itse kaiken tarvitsemansa. Ihmiset muodostivat yhteisöjä, joissa jokaisen jäsenen resurssit eivät välttämättä riittäneet omiin tarpeisiinsa. Samalla osa jäsenistä pystyi tuottamaan yli oman tarpeensa, mutta heillä saattoi olla puutteita muista hyödykkeistä. Tämä synnytti vaihdantatalouden, jossa hyödykkeitä vaihdettiin yksilöiden, perheiden ja yhteisöjen välillä. Eteen tuli kuitenkin tilanteita, joissa tarpeet eivät kohdanneet toisiaan ja tarvittiin jokin yhteinen vaihdantaväline, jonka arvo olisi molemmille sama. [1.]

Jo vaihdantatalouden olemassa olon aikana tunnettiin siis kaksi perusvirtaa, jotka toimivat nykyisen logistiikan pohjana. Informaatiovirta ja materiaalivirta, joista ensimmäinen oli aluksi suullista omien tarpeiden kertomista ja jälkimmäinen siis näiden tarpeiden tyydyttymistä tekemällä vaihtokauppaan. Pääomatalouden kehittyttyä mukaan tuli rahavirta, jota käytettiin hyödykkeen maksamisessa. [1.]



Kuvio 3. Logistinen prosessi ja sen kolme oleellisinta virtaa. [3.]

Nykyään talous on levinnyt yhteisöistä maailmanlaajuiseksi. Informaatiovirta kulkee tietokoneiden ja matkaviestimien kautta eikä se ole enää yksisuuntaista. Tuottaja ottaa yhteyttä asiakkaisiin selvittääkseen kysyntää tuotteilleen. Informaatiovirtaa pidetään logistiikan virroista tärkeimpänä, koska se toimii ohjaajana koko ketjussa aina materiaalitoimittajilta loppukäyttäjälle saakka. Materiaalivirta ei aina tarkoita aineellista hyödykettä, vaikka sitä usein kutsutaankin fyysiseksi materiaalivirraksi. Sillä tarkoitetaan tilauksen toteutusta, joka voi aineellisen hyödykkeen lisäksi olla yhtä hyvin esimerkiksi jokin palvelu. Rahavirralla tarkoitetaan tuottajan saamaa myyntituloa, jonka lähteenä on asiakas. Vuosituhannen vaihteessa, kestävän kehityksen periaatteen mukaan tulemissen myötä, saatiin vielä asiakkaalta tuottajalle suuntautuva kierrätysvirta, jonka tarkoitus on säästää raaka-aineita ja niiden jalostuksessa tarvittavaa energiaa. [1.]

Logistiikan virrat eivät kuitenkaan ole yllä mainitun tavan mukaisesti aivan niin yksinkertaisia. Nykyisin täysin suoraan tuottajalta asiakkaalle virtaavaa materiaalia ei ole kuin palvelualoilla ja torikaupassa. Tuotteet ja palvelut koostuvat monista erilaisista materiaaleista ja toiminnoista, joista jokaisella on oma lähteensä. [1.]

2.4 Toimitusketjun hallinta

Logistiikkaa voidaan ajatella monien yritysten ja näiden välisten toimintojen kokonaisuutena. Toimitusketjun hallinnalla (*Supply Chain Management*, SCM) tarkoitetaan

tämän kokonaisuuden muodostaman yritysverkoston materiaalivirran ja siihen liittyvien tieto- ja rahavirtojen kokonaisvaltaista suunnittelua, ohjausta ja johtamista. [3.]

Termille löytyy lukuisia määritelmiä, mutta yhteistä niille kaikille on organisaatioiden välisen yhteistyön korostaminen. Toimitusketjussa tarvitaan jokaisen organisaation työpanosta. Sujuvan yhteistyön puute on johtanut ketjun peräkkäisten toimintojen päällekkäisyyteen, esimerkiksi saman tiedon tallentamista monissa ketjun vaiheissa, jolloin syntyy turhaa työtä ja kokonaiskustannukset kasvavat. Päällekkäisyys johtuu osittain yhteisen näkemyksen puutteesta, mutta usein siihen vaikuttaa myös jokaisen organisaation omat intressit eikä toimitusketjua osata katsoa yhtenä kokonaisuutena. Toimitusketjun hallinnan tavoitteena on, että jokainen ketjun lenkki tekee oman työnsä hyvin, mutta osaisivat samalla toimia kokonaisuutta hyödyttävällä tavalla. [3.]

Toimitusketjussa materiaalivirta kulkee pääosin vain eri yritysten kautta toimittajalta asiakkaalle. SCM-ajattelussa tärkeää on ymmärtää informaatiovirran kulkeminen jokaisen ketjussa olevan yrityksen välillä molempiin suuntiin. Putkimaisen prosessin sijaan voidaan ajatella ketjun olevan ikään kuin pyöreä pöytä, jossa kahden osapuolen välinen informaatio muuttuu monen yrityksen väliseksi vuorovaikutukseksi. [3.]

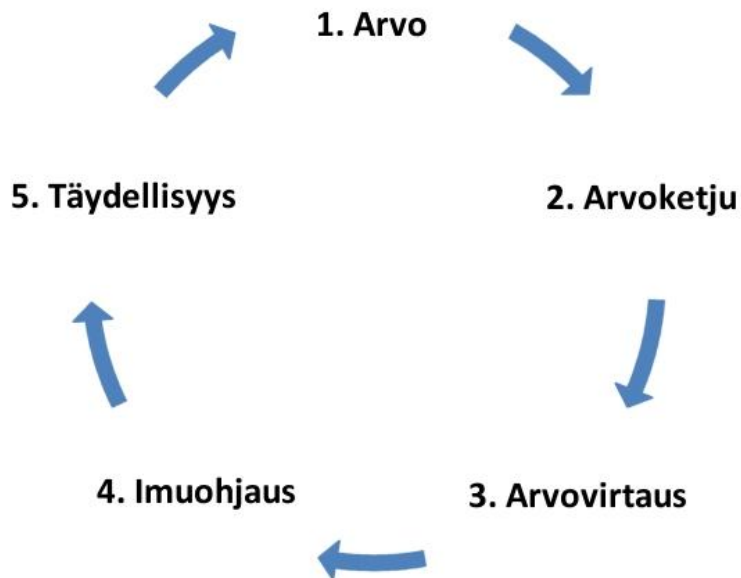
2.5 Prosessin kehittäminen

Organisaatioiden tuottavuus perustuu suurimmaksi osaksi prosessien sujuvuuteen. Näin ollen organisaatioiden kehittäminen on sen sisäisten prosessien sujuvuuden parantamista. Samalla tavalla rakentamisen tuottavuutta voidaan parantaa sen sisäisten prosessien kehittämisellä. Kilpailussa pärjääminen edellyttää jatkuvaa toiminnan kehittämistä, sillä asiakkaat vaativat yhä enemmän nopeutta, luotettavuutta, laatua ja alhaisinta hintaa. Prosessin kehittämisellä pyritään toimintatapojen yhtenäistämiseen, parempaan tehokkuuteen ja virheiden vähentämiseen. Tähän on olemassa lukuisia, ja hyvin samankaltaisiakin, tapoja, joista syvennyn tarkemmin kahteen tämän työn kannalta olennaisimpaan asiaan.

2.5.1 Lean-ajattelu

Lean-ajattelu perustuu japanilaisen autonvalmistaja Toyotan toisen maailmansodan jälkeen kehittämästä valmistustoiminnasta, joka tunnettiin nimellä Toyota Production

System (TPS). James Womack ja Daniel Jones kirjoittavat vuonna 1990 kirjan Toyotan menestyksestä ja autoteollisuuden muutoksista kohti Lean-tuotantoa. Kirja kertoi ensimmäisen kerran Japanin ja Länsimaiden välisen autoteollisuuden syvästä kuilusta, jonka syyksi Womack ja Jones esittävät Lean-ajattelun viisi pääperiaatetta. [9.]



Kuvio 4. Viidestä Lean-periaatteesta muodostuva kehä.

Ensimmäinen periaate on arvon määrittäminen asiakkaan näkökulmasta. Tämä tarkoittaa, että asiakas määrittää tuotteelle tai palvelulle arvon. Tuottaja on vain ja ainoastaan luomassa tuotteelle asiakkaan määrittelemän arvon, mikä on ainoa syy tuottajan olemassa ololle. Asiakas ostaa siis tuotteiden lisäksi tuloksia. Ongelma on kuitenkin se, että usein tuottaja pyrkivät tarjoamaan sitä, mikä heille itselleen on parasta.

Toisena periaatteena on yksilöidä arvoketju. Tällä tarkoitetaan koko toimitusketjun tarkastelua, ja asiakkaalle lisäarvoa tuottavien ja tuottamattomien asioiden tunnistamista. Tämän avulla löydetään ketjussa esiintyvä hukka, jonka poistaminen on Lean-ajattelun yksi keskeisimmistä asioista.

Kolmantena on arvovirtaus, eli vuo, jonka aiheuttaa asiakkaan tarve. Kun arvoketju on yksilöity ja lisäarvoa tuottavat toiminnot ja tehtävät ketjutettu, luodaan arvoketjuun virtaus, jonka tulee virrata kohti asiakasta pysähtymättä ja lisäten lopputuotteen arvoa. Virtauksen onnistuminen edellyttää organisaation koko henkilökunnan osallistumista ja Lean-ajattelun ymmärtämistä.

Neljäntenä Lean-periaatteena on arvovirtauksen käynnistävä imu. Imun aiheuttaa aina asiakas tai ketjussa seuraavana oleva vaihe, eikä varmuuden vuoksi tuottaminen. Toisin sanoen arvovirtaus käynnistyy vain tarpeen perusteella. Imuohjaukseen perustuva tuotanto mahdollistaa toisen logistiikassa käytetyn strategian JIT:n, josta tarkemmin kohdassa 2.5.4.

Viidentenä periaatteena on täydellisyyteen pyrkiminen. Täydellisyydellä ei tarkoiteta laatua, vaan asiakkaan tarpeiden täyttämistä. Eli tuotetaan juuri se, mitä asiakas haluaa, oikeaan aikaan ja kohtuulliseen hintaan.

Lean-ajattelussa toimintaa lähestytään siis arvon tuottamisen näkökulmasta läpi koko toimitusketjun. Kaikki toiminnot, jotka eivät tuota lisäarvoa asiakkaan näkökulmasta, ovat hukkaa. Lean-ajattelun tavoitteena olevat organisaation tuottavuuden ja tehokkuuden kehittyminen tapahtuu usein ruohonjuuritason parannuksilla. Käytännössä Lean tarkoittaa sitä, että jokainen organisaation työntekijä, jokaisessa ketjun vaiheessa ottaa vastuun omasta työstään ja osallistuu omalla panoksellaan toiminnan jatkuvaan parantamiseen.

2.5.2 Hukka ja sen osuus toimitusketjussa

Yleisesti voidaan ajatella, että organisaatioiden toiminnot on jaettu kolmeen kategoriaan: arvoa tuottavaan, arvoa tuottamattomaan ja arvoa tuottamattomaan, mutta välttämättömään toimintoon. Lean-ajattelun mukaan kaikki arvoa tuottamaton toiminta on hukkaa, jonka poistaminen arvoketjusta on Lean-periaatteiden saavuttamisen kannalta keskeisessä osassa. Womack ja Jones esittävät kirjassaan seitsemän hukan perusmuotoa, jotka ovat ylituotanto, odottaminen, tarpeettomat kuljetukset, yliprosessointi, liialliset varastot, tarpeettomat liikkeet ja viallisten tuotteiden aiheuttamat laatuhat. Hukkatyypit eivät varsinaisesti ole työkalu yritykselle, mutta niiden tunnistamisen avulla ongelmien selvittäminen helpottuu.

Useimmissa prosesseissa hukan osuus on erittäin suuri verrattuna varsinaisiin lisäarvoa tuottaviin toimintoihin. Tästä huolimatta perinteiset kustannussäästömenetelmät keskittyvät tehostamaan vain näitä toimintoja. Lean-ajattelussa huomio kohdistetaan nimenomaan lisäarvoa tuottamattoman toiminnan poistamiseen, jonka osuus arvovirrassa on merkittävämpi.

2.5.3 JIT & JOT

Yritykset eivät useinkaan toteuta vain yhtä logistiikan toimintamallia tai ajattelutapaa ja Lean-periaatteiden tukena käytetään usein JIT-ajattelua (englanniksi *Just-In-Time*), joka edustaa asiakaslähtöistä tuotantotapaa. Lähtökohtana on, että prosessin käynnistää asiakkaan tarve. Tällöin vallitsee kysynnän ja tarjonnan tasapaino, jonka seurauksena läpimenoajat lyhenevät ja vältetään odottelulta, turhilta toimenpiteiltä ja turhalta varastoinnilla. Imuohjaukseen perustuvalla JIT-ajattelulla on siis mahdollista eliminoida suurin osa Lean-ajattelun keskiössä olevista hukkatyypeistä. Suomessa JIT-ajattelusta käytetään myös termiä JOT (Juuri Oikeaan Tarpeeseen).

Samoin kuin Lean, on JIT-ajattelu jo aikaisemmin mainitun japanilaisen autoteollisuuden peruja. JIT soveltuu erityisesti suuria määriä valmistaville kokoonpanotehtaille, joissa tuote valmistetaan useassa peräkkäisessä pisteessä. Tässä insinööriyössä JIT-ajattelua sovelletaan vain elementtitehtaan ja rakennustyömaan välillä.



Kuvio 5. Just In Time kaaviomuodossa.

2.5.4 Lean-ajattelun haasteet rakennusteollisuudessa

Rakennushankkeet jakautuvat moniin erilaisiin suunnittelu- ja toteutusvaiheisiin, joissa jokaisessa on mukana useita toimijoita. Tyypillistä on, että vastuut jakautuvat hankkeen eri vaiheissa, kommunikointi on heikkoa ja hankkeessa mukava olevat organisaatiot optimoivat omaa toimintaansa. Muun muassa näiden erityispiirteiden takia hukan osuus rakennusalalla on, muihin teollisuuden aloihin verrattuna, erittäin suuri. Suuren hukan takia kysymyksessä on merkittävä tuottavuuden haaste ja useiden tutkimusten mukaan tuottavuuskehitys rakennusalalla on ollut jo pitkään vaatimatonta. [10.]

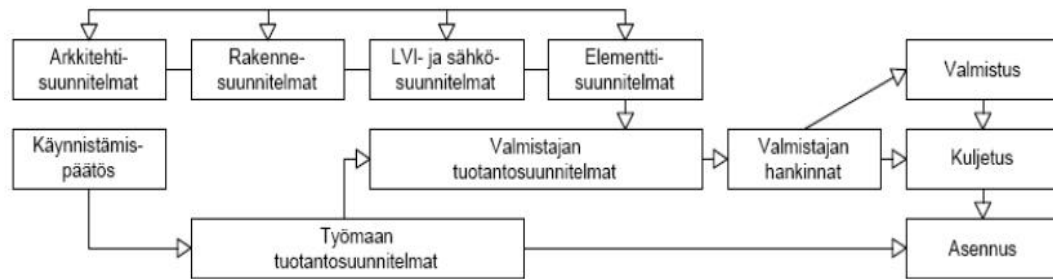
Rakennushankkeessa tilaaja kilpailuttaa eri alojen suunnitelmat ja varsinaisen toteutuksen tavoitteenaan saada itselleen edulliset kustannukset. Suunnitelmien ongelmatapauksissa virheen korjaus hyvin usein edellyttää kaikkien suunnitelmien korjauksia. Useiden eri toimijoiden vuoksi tämä aiheuttaa lähes poikkeuksetta hukkaa, joka ilmenee odotteluna. Projektinhallintaan on kehitetty useita Lean-ajattelua noudattavia työkaluja, jotka toimivat hankkeen kaikkien osapuolten yhteisinä tuotannonohjaustyökaluina. Omistautuneella Lean-ajatteluun perustuvalla lähestymistavalla rakennushankkeen kokonaiskustannuksia voidaan tutkimusten mukaan vähentää jopa 40 %. Tämän insinööriyön puitteissa perehdytään vain tuotannon runkotyövaiheeseen ja rajataan tarkastelu koko hankkeen mittakaavassa työn ulkopuolelle. [10.]

3 Elementtitoimitusten ketju

Tehdasvalmisteisten betonielementtien toimitusketju on monivaiheinen prosessi, johon osallistuu useita toimijoita ja vastuut voivat jakautua ketjun eri vaiheissa. Keskeisessä roolissa on elementtien toimittaja, joka koordinoi jokaisen toimitusketjun osapuolen välillä. Tiedonkulun merkitys ketjun tehokkaan toiminnan kannalta on merkittävä ja kaikkien osapuolten on toimittava saumattomasti yhteen, koska virheistä ja viivästyksistä johtuvat taloudelliset seuraukset ovat usein suuret. [11.]

Betonielementtien toimitusketju voidaan jakaa muutamaan päävaiheeseen, jotka ovat tilaajan tekemä tarjouspyyntö, toteutuksen käynnistävä sopimusvaihe, elementtien suunnittelu, niiden varsinainen tuotanto sekä luovutus ja varsinainen työmaalla tapahtuva asennus. [11.]

Toimitusketjun kokonaiskustannukset muodostuvat suurimmaksi osaksi jo ketjun alussa, kun tilaaja ja toimittaja solmivat elementtikaupan. Tämän jälkeen kustannuksiin voidaan vaikuttaa enää työmaalla tapahtuvan operatiivisen toiminnan kautta. Tässä insinööriyössä pääpaino on elementtien toteutuksen ja asennuksen välisessä toimitusketjun osassa. Tässä luvussa kuvataan elementtien toimitusketju kokonaisuudessaan, mutta myöhemmässä kustannustarkastelussa rajataan elementtien suunnittelu työn ulkopuolelle.



Kuvio 6. Elementtien toimitusketju suunnittelusta asennukseen. [7.]

3.1 Tarjous-, sopimus- ja suunnitteluvaihe

Betonielementtien toimitusketju alkaa tarjouskilpailun jälkeen tehtävällä elementtitoimittajan valinnalla. Oikealla toimittajavalinnalla on ratkaiseva merkitys toimitusketjun onnistumisessa. Pääsääntöisesti valinta tehdään hinnan ja toimitusvarmuuden perusteella ja yritykset pyrkivät usein kiinteään yhteistyöhön muutaman parhaimmaksi todetun toimittajan kanssa. Rakennusliikkeillä on hyvin usein valmis rekisteri toimittajista, jotka ovat aikaisempien kohteiden perusteella todettu luotettaviksi niin laadun kuin toimitusvarmuuden näkökulmasta. Toimittajaa valittaessa tulee varmistua myös tehtaan tuotantokapasiteetista, vaikka tunnetuilla toimittajilla sen oletetaan olevan riittävä. Tehtaan ylikuormitustilanne johtaa tuotannon viivästymiseen ja aiheuttaa odotusta koko toimitusketjun matkalla.

Elementtienhankinnan kustannukset muodostuvat monista asioista, vaikka usein kustannuksiksi mielletään vain ns. näkyvät kustannukset, eli ostohinta ja kuljetuksiin liittyvät kustannukset. Kuitenkin nämä ovat vain jäävuoren huippu koko hankintaprosessin aiheuttamassa kustannuskertymässä. Toimitusketjun häiriöitä ja niiden vaikutuksia kustannuksiin käsitellään tarkemmin luvussa 5. [1.] [5.]

Elementtitoimittajan tarjouksen tekemistä helpottaa jos rakennusurakoitsija toimittaa riittävät lähtötiedot tarjouspyyntöasiakirjojen muodossa. Lähtötiedoissa on annettava kaikki hankkeen suorittamiseen ja hinnoitteluun vaikuttavat tiedot, joiden oikeellisuudesta vastaa tilaaja. Tällöin vältetään epäselviltä tilanteilta ja toimittajien omilta tulkintoilta ja varmistutaan annettujen tarjousten vertailukelpoisuudesta. Tarjousvaiheessa epäselviksi jääneet asiat, kuten sopimusasioiden täsmentäminen ja teknisten vaatimusten tarkistaminen, käydään läpi urakkaneuvotteluissa. Jos ensimmäisen tarjoajan

kanssa ei synny sopimusta, valitaan toiseksi parhaimman tarjouksen tehnyt toimittaja uudeksi neuvottelukumppaniksi. Urakkaneuvotteluprosessia jatkekaan kunnes löydetään hankkeeseen sopiva elementtitoimittaja. [5.]

Ennen varsinaisen sopimuksen allekirjoittamista tarkastetaan suunnitelmien valmiusaste ja samalla selvitetään mahdolliset puutteet suunnitelmissa. Sopimusneuvotteluissa käydään sopimusehdot, asiakirjojen puutteet ja täsmennyksiä kaipaavat asiat. Elementtikaupassa käytetään sopimusehtona RYHT 2000 -ehtoa, jota täydennetään projektikohtaisilla liitteillä, joista tehokkaan toimitusketjun hallinnan kannalta tärkein on toimitusaikataulu. Sopimuksen syntymisen jälkeen vastuu yhteydenpidosta toimittajaan siirtyy työmaaorganisaatiolle. Usein tässä vaiheessa hankinta- ja myyntiosastot jäävät kokonaan pois ja myös toimittajan yhteyshenkilö vaihtuu tekniseen henkilöstöön. Sopimusten tiedot toimitetaan runkutyöstä vastaavalle työnjohtajalle, jonka tehtävä on suunnitella runkutyön käytännön toteutus aikatauluineen. [5.]

Tuoteosakauppa jaotellaan karkeasti kolmeen, toimituksen laajuuden perusteella tehtyyn, malliin. Mallista riippuen suunnittelu voi olla tilaajan, pääurakoitsijan tai elementtitoimittajan vastuulla. Varsinainen suunnitteluprosessi tehtävineen on jokaisessa mallissa samanlainen, joten käsittelen tässä kappaleessa suunnittelua vain pääpiirteittäin. Nykyisin yleisimmin käytetty tapa on tilaajan vastuulla oleva elementtisuunnittelu. Tässä tapauksessa elementtitoimittaja vastaa suunnittelusta vain jännebetonielementtien punosten ja raudoituksen osalta, mutta muun suunnittelun tekee tilaajan valitsema elementtisuunnittelija. [12.]

Elementtisuunnittelija valitaan pääasiassa samoin perustein kuin elementtitoimittajakin. Valinta voidaan tehdä kilpailuttamalla, neuvottelumenetelmällä tai voimassa olevan vuosisopimuksen kautta. Sopivan suunnittelijan löydyttyä suunnittelutehtävästä laaditaan sopimus, johon kirjataan suunnittelun tehtävät, hinta, maksuerät, suunnittelu-aika, sopimusehdot sekä projektikohtaiset muut liitteet. Tilaaja järjestää ennen elementtisuunnittelun aloitusta kokouksen, jossa käydään läpi suunnittelun aloituksen vaatimat lähtötiedot. Elementtisuunnittelijalla on oltava käytössään kaikki sellaiset rakenne- ja LVI-suunnittelijan tekemät piirustukset, jotka vaikuttavat suunnittelun aloittamiseen. Koko suunnitteluprosessista laaditaan suunnittelu-aikataulu, jossa sovitaan lopullisten tuotantopiirustusten valmistumisen ajankohta ja niiden toimitus tehtaalle. [13.] [15.]

Suunnitteluprosessi aikatauluineen on merkittävässä osassa koko toimitusketjun onnistumisen kannalta. Häiriöt suunnittelussa heijastuvat tuotannon viivästymisen kautta työmaan operatiiviseen toimitaan saakka, joka aiheuttaa väistämättä lisäkustannuksia. Tässä insinööriyössä keskitytään elementtien valmistuksen ja rakentamisen väliseen rajapintaan ja oletetaan elementtisuunnitelmien olevan ajallaan tehtaalla. Ei pidä kuitenkaan unohtaa, että ongelmat suunnitelmissa ja suunnittelun ohjauksessa ovat suurin yksittäinen häiriötekijä ketjussa.

3.2 Toteutus- ja kuljetusvaihe

Elementtien tuotanto on kokonaan oma prosessinsa, jonka toimivuudesta vastaa elementtien toimittaja. Markkinoinnin ja myynnin lisäksi tuotantoon kuuluu olennaisesti sen suunnittelu, tuotteen valmistus ja toimitus asiakkaalle. Lähtökohtana onnistuneelle prosessille on, tilaajan toimesta toimitettu, riittävän tarkka toimitusaikataulu ja suunnittelijoilta ajoissa valmistuneet tuotantopiirustukset. Ennen tuotannon aloittamista tehtaalla pidetään tarvittavat malliasennuskatselmuksat, joiden tarkoituksena on varmistua riittävästä laatuasteesta. Elementtien tuotantoa suunnitteluineen ja tarkastuksineen ei tämän insinööriyön puitteissa käsitellä laajemmin. [14.]

Betonielementtien tuotanto etenee yleensä limittäin toimitusten kanssa ja niitä toimitetaan työmaan tarpeen mukaan, jolla minimoidaan varastoinnin tarve tehdasalueella. Tehdasalueen varastoinnin järjestelyssä on tärkeää, että tuotannosta tuleva elementti varastoidaan alueelle, josta se on helposti löydettävissä ja lastattavissa kuljetusautoon. Elementtikuljetukset järjestetään asennusaikataulun mukaisesti. Onnistuneen toimituksen edellytyksenä on riittävän tarkka ja ajoissa laadittu suunnitelma. Varastointi työmaalla on hankalaa ja asennettaessa suoraan auton kyydistä on suunnitelmaan lisättävä myös elementtien tarkka asennusjärjestys, jotta niiden lastaus autoon tapahtuu oikeassa järjestyksessä. [4.]

Elementtien kuljetus työmaalla tapahtuu pääasiassa maantiekuljetuksina tavallisilla kuorma-autoilla sekä puoli- ja täysperävaunuyhdistelmillä, joiden perävaunu voidaan tarvittaessa jättää työmaalle nosturin ulottuville. Kun elementtien asennusta ei tehdä suoraan kyydistä, voidaan vaihtoehtoisesti käyttää konttia, joka vieään seuraavan toimituksen yhteydessä paluukuormana takaisin. Kontti toimii elementtien varastona, samaan tapaan kuin elementtipukit. Kontit säästävät yhden nostokerran, mutta niiden

haittana on kalleus ja työmaalla tarvittava tila. Kuorman käsittelyä ja kuljetuksia koskevia lakeja, asetuksia ja määräyksiä on lukemattomia, joiden noudattamisesta vastaa kuljetuksen suorittava yritys. [4.]

Yhteydenpito tuotanto- ja kuljetusvaiheessa työmaan ja tehtaan välillä on koko toimitusketjun tehokkuuden kannalta tärkein asia. Epätarkasti laadittu asennusaikataulu ja puutteellinen informaatio puolin tai toisin aiheuttaa häiriöitä asennustyössä. Puuttuvat elementit aiheuttavat odotusta ja liian aikaisin tulleet elementit turhaa varastointia, joista molemmista aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia.

3.3 Vastaanotto ja varastointi

Työmaalla elementtikuorman vastaanottoon valmistaudutaan järjestämällä kuljetuskalustolle esteetön pääsy kuorman purkupaikalle. Jos mahdollista, pyritään järjestämään ympäriajomahdollisuus, jolloin kuorma-auton pääsee peruuttamatta pois. Elementtejä vastaanotettaessa mahdolliset laatu puutteet kirjataan kuorman mukana tulleeseen kuormakirjaan tai muuhun dokumenttiin. Myös suojatut elementit tulisi pyrkiä tarkastamaan mahdollisilta puutteilta. Tarkastus tehdään kuitenkin viimeistään asennettaessa elementtejä paikoilleen ja laatu puutteista informoidaan välittömästi valmistajaa. Esteetön pääsyn lisäksi on huolehdittava, että nostokalusto ja rakennusmiehet ovat käytävissä ja valmiina kuorman purkuun. Tällöin varmistetaan tehokas ja häiriötön kuorman purku, ja vältetään kustannuksia aiheuttavalta odottelulta. [4.]

Elementtien saapumisen jälkeen ne varastoidaan nosturin ulottuville asetettuihin elementtipukkeihin. Elementtipukit tulee olla sijoitettu kovapohjaiselle ja tasaiselle alustalle nosturinkuljettajan näköyhteyteen. Seinäelementit voidaan varastoida myös jättämällä niiden kuljetusalusta tai kontti elementteineen työmaalle. Välivaraston järjestyksessä pitäminen on tärkeää ja nostettaessa elementtejä pukkeihin on huomioitava niiden tuleva asennusjärjestys, jotta vältetään tarpeettomilta välinostoilta ja etsimiseltä. Varsinkin suurilla työmailla elementit on totuttu nostamaan ennen asennusta välivarastoon, mutta niiden asennus suoraan kuljetusauton kyydistä on myös mahdollista. Luvussa 4 tutkitaan välivarastointimenetelmien kustannuksia ja verrataan niitä suoraan kuljetusauton kyydistä tehtävän asennuksen aiheuttamiin kustannuksiin. [4.]



Kuva 1. Elementtien varastointia elementtipukkeihin. [Seppo Verho.]

3.4 Asennus

Ennen elementtiasennuksen aloittamista on laadittava asennussuunnitelma, jonka tarkoitus on edesauttaa tehokasta ja turvallista asennusta. Suunnitelman laatiminen vaatii työmaolosuhteiden hyvää tuntemusta ja riittävän tarkkoja piirustuksia. Vastaavan rakennesuunnittelijan on annettava riittävät lähtötiedot asennussuunnitelman lähtötiedoiksi. Asennussuunnitelmaan on kirjattava elementtien asennusjärjestykseen, välivarastointiin, nostoihin, väliaikaiseen tuentaan ja lopulliseen kiinnittämiseen liittyvät tiedot. Asennussuunnitelma toimii myös turvallisuussuunnitelmana ja vastaavan rakennesuunnittelijan on huolehdittava, että suunnitelma on tehokkuuden lisäksi myös turvallisuuden näkökulmasta ristiriidaton. [4.]

Asennustyön suunnitteluvaiheen tärkeimpiä asioita toimitusketjun tehokkuuden kannalta ovat henkilöstöresurssien määrittäminen, nostokaluston suunnittelu ja asennusjärjestyksen ja -aikataulun laadinta. Oikean nostokaluston merkitys on suuri, sillä väärä kalusto hidastaa elementtiasennusta merkittävästi. Elementtien toimitus ja valmistus tapahtuu rinnakkain ja tuotanto perustuu ennalta sovittuun asennusjärjestykseen. Näin ollen puutteellinen tai liian myöhään laadittu asennusaikataulu hidastaa elementtien tuotantoa. Suunniteltaessa asennusta on otettava huomioon myös elementtikaupassa sovitut rajoitukset ja toimittajan valmistus- ja kuljetuskapasiteetti, sillä suuret työmaat saattavat tarvita toistakymmentä kuormaa päivässä. [4.]

Ennen varsinaisen asennustyön aloittamista varmistetaan, että kaikki valmistelevat työt on tehty. Tarvittava välivarastointi on järjestetty, ajotiet ja kuorman purkupaikat ovat kunnossa ja esteettömät. Asennuksessa tarvittavat materiaalit ja työkalut ovat saatavil-

la, asennustyön suorittavat työntekijät on perehdytetty ja nostokalusto tarkastettu. Tämän lisäksi ennen uuden kerroksen asennuksen aloittamista tulee tarvittavien nurkkapisteiden ja korkomerkkien olla merkattuna. Elementtien nostetaan paikoilleen elementtiin asennetuista nostolenkeistä ja tuetaan asennussuunnitelman ja valmistajan antamien ohjeiden mukaisesti. Ennen sovittamista paikoilleen tarkistetaan vielä, että elementin tunnus täsmää suunnitelmissa olevaan tunnuksen. [4.]

Erilaisten elementtien nostoon, tuentaan ja jälkikäsitteilyyn on olemassa omat ohjeituksensa, jotka tulee esittää asennussuunnitelmassa. Asennustapahtuma on samanlainen asennettaessa elementti suoraan kuormasta tai välivarastosta, joten nostolenkien kiinnittämisen jälkeen ei varastointitavalla ole enää merkitystä kustannuksiin. Tämän vuoksi ei asennustyötä tapahtumana käsitellä tämän tarkemmin, mutta asennuksessa tapahtuvien häiriöiden aiheuttamaa hukkaa käsitellään luvussa 4.

4 Toimitusketjun ongelmat ja häiriöt

Samoin kuin missä tahansa ketjun muodostavassa prosessissa, myös elementtien toimitusketjussa häiriö jossakin ketjun vaiheessa aiheuttaa odotusta loppupäässä. Häiriötä voidaan ajatella myös häiriöketjuna. Häiriö elementtien suunnitteluvaiheessa vaikuttaa elementtien tuotantoon ja sitä kautta aina asennukseen saakka. Ketjun alkupäässä tapahtuvaa suunnittelupuutetta yritetään yleensä korjata seuraavissa vaiheissa, jolloin siitä seuraa aikataulun kiristystä, joka voi johtaa laatuutteisiin elementeissä ja asennuksessa. Häiriö missä tahansa ketjun vaiheessa aiheuttaa lisäkustannuksia ja mitä kauemmin häiriö kestää, sitä korkeimmiksi siitä johtuvat kustannukset nousevat. Toimitusketjun häiriöttömyys sen alkuvaiheessa on loppupäässä tapahtuvia häiriötä suuremmassa roolissa. Tämän vuoksi on tärkeää valvoa koko ketjun toimintaa ja tunnistaa mahdolliset häiriöt jo ketjun alkupäässä. Tässä luvussa esitellään elementtien toimitusketjun yleisimmät häiriöt sekä syyt ja seuraukset ja tarkastellaan niiden aiheuttaman hukan vaikutusta koko ketjun kustannuksiin.

4.1 Elementtien suunnittelu ja ohjaus

Häiriö suunnitteluvaiheessa ilmenee puutteellisina tai myöhässä tehtaalle saapuvina piirustuksina, jolloin elementtejä ei saada riittävän aikaisessa vaiheessa tuotantoon ja

tämä laukaisee häiriöketjun koko prosessissa. Äärimmäisessä tapauksessa suunnitteluvaiheessa tapahtuva häiriö vaikuttaa ketjun loppupäässä niin, ettei rungon viivästyksen vuoksi sisävalmistusvaihetta saada aloitettua.

Syitä häiriöön voi olla useita ja kaiken kaikkiaan suunnitteluprosessi on varsin haastava ja vaatii hyvää ja ammattitaitoista suunnittelun ohjausta. Yleensä häiriö mielletään elementtisuunnittelun aiheuttamaksi, mutta itse suunnitteluprosessiin osallistuu ennen elementtisuunnittelijaa muitakin erityisalojen suunnittelijoita. Häiriön aiheuttaa siis puutteellinen piirustus, resurssipula tai informaation puute jossain suunnitteluketjun vaiheessa. Usein hankkeen tilaaja kilpailuttaa erityisalojen suunnittelun ja koko suunnitteluprosessi jaetaan useamman organisaation kesken. Tämä aiheuttaa lähes aina pientä viivettä, kun suunnitelmat kiertävät suunnittelijalta toiselle. Suunnitteluketjun onnistuminen onkin kriittisessä asemassa koko toimitusketjun onnistumisessa. Informaatiovirran haasteita koko toimitusketjussa käsitellään tarkemmin luvussa 4.4.

4.2 Elementtien valmistus ja toimitus

Elementtien toimittaja suunnittelee oman tuotantonsa laadittujen toimitusaikataulujen mukaisesti. Suunnitteluprosessissa tapahtuva häiriö aiheuttaa viivettä tuotantoon ja elementtien toimitukseen. Toimittaja suunnittelee tuotantonsa yleensä kapasiteetin äärirajoille ja tuotantoon on varattu myös muiden asiakkaiden elementtejä. Tuotantokapasiteetti täyttyy ja myöhässä tulleiden suunnitelmien mukaiset elementit joudutaan valmistamaan jossakin vapaassa välissä. Tehtaan koko tuotanto häiriintyy ja tuotantotauluihin joudutaan tekemään muutoksia ja aikataulun kirimisen myötä riski elementtien laatu puutteille kasvaa. Tämän myötä työmaalle toimitettavat elementit ovat myöhässä tai joudutaan toimittamaan sellaisia elementtejä, joiden asennusta ei voida suorittaa. Tämä aiheuttaa tarpeetonta odottelua ja elementtien turhaa varastointia, joista aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia. Myöhässä tulleiden elementtien ja aikataulun kirimisen takia töitä joudutaan tekemään usein viikonloppuisin, jolloin työntekijäkustannukset ovat hyvin korkeat.

Usein tuotantovaiheen häiriöt syntyvät jo ketjun aikaisemmissa vaiheissa tapahtuneista suunnitelmien puutteista tai myöhässä tulleista suunnitelmista. Toisena syynä voidaan pitää tiukan kilpailutilanteen aiheuttamaa tuotantokapasiteetin ylitystä, kun tehdas pyrkivät saamaan tuotantolinjat täyteen.

4.3 Asennusongelmat ja laatu puutteet

Ongelmat elementtien asennusvaiheessa ovat vakavin yksittäinen toimitusketjun onnistumiseen vaikuttava asia. Häiriöt elementtiasennuksessa johtavat rungon viivästy miseen ja seuraaviin työvaiheisiin. Runkotyö on kriittisessä osassa, koska rakennuksen lämmitystä ei saada päälle eikä sisätyövaihetta päästä aloittamaan.

Toimitusketjun aikana ilmenneet häiriöt korostuvat elementtien asennusvaiheessa ja suurin yksittäinen aikatauluun ja kustannuksiin vaikuttava tekijä on elementtien toimituksessa tapahtuneet ongelmat. Elementtien puuttuminen työmaalta saattaa pysäyttää koko elementtiasennuksen niin pitkäksi aikaan, kun elementit saapuvat työmaalle. Toimitusten myöhästymisestä johtuva aikataulun kireminen voi aiheuttaa laatuvirheitä asennustyössä. Elementtien asennuksesta vastaavan ryhmän aiheuttamia häiriöitä on kuitenkin vaikea osoittaa, mutta asennukseen on annettu Ratu-kortistossa työmenekit, joiden avulla voidaan määritellä asennusryhmän minimivaatimukset asennustyön nopeuden suhteen. Asennusryhmän hitauden vuoksi elementtitoimitukset joutuvat odottamaan tai niitä joudutaan siirtämään. Betonielementtien vaurioituminen asennuksen tai välivarastoinnin yhteydessä on mahdollista, jonka seurauksena työmäärä seuraavissa työvaiheissa kasvaa paikkauksen ja etuoikaisun lisääntyessä.

Sujuvan asennuksen edellytyksenä ovat virheettömät elementit, joiden asentaminen voidaan tehdä ilman ylimääräisiä toimenpiteitä. Toimitusketjun aikaisemmassa vaiheessa launneen häiriöketjun aiheuttamat laatu puutteet elementeissä hidastavat asennusta ja lisäävät kustannuksia. Laatuvirheiden syy voi olla häiriön aiheuttama kiire tai laadunvalvonnan puute elementtien tuotantovaiheessa. Tyypillisiä laatuvirheitä elementeissä ovat mittavirheet, puuttuvat tartunnat tai muut suunnitelmien mukaiset tarvikkeet ja valuvirheet. Tuotantovaiheessa syntyneet laatuvirheet saatetaan havaita vasta elementtiä asennettaessa, jolloin joudutaan tekemään ylimääräistä työtä asennuksen onnistumiseksi tai äärimmäisessä tapauksessa elementtiä ei pystytä asentamaan, jolloin se joudutaan välivarastoimaan.



Kuva 2. Asennusta hidastavia laatuvirheitä elementeissä. [Pauli Saastamoinen.]

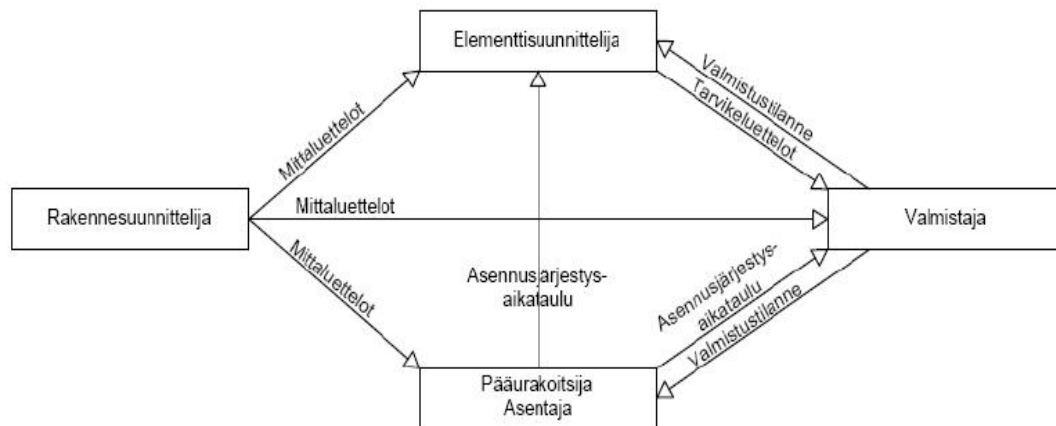
Yllä olevassa kuvassa on esitetty kaksi tyypillistä, asennusta hidastavaa, laatuvirhettä elementissä. Valuvirheen takia elementin vaakaliitoksen varauskolo on tukossa, jolloin ylimääräinen betoni joudutaan poistamaan. Oikeanpuoleisessa kuvassa elementin tuentaa varten asennetun valuankkurin suojatulppa on jätetty tehtaalla irrottamatta, jonka vuoksi sen poistaminen joudutaan tekemään asennusvaiheessa työmaalla. Molemmat laatuvirheet aiheuttavat ylimääräistä työtä ja odotusta.

Sääolosuhteiden vaikutus asennustyön häiriötekijänä on vähäinen eikä vaikuta asennusnopeuteen juuri ollenkaan. Sen sijaan asennusaikataulussa on otettava huomioon mahdollinen jään ja lumen poisto ennen elementtikuorman saapumista.

4.4 Informaatiovirran haasteet

Sujuva ja hyvin hallittu tiedonkulku on tärkeä tekijä toimitusketjun onnistumisessa. Haasteena on tärkeän tiedon erottaminen kaikesta tietomassasta ja tiedon ohjaaminen oikeaan paikkaan. Suunnitteluvaiheen ongelma on yleensä suunnitelmien muutokset, joista informoiminen on puutteellisesta tai saapuu liian myöhään. Elementtisuunnittelu jätetään yleensä hankesuunnitteluvaiheessa huomioimatta ja suunnittelun ajallinen ohjaus on puutteellista. Tehokas toimitusketju edellyttää toimivaa yhteistyötä ja saumattonta informaation kulkua koko toimitusketjun ajan ja ketjun näkeminen kokonaisuutena on välttämätöntä. [7.]

Toimitusketju sisältää paljon tärkeää ja kaikkia ketjun osapuolia hyödyttävää informaatiota, jonka liikkumisen eri toimijoiden rajapinnoissa tulee toimia sujuvasti. Asia tiedostetaan, mutta tästä huolimatta ketjun eri vaiheissa tehdään paljon päällekkäistä työtä. Esimerkiksi määrälaskentaa tehdään useassa vaiheessa sen sijaan, että lyhennettäisiin ketjua hyödyntämällä esimerkiksi suunnitteluvaiheessa tehtyjä mitta- ja määräluetteloita. [7.]



Kuvio 7. Toimitusketjussa siirrettävää informaatiota. [7.]

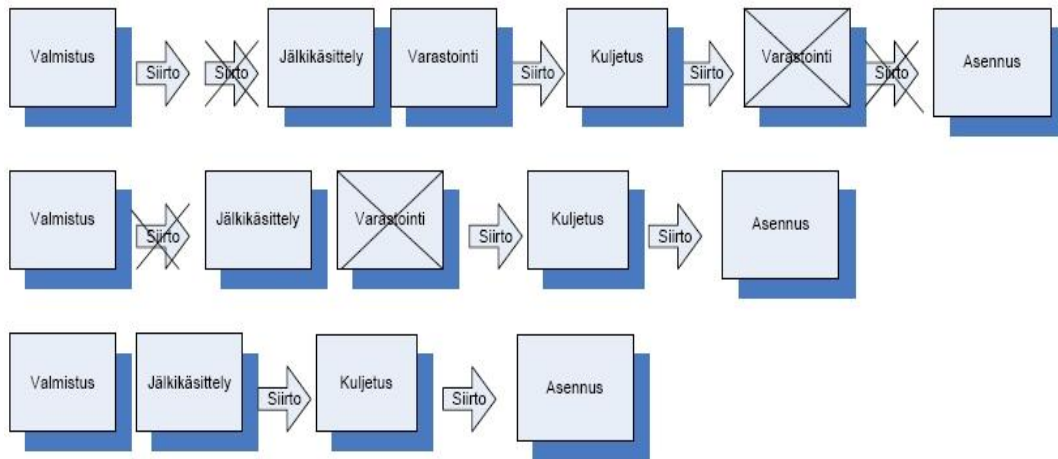
Toimitusketjun tiedonkulun haasteisiin kuuluu myös pääurakoitsijan sisäisiin vastuisiin liittyvät ongelmat. Hankintaosaston ja työmaan välisessä informaatioissa on puutteita ja katkoksia, joiden seurauksena työmaalla ei ole käytössään riittävästi tietoa tehdyistä hankinnoista tai niiden sisällöstä. Myös rakennuttajan ja suunnittelijan työmaalle toimittamassa informaatioissa on puutteita. Suunnitelmien saaminen ajallaan on erittäin tärkeää työnteon kannalta ja sisältöpuutteet aiheuttavat sen, että työmaa joutuu käyttämään omia resurssejaan. Esimerkiksi detaljipiirustukset ovat yleensä yksinkertaisimmasta kohdasta rakennetta, jolloin työmaa joutuu suunnittelemaan itse rakenteen vaikeimmat kohdat, kuten liittymäkohdat. [7.]

Tiedonkulun perille menon kannalta tärkeässä osassa ovat kokoukset ja katselmukset. Kokouksissa saadaan tilannekohtaista informaatiota ja voidaan päättää toimenpiteistä välittömästi. Haasteena on ollut osapuolten osallistuminen kokouksiin, jonka vuoksi tiedon perillemenosta ei olla varmoja. [7.]

Informaation kulku myös pääurakoitsijalta aliurakoitsijoille on tärkeää. On oleellista, että aliurakoitsijat tietävät oman työpanoksensa merkityksen koko prosessissa ja miten omalla työnteolla voidaan vaikuttaa muiden osapuolten toimintaan. [7.]

4.5 Hukka elementtien toimitusketjussa

Toimitusketjussa tapahtuvat häiriöt aiheuttavat siis Womackin ja Jonesin kuvailemaa hukkaa ketjun jokaisessa vaiheessa. Koko rakennusprosessin hukka, eli arvoa tuottamaton toiminta on noin 50 % kaikesta toiminnasta. Betonielementtien toimitusketjussa-kin hukan osuus on suuri. Lean-periaatteen mukaan hukan tunnistaminen ja minimointi on ketjun tehokkuuden kannalta olennainen asia.



Kuvio 8. Elementtien toimitusketjun tehostaminen. [7.]

Yllä on esitetty betonielementtien toimitusketju tehtaan tuotantolinjalta työmaalle. Jo pelkästä kuviosta voidaan havaita näkyvän hukan osuus koko ketjussa. Keskityn tässä insinööriyössä vain työmaalla tapahtuvan operatiivisen toiminnan hukkaan, mutta jo pelkästään elementtitehtaalla tehdään paljon ylimääräisiä siirtoja ja tarpeetonta varastointia. Tämän insinööriyön näkökulmasta kuvion ylin rivi on oleellisin. Toimitusketjua voidaan lyhentää minimoimalla työmaalla tapahtuva elementtien välivarastointi ja tästä aiheutuva ylimääräinen nostokerta, joiden kustannusvaikutuksia pohditaan luvussa 5.

Womackin ja Jonesin esittämistä hukkatyypeistä elementtien toimitusketjussa voi esiintyä ylituotantoa, odottamista, tarpeettomia kuljetuksia, liiallisia varastoja ja laatu hukkia.

Hukkaa muodostuu yleensä jonkin häiriötekijän vaikutuksesta, jolloin häiriön tunnistaminen auttaa huomattavasti hukan vähentämisessä. Odottaminen on hukkatyypeistä sellainen, jota muodostuu oikeastaan minkä tahansa häiriön seurauksena. Jo suunnitteluvaiheessa tapahtunut häiriö laukaisee häiriöketjun, joka aiheuttaa odottamista jokaisessa seuraavassa vaiheessa. Odottamista esiintyy myös suunnitteluprosessissa, kun suunnitelmat kiertävät suunnittelijalta toiselle. Elementtien tuotanto odottaa myöhässä saapuvia piirustuksia, jonka seurauksena tuotanto myöhästyy ja työmaa joutuu odottamaan elementtikuljetuksia ja samalla asennustyö viivästyy.

Tuotantovaiheessa tehtaalla tehdään paljon ylimääräistä työtä. Elementin valamisen jälkeen se siirretään jälkikäsitteilyyn, jonka jälkeen uudelleen varastointialueelle ja sieltä edelleen kuljetettavaksi. Ketjun aikaisemmassa vaiheessa tapahtunut häiriö aiheuttaa tuotannon häiriintymisen ja elementit joudutaan valmistamaan tiukalla aikataululla, jolloin mahdollisuus laatu hukalle kasvaa. Viallinen elementti vaikeuttaa asennusta työmaalla ja pahimmassa tapauksessa estää elementin paikoilleen asentamisen kokonaan. Laatuvirhe aiheuttaa siis odottelua, ylimääräistä työtä ja tarpeetonta varastointia.

Elementtikeruun saapumisen jälkeen työmaalla tehdään paljon tarpeettomia siirtoja ja nostoja, joiden kustannusvaikutukset pitkällä tähtäimellä ovat huomattavia. Elementtien siirto on yleensä työmaan aikataulussa kriittisellä pohjalla ja on erittäin häiriöherkkä vaihe, joten tarve pienelle puskurivarastolle on olemassa. Puskurivaraston järjestäminen työmaalla on logistisesti heikompi toimintatapa kuin se, että elementtien tuotanto järjestettäisiin niin, että puskurivarasto syntyy jo tuotantovaiheessa tehtaalla. Varastoinnin järjestäminen työmaalla vaatii huomattavan paljon tilaa, jonka puute vaivaa erityisesti pääkaupunkiseudulla, jossa rakennetaan tiiviisti. Tarpeettomia siirtoja syntyy ahtaan tontin takia tehtävillä erilaisten rakennusmateriaalien siirroilla, kun raivataan tilaa esimerkiksi betonielementeille. Tämä vaatii myös resursseja ja aikaa, jolloin runkovaiheen aikataulu venyy ja kustannukset nousevat.

5 Toimitusketjun kustannukset

Tämän insinöörityössä pääpaino on toimitusketjun kustannusnäkökulmassa. Suuri määrä yrityksen kustannuksista muodostuu yritysten välisten liiketapahtumien hoidosta ja käsittelystä. Yritysten välisissä rajapinnoissa tehdään myös paljon päällekkäistä, eli ylimääräistä työtä, joka on omiaan nostamaan toimitusketjun kustannuksia. [3.]

Kuviossa 9 on esitetty elementtien toimitusketjun kustannusten muodostuminen. Siitä voidaan havaita, että kustannukset muodostuvat tuotteen hinnasta ja rakennusliikkeelle aiheutuvista muista kustannuksista. Toimittajalle maksettu hinta kattaa tuotteen tai palvelun tuotannosta ja logistiikasta aiheutuvat kustannukset sekä toimittajan katteen. Tuotteen toimittamisen jälkeen rakennusliikkeelle syntyvät muut kustannukset ovat pääosin tuotteen organisointiin ja logistiikkaan liittyvien toimintojen aiheuttamia kustannuksia.

Toimitusketjun kustannukset ovat suurimmaksi osaksi logistisia, eli ne syntyvät informaatio- ja tavaravirran vaatimista toiminnoista, kuten tavaroiden käsittelystä, kuljettamisesta ja varastoisesta. Näiden toimintojen aiheuttamien kustannusten suuruuteen vaikutetaan eniten yrityksen tekemillä strategioilla ja linjauksilla. Myös operatiivisen toiminnan kehittämisellä voidaan vaikuttaa kustannuksiin, vaikkakin tämän vaikutus toimitusketjun kokonaiskustannuksiin on strategisten linjausten jälkeen vähäisempi. Tässä työssä keskitytään kustannusten madaltamiseen ja tehokkuuden parantamiseen vain operatiivisen toiminnan kehittämisen kautta. [3.]



Kuvio 9. Toimitusketjun kustannukset.

5.1 Elementtien tuotanto- ja kuljetuskustannukset

Suurin osa elementtien toimitusketjun kustannuksista sidotaan jo ketjun alkupäässä, kun toimittaja ja tilaaja solmivat elementtikaupan. Tämän jälkeen kustannuksiin voidaan vaikuttaa enää työmaalla tapahtuvan toiminnan, kuten elementtien asennuksen ja varastoinnin kautta. Elementtitahtaan hinnoittelu muodostuu pääasiassa elementtien ne-liöhinnan, pinnan laadun, teräsmäärän ja erilaisten lisähintojen mukaan.

Lähes aina valmisosakaupassa sovitaan, että kuljetus työmaalle on toimittajan vastuulla, joten sen kustannukset on sidottu tuotteen hintaan. Kuljetuksen hintaa ei, kausisopimuksia lukuun ottamatta, yleensä erotella tarjoukseen, mutta suomalaisilla toimijoilla kuljetuksen osuus hinnasta on noin 10-15 %. Elementtitoimittajilla on lähes aina sopimukset ulkopuolisten rahdinkuljettajien kanssa, jotka he kilpailuttavat määrävälein. Pääurakoitsijan mahdollisuus vaikuttaa kuljetuksen kustannuksiin on olematon, eikä kuljetuksen erottamista elementtikaupasta kannata tehdä.

Kuljetuskustannusten hinnoittelu perustuu pääasiassa kuljetettavaan matkaan. Kuljetamisessa kokonaiskustannus riippuu enemmän kuljetusten lukumäärästä, kuin tavarain painosta ja tästä syystä toimittaja asettaa vajaalle kuormalle yleensä lisähinnan.

5.2 Elementtien varastointi- ja asennuskustannukset

Tämän insinööriyön pääpaino on välivarastoinnin kustannusvaikutusten tarkastelulla elementtien toimitusketjussa. Laadin kustannustarkastelua varten taulukon toimitusketjun kustannusten jakautumisesta ja pohdin tämän perusteella varastoinnin ja asennuksen vaikutuksia koko elementtien toimitusketjussa. Suunnitteluvaiheessa tehdyillä varastointiin ja asennukseen liittyvillä linjauksilla vaikutetaan eniten työmaalla tapahtuvan toiminnan kustannuksiin.

Kuten logistiikka yleensä, myös työmaan logistiikka koostuu pitkälti tavaroiden kuljetamisesta ja niiden varastoimisesta. Pitkien matkojen takia kuljettamisesta syntyy merkittävästi kustannuksia, jonka vuoksi kuljetukset pyritään tekemään suurissa erissä, jolloin niiden lukumäärä saadaan mahdollisimman pieneksi. Pitkien matkojen aiheuttamista suurista kuljetuseristä johtuen muodostuu varastoja, joka on melko normaalia liiketoiminnassa.

Elementtien välivarastoinnin kustannukset muodostuvat välivarastointiin kuluva työmäärästä sekä tarvittavan kaluston vuokrakustannuksista. Varastoitaessa elementti joudutaan nostamaan auton kyydistä välivarastoon ja sieltä jälleen paikoilleen. Tämä lisää nostokertojen määrää ja näin työhön kuluva aika suurella aikavälillä pitenee merkittävästi. Ei pidä kuitenkaan ajatella, että jokaisen elementin kohdalla välivarastointi olisi hukkaa, sillä aina elementin asentaminen suoraan kyydistä ei ole mahdollista, taroituksen mukaista tai kustannustehokasta koko toimitusketjun kannalta. Esimerkiksi

pilari-, hormi- ja porraselementit toimitetaan yleensä suuremmista erissä kuin on tarve, jolloin säästöt tapahtuvat välivarastoinnin sijaan kuljetuksessa.

Elementtiasennus on työmaan aikataulussa merkittävä tahdistava tekijä, jonka vuoksi tarve pienelle puskurivarastolle on olemassa. Välivarastoinnin suoraan näkyvät kustannusvaikutukset ovat pienet, mutta aikasäästön tuomat taloudelliset hyödyt voivat nousta suuriksi.

5.3 Hukan aiheuttamat kustannusvaikutukset

Elementtien toimitusketjussa esiintyvien hukkatyyppien aiheuttamien kustannusvaikutusten arvioiminen on hankalaa, sillä usein ne esiintyvät yhtä aikaa tai aiheuttavat ketjureaktion. Esimerkiksi elementin tuotannossa tapahtunut laatuheikkous aiheuttaa asennusongelmia työmaalla, jonka seurauksena esiintyy odottamista, ylimääräisiä nostokertoja ja tarpeetonta varastointia, kun elementtiä ei voida asentaa suoraan paikoilleen. Yhden, ketjun alkupäässä tapahtuneen, häiriötekijän aiheuttavista hukista muodostuu kokonaisuus, joka pahimmassa tapauksessa viivästyttää koko runkotyövaihetta ja aiheuttaa lisäkustannuksia seuraavissa työvaiheissa. Ylimääräisiä ja tarpeettomia varastoja voi siis syntyä muiden häiriötekijöiden vaikutuksesta tai varastointi voidaan tehdä myös tarkoituksella yrityksen strategisen linjauksen mukaisesti. Tarkoituksen mukaisen välivarastoinnin aiheuttamat kustannukset on toimitusketjussa esiintyvistä hukkatyypeistä helpoiten arvioitavissa, koska varastointiin kuluva aika on ennustettavissa.

5.3.1 Välivarastoinnin kustannukset

Ennen kuin voidaan arvioida välivarastoinnin aiheuttamia kustannuksia, tulisi selvittää mikä on toimitusketjun kannalta tarpeetonta ja mikä tarkoituksen mukaista varastointia. Kuten aikaisemmin mainittiin, ei kaikkien elementtien asentaminen suoraan auton kyydistä ole kannattavaa, eikä tarkoituksen mukaistakaan. Esimerkiksi hormielementit tulevat omalta tehtaaltaan muutamien elementtien nipuissa, eikä niiden kuljettaminen vain tarvittavissa erissä ole millään tavalla kustannustehokasta. Hormielementtien vaatima tila välivarastossa ei ole yhtä suuri kuin esimerkiksi seinäelementeillä eikä ne aiheuta seinäelementtien tapaan vuokrakustannuksia välivarastointiin tarvittavista elementtitelineistä. Hormielementtien tapaan myös pilarit kuljetetaan yleensä suuremmista erissä tai täyte-elementteinä muiden kuljetusten mukana.

Tässä insinööriyössä on keskitytty pääasiassa ulko- ja väliseinäelementteihin, joiden lukumäärän kautta tuoma kustannus on huomattavasti suurempi kuin elementtien, joiden määrä on vähäinen. Samalla ne aiheuttavat kustannuksia välivarastointiin vaadittavista elementtitelineistä. Seinäelementtien välivarastointiin tarvittavat kustannukset muodostuvat siis varastointiin kuluvan ajan ja ylimääräisen nostokerran tuomana työ- kustannuksena sekä kaluston vuokrakustannuksena. Alla olevassa taulukossa on esitetty teoreettiset kustannussäästöt muutamalla elementtityypille.

Taulukko 1. Välivarastoinnin aika- ja kustannussäästöt.

Tyyppi	Määrä (kpl)	Aikasäästö (h)	Aikasäästö (%)	Kustannussäästö (EUR)	Kustannussäästö (%)
Ulkoseinä	628	75,36	7,09 %	13 445,21	7,09 %
Väliseinä	463	55,56	5,23 %	9 912,63	5,23 %
Yhteensä:	1091	130,92	12,31 %	23 357,84	12,31 %

Taulukossa mainittujen lukujen lähteenä on käytetty kustannusvertailuun laatimaani Excel-taulukkoa. Kustannusten muodostamiseen on käytetty Ratu-kortistosta poimittuja menekkitietoja, joiden perusteella on laskettu välivarastointiin kuluva aika ja sen tuomat säästöt. Taulukosta havaitaan, että vain varastointiin kuluvan ajan avulla lasketut kustannussäästöt ulko- ja väliseinäelementtien kohdalla voivat olla noin 10-15 %. Käytännössä tämän kaltaisiin säästöihin on mahdotonta päästä ja kokonaiskustannussäästöjä laskiessa tulee huomioida muitakin asioita.

Välivarastoinnin pois jättäminen tulee huomioida elementtiasennusurakassa hintaa pienentävänä tekijänä. Kun välivarastointi jätetään tekemättä, jää asennuksen suorittamisesta yksi hidastava työvaihe kokonaan pois. Yleensä välivarastointi sisällytetään kiinteään asennushintaan, eikä sitä sen erottelua sopimuksessa tehdä. Ratu-kortin menekkitietojen perusteella lasketusta kustannusvertailusta voidaan päätellä, että välivarastoinnin osuus urakkahinnasta on, varastoitavien elementtien määrästä riippuen, noin 15-20 %. Häiriötilanteesta johtuvaa pakollista varastointia on vaikea ennustaa eikä yksittäisten elementtien varastoinnilla ole urakkahintaan juuri vaikutusta.

5.3.2 Elementtikuorman seisottamisesta aiheutuvat kustannukset

Seinäelementtien asentaminen suoraan autosta paikoilleen on hitaampaa kuin niiden nostaminen välivarastoon. Tästä aiheutuu suuria elementtimääriä sisältävien kuormien pidempi asennusaika, jolloin elementtikuorman seisottamisesta aiheutuu kustannuksia.

Asennusajan pitkittyessä, varsinkin nykyisillä sopimuksilla, kuorman seisottamisesta aiheutuu huomattavan suuri kustannuserä, jonka suhde säästöihin on otettu huomioon seuraavassa taulukossa. Asennusnopeudella on siis erittäin suuri vaikutus elementti-kuormalle aiheutuvaan odottamiseen ja tätä kautta koko toimitusketjulle aiheutuviin kustannuksiin. Alla olevassa vertailussa asennusaika on laskettu välivarastoinnin tapaan Ratu-kortistosta saaduilla arvoilla.

Taulukko 2. Purkuajan ylityksen vaikutus kustannussäästöihin.

Purkuajan kustannus	Kustannukset (EUR)	Purkuajan osuus (EUR)	Kustannussäästö (EUR)	Kustannussäästö (%)
70 EUR/h	193 619,66	32 288,70	-3 930,86	-2,07 %
60 EUR/h	194 006,99	27 676,03	-3 669,59	-1,93 %
50 EUR/h	189 394,32	23 063,36	294,48	0,16 %
40 EUR/h	184 781,64	18 450,69	4 907,16	2,59 %
0 EUR/H	166 330,96	0	23 357,84	12,31 %

Elementti-kuorman seisottamisesta aiheutuu vain kustannuksia, eikä se vaikuta toimitusketjun kokonaisaikaan. Yli menevä purku-aika hinnoitellaan yleensä 60-70 euroon tunnilta ja tällä hinnalla suoraan kuormasta asentamisesta ei saada säästöjä. Taulukosta huomataan, että yli menevän purkuajan tulisi olla 40-50 euroa, jotta rakentamisprosessissa kannattaisi hyödyntää edes suoraan kuormasta asentamisesta saatavaa ajallista hyötyä. Sen sijaan kustannussäästöjä ei tästäkään vielä saada.

Taulukoissa 1 ja 2 saadut tulokset ovat saatu käyttäen Ratu-kortistossa olevia menekkejä. Tämä tarkoittaa seinäelementeissä noin 17-18 elementin työvuorovauhtia. Seuraavassa kappaleessa on pohdittu asennusnopeuden vaikutusta kustannuksiin.

5.3.3 Asennusnopeuden vaikutus kustannuksiin

Elementtiasennuksen nopeus vaikuttaa merkittävästi koko toimitusketjun kustannuksiin. Asennusnopeus vaikuttaa paitsi yksittäisen elementti-kuorman työmaalla olevaan aikaan, myös koko runkovaiheen kokonaisaikaan ja sen kautta vuokrassa olevan kaluston kustannuksiin. Kuorman purkuajan kustannukset ovat kuitenkin vuokrakustannuksia suuremmassa roolissa.

Taulukko 3. Asennusnopeuden vaikutus purkuajan kustannuksiin.

Työsaavu- tus	Kustannukset (EUR)	Purkuajan osuus (EUR)	Kustannussäästö (EUR)	Kustannussäästö (%)
17-18 kpl/tv	194 006,99	27 676,03	-3 669,59	-1,93 %
21-22 kpl/tv	175 525,13	20 773,43	4 667,81	2,59 %
25-26 kpl/tv	164 843,60	16 884,84	9 577,95	5,49 %

Vertailussa on käytetty purkuajan ylityksen kustannuksena 60 EUR/h ja siinä on huomioitu myös asennusnopeuden vaikutuksen tuoma kokonaiskustannussäästö. Havaitaan, että jo 21-22 elementin työvuorovauhdin tuomat säästöt voivat elementtimääristä riippuen olla 2-5 %. Asennusnopeuteen voidaan vaikuttaa paljon asennusvaiheen valmisteluilla, joka tarkoittaa mittaamisen suorittamista, saumamassan levitystä, villan asennusta ja tarvittaessa jopa elementin vinotukien alapään kiinnitystä etukäteen. Tällöin elementin asennukseen tarvitaan paikoilleen nostaminen, hienosäätö ja vinotuen yläpään kiinnitys. Sujuvan ja häiriöttömän asennuksen suorittamiseksi myös elementin laadun on oltava virheetön.



Kuva 3. Elementin asennuksen valmistelut käynnissä. [Pauli Saastamoinen.]

Elementin asennuksen valmistelut ovat käynnissä yllä olevassa kuvassa. Villa on asennettu ja vinotukien alapää on valmiiksi kiinnitetty. Työkalutkin on asetettu siististi riivin odottamaan käyttöä.

5.3.4 Yhteisvaikutukset

Purkuajan ylityksen hinnoittelun ja asennusnopeuden yhteisvaikutukset toimitusketjun kokonaiskustannuksiin voivat olla vieläkin suuremmat. Alla olevassa taulukossa on esitetty yhteenvetona näiden kahden asian vaikutukset koko ketjun kustannuksiin.

Taulukko 4. Asennusnopeuden ja purkuajan yhteisvaikutukset toimitusketjun kustannuksissa.

Purkuajan kustannus	Työsaavutus	Kustannukset (EUR)	Purkuajan osuus (EUR)	Kustannussäästö (EUR)	Kustannussäästö (%)
70 EUR/h	17-18 kpl/tv	193 619,66	32 288,70	-3 930,86	-2,07 %
	21-22 kpl/tv	178 987,20	24 234,50	1 314,04	0,73 %
	25-26 kpl/tv	167 651,07	19 652,30	6 878,58	3,94 %
60 EUR/h	17-18 kpl/tv	194 006,99	27 676,03	-3 669,59	-1,93 %
	21-22 kpl/tv	175 525,13	20 773,43	4 667,81	2,59 %
	25-26 kpl/tv	164 843,60	16 884,84	9 577,95	5,49 %
50 EUR/h	17-18 kpl/tv	189 394,32	23 063,36	294,48	0,16 %
	21-22 kpl/tv	173 063,06	17 310,36	8 021,78	4,45 %
	25-26 kpl/tv	162 036,13	14 037,36	12 277,32	7,04 %
40 EUR/h	17-18 kpl/tv	184 781,64	18 450,69	4 907,16	2,59 %
	21-22 kpl/tv	168 600,99	13 848,29	11 375,75	6,32 %
	25-26 kpl/tv	159 228,66	11 229,89	14 976,69	8,60 %
0 EUR/h	17-18 kpl/tv	166 330,96	0	23 357,84	12,31 %
	21-22 kpl/tv	154 752,70	0	24 891,64	13,86 %
	25-26 kpl/tv	147 998,77	0	25 774,18	14,83 %

Huomataan, että säästöt suurenevät asennuksen nopeutuessa ja ylimenevän purkuajan kustannuksen pienentyessä. Saadut tulokset on laskettu käyttäen elementtikuorman keskiarvoa 8 elementti/kuorma. Toisin sanoen yli menevän purkuajan kustannus on jokaisessa kuormassa sama. Tosiasiassa kuormakoot voivat vaihdella suurestikin, joten yksittäisen kuorman purkamisesta ei välttämättä aiheudu aina kustannuksia lainkaan. Ylimenevän purkuajan hinnoittelu perustuu tuntiveloitukseen, eikä siinä huomioida elementtimääriä ollenkaan. Jotta suoraan auton kyydistä asentamisesta ei tulisi purkuajan ylittäviä kustannuksia, kuormakoon tulisi olla niin pieni, että käytännössä elementtitehtaat ovat tehneet asiasta mahdollottoman. Purkuajan hinnoittelu voitaisiin sitoa kyydissä olevien elementtien määrään, jotta suoraan kyydistä asentamista voitaisiin, kustannusten näkökulmasta, edes harkita.

6 Elementtien toimitusketjun hallinta ja kehittäminen

Elementtien toimitusketjun hallinnannalla tarkoitetaan kaikkien ketjuun liittyvien organisaatioiden välisten materiaali-, raha- ja informaatiovirtojen hallintaa. Toimitusketjun

kehittämisen lähtökohtana on organisaatioiden välisen yhteistyön sujuvuuden kehittäminen ja tavoitteena tehokkuuden parantaminen, jonka saavuttamiseksi on kehitettävä yhtenäisiä tapoja ja pyrittävä virheettömyyteen ketjun jokaisessa lenkissä.

Toimitusketjun tehostamisen työkaluksi kehitetyn Lean-ajattelun peruseriaatteena on tunnistaa ja poistaa ketjussa esiintyvä hukka. Hukan ja sitä aiheuttavien häiriöiden poistamiseen vaaditaan jokaisen osapuolen sitoutumista ja halua parantaa kokonaisuutta. Yhteistoiminnan kehittäminen tarkoittaa osatimoinnin sijaan koko toimitusketjun tuntemusta ja kykyä hahmottaa kokonaisuuden kannalta tärkeimmät asiat.

Lean-ajattelun periaatteiden saavuttamisen kannalta olennaisimmat asiat ovat yhteistoiminnan kehittäminen ja kumppanuussuhteiden luominen, häiriöketjun hallinta, päätökset hankinnoissa sekä sujuva ja läpinäkyvä informaatiovirta kaikkien osapuolten välillä. Leaniin liittyy olennaisesti myös itse työmaalla tapahtuva materiaalihallinta ja itsensä jatkuva kehittäminen sekä pyrkimys täydellisyyteen. Tässä osassa käydään näiden asioiden erityispiirteet ja niiden kannalta olennaisimmat toimintatavat ja kehitysehdotukset.

6.1 Lean-ajattelun haasteet ja mahdollisuudet

Lean-ajattelun kokonaisvaltainen hyödyntäminen rakennusteollisuudessa vaatii yhteistoiminnan kehittämistä ja pitkäaikaisten kumppanuussuhteiden luomista. Kun kaikki rakennushankkeeseen osallistuvat toimisivat yhteisen edun mukaisesti, toiminnan tehostaminen on mahdollista. Rakennustuotannon projektiluonteisuuden takia pitkäaikaisten kumppanuussuhteiden luominen on kuitenkin haasteellista. Hintakilpailuttamisen perinne johtaa materiaalityöimittäjien vaihtumiseen usein, jolloin yhteistyön jatkuvan kehittämisen mahdollisuudet pienenevät.

6.2 Häiriöketjun hallinta

Häiriöketjun hallinnalla tarkoitetaan ketjun hukkaa aiheuttavien häiriöiden tunnistamista ja niiden ennaltaehkäisyä. Häiriön ja hukan aiheuttaja voi olla viallisessa prosessissa, huonossa suunnittelussa tai työntekijän virheessä. Hyvin usein häiriön aiheuttama hait-

ta moninkertaistuu informaation sujumattomuuden takia. Häiriöttömän ketjun kannalta on tärkeää tutkia koko ketjua, jotta ymmärretään häiriön seuraukset paremmin.

6.2.1 Häiriön analysointi

Häiriön esiinnyttyä tulee sen lähde selvittää tarkasti. Pienetkin häiriöt on selvitettävä, jotta vältetään suuremmilta häiriöiltä myöhemmässä vaiheessa. Esimerkiksi elementtien laatuvirheet jää usein kirjaamatta ja laatupuutteita korjataan sitä mukaan kun niitä esiintyy. Esimerkiksi kohdassa 4.3 esitettyihin elementtien laatupuutteisiin ei yleensä puututa ja elementtiasentaja korjaa virheen saman tien ketjun sujuvan jatkumisen takia. Tämä johtuu myös siitä, ettei pienen häiriön aiheuttamia seurauksia koko toimitusketjun kannalta osata hahmottaa.

Häiriön havaitsemisen jälkeen sen alkuperä voidaan selvittää esimerkiksi Lean-ajattelun mukaisesti käyttäen Toyotan kehittämää viisi miksi -analyysia. Tällä tarkoitetaan, että kysytään tarpeeksi monta kertaa miksi häiriö tapahtui. Syy jäljitetään niin pitkälle, että vastaaviin ongelmiin voidaan tulevaisuudessa varautua.

Esimerkiksi: Elementtikuorman odotuksesta muodostuu liikaa kustannuksia.

- Miksi? Asennusnopeus on hidas.
- Miksi? Elementeissä on laatupuutteita.
- Miksi? Tuotannossa on tullut kiire.
- Miksi? Elementtisuunnitelmat ovat tulleet tehtaalle myöhässä.
- Miksi? Suunnittelutoimistolla on ollut resurssipula.

Analyysin avulla opitaan ymmärtämään ketjun toimintaa ja siinä esiintyvän häiriön merkitystä paremmin. Häiriö voi tietenkin löytyä jo aikaisemmassa vaiheessa ja laatupuutteet elementissä voivat johtua esimerkiksi työntekijöiden virheistä. Kummin tahansa, pieneltä tuntuvan häiriön selvittämisen ansiosta suunnittelutoimistoon voidaan jatkossa lisätä resursseja tai elementtien tuotantolaitoksen työntekijät opastaa työhönsä paremmin, jolloin vältetään ylimääräisiltä kustannuksilta toimitusketjun loppupäässä.

6.2.2 Häiriöketjun ennaltaehkäisy

Häiriöketjun ennaltaehkäisyn kannalta nopealla ja rehellisellä tiedonvaihdoilla on suuri merkitys ja se on välttämätöntä häiriöiden vaikutusten ja sitä kautta kustannusten minimoimiseksi. Työmaalla voi olla ongelmia, ettei elementtitoimitusta pystytä ottamaan vastaan, elementtitehtaan resurssipula voi aiheuttaa viivettä tuotannossa tai suunnittelu ei ole edennyt ajallaan. Hyvissä ajoin asiasta informoimalla häiriön aiheuttama hukka voidaan minimoida tai estää kokonaan.

Häiriöanalyysin raportointi on syytä tehdä huolella ja riittävän tarkasti. Häiriön syyt ja niiden estämiseksi tehdyt ratkaisuehdotukset on otettava esiin työmaakokouksissa, jolloin niihin voidaan reagoida nopeasti. Samalla saadaan useamman osapuolen näkökulma häiriöiden syystä ja niiden minimoimiseksi tehtävistä toimenpiteistä. Sama koskee häiriön syyksi osoittautuneen tahon reklamointia. Hyvin tehdyn reklamaation raporttia voidaan käyttää hyödyksi jatkossa, kun pystytään tarkistamaan missä on tehty virheitä aikaisemmin ja sitä kautta estämään häiriöiden syntyminen jatkossa.

Häiriöiden syntymiseen voidaan varautua myös valitsemalla aliurakoitsijat ja materiaalin toimittajat tarkasti. Aikaisemmat kokemukset ja tehdyt häiriöiden raportoinnit auttavat valinnassa. Saman virheen useasti toistanut urakoitsija tekee virheen luultavasti myös tulevaisuudessa ja näihin kannattaa suhtautua varauksella. Ennen toimittajan valintaa on hyvä käydä läpi vaaditut laatukriteerit ja mahdollisesti suorittaa laatukatselmuksia valmistajan tehtaalla. Elementtitoimittajaa valittaessa on syytä varmistaa tehtaan tuotantokapasiteetin riittävyys.

Jos suunnittelijan valintaan on mahdollista vaikuttaa, kannattaa myös se tehdä harkiten. Samoin kuin elementtitoimittajan, myös suunnittelun resurssien riittävyys ja vastuunjako on syytä varmistaa. Suunnitelmien puutteet häiriöketjun laukaisija voivat joutua resurssipulasta tai puutteellisesta vastuunjaosta. Esimerkiksi lomalla olevalle suunnittelijalle on asetettava sijainen, jotta suunnitelmien puutteet voidaan raportoida, ja niihin voidaan reagoida viipymättä. Työmaaorganisaation on hyvä pitää suunnitelma-katselmuksia, jotta mahdolliset puutteet ja ongelmat saadaan selvitettyä ennen kuin työvaihe alkaa ja häiriöketju ehtii laueta.

6.2.3 Last Planner -menetelmä

Rakentamisessa on paljon erävarmuustekijöitä ja riskit häiriöiden syntyyn suurenevat, jos työnvaiheen etenemistä ei suunnitella huolella. Puutteellinen suunnittelu pakottaa työmaat ns. "make-do"-ilmiöön eli yritetään viedä työvaihe läpi käytettävissä olevilla resursseilla. Tehtävät aloitetaan ilman, että niiden tarvitsemia aloitusedellytyksiä on varmistettu.

Last Planner on tuotannonohjausmenetelmä, jonka tavoitteena on varmistaa edellytykset häiriöttömälle asennustyölle. Se keskittyy työvaiheen huolelliseen suunnitteluun ja pyrkii siihen, että kaikki seuraavan työvaiheen edellyttämät toimenpiteet on tehty. Näin minimoidaan toimitusketjun häiriöt ja tehostetaan toimitusketjua. Perinteisesti työnjohdon suunnittelu perustuu siihen, että oletetaan kaikkien suunniteltujen työvaiheiden valmistuvan oikein ja ajallaan. Last Planner -menetelmän perusideana on ottaa urakoitsijat mukaan työvaiheen suunnitteluun, jolloin heidät voidaan sitouttaa noudattamaan aikataulua. Suunnitelma toimii ikään kuin sitoumusten verkostona, jossa urakoitsijat sitoutuvat tekemään osansa niin, että työvaiheen seuraava urakoitsija voi suorittaa oman osuuteen sitoumuksen mukaisesti.

6.3 Välivarastoinnin optimointi ja elementtitoimitusten hallinta

Elementtien välivarastointia tulee lähestyä lopettamisen sijaan optimoinnin näkökulmasta. Kaikkien elementtien asentaminen suoraan auton kyydistä ei ole kannattavaa, mahdollista eikä kustannustehokasta. Optimoinnilla tarkoitetaan tässä tapauksessa parasta toimintatapaa toimitusketjun kokonaisuuden kannalta. Yksiselitteisesti parasta tapaa on vaikea määrittellä, sillä jokaisella työmaalla on omat erityispiirteensä. Tästä syystä optimointi tulee tehdä jokaiselle työmaalle erikseen. Lähtökohtaisesti kustannuksiin ja aikaan vaikuttavat eniten ulko- ja väliseinäelementit, joiden määrä on suurin. Valtavasti varastointitilaa tarvitsevien elementtien suoraan kuormasta asentamista kannattaa harkita, jos se runkovaiheen puolesta on mahdollista. Esimerkiksi porruselementit tulevat usein samalta tehtaalta ja kuormakoko on pieni. Tästä syystä niiden asentaminen suoraan autosta on mahdollista ilman, että kuorman seisottamisesta aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia. Porruselementtien tapaan, myös parvekelaatat tulevat samalta tehtaalta ja kuormakoot ovat pieniä. Valtavan varastointitilan vuoksi elementtejä ei koskaan oteta työmaalle enempää kuin yhden kerroksen verran, joten niiden asentaminen suoraan paikoilleen on täysin mahdollista. Aina pienet kuormakoot

eivät kuitenkaan tarkoita, että elementtien asentaminen suoraan autosta olisi kannattavaa. Esimerkiksi suurien kellarikerroksen seinäelementtien kuormakoot ovat yleensä pieniä, muutaman elementin suuruisia, mutta niiden asentamiseen saattaa kuluu normaalia enemmän aikaa. Samalla niiden vähäisen määrän takia aika- ja kustannussäästöt ovat vähäisiä.

Yhteenvetona:

- Kustannuksiin vaikutetaan eniten elementeillä, joiden määrä on suuri. Näitä ovat esimerkiksi ulko- ja väliseinäelementit.
- Paljon tilaa vievät laatat, kuten porrastaso- ja parvekelaatat kannattaa pyrkiä asentamaan suoraan autosta. Kustannussäästön sijaan säästytään mahdollisesti ylimääräiseltä varastointitilan järjestämiseltä.
- Suurien kellarielementtien asentaminen tulee suunnitella kohdekohtaisesti, sillä pienin kuormakoon sijaan asennukseen kuluva aika on suuri ja kustannus- sekä aikasäästöt pieniä.

Ulko- ja väliseinäelementtien kohdalla on huomioitava elementtikaupassa tehty sopimus. Nykyisillä sopimuksilla, purkuajoilla ja purkuajan kustannuksilla ei suoraan kyydistä asentaminen ole kannattavaa, koska yli menevän purkuajan kustannukset ovat suuremmat kuin saavutettava säästö. Myös elementtien toimitustenohjaus on erittäin tärkeässä osassa. Suoraan kuormasta asentaminen vaatii joustavia sopimuksia, työnjohdon riittävää ammattitaitoa kuljetusten organisointiin ja käytännön toteutuksen suunnitteluun sekä JIT & JOT -ajatteluun perustuvaa toimitusten ohjausta, jonka toteutuksesta ja ongelmista lisää luvussa 6.5.

6.4 Suunnittelu hankintavaiheessa

Tehokkaiden toimitusten varmistamiseksi logistiikan näkökohdat on hyvä sopia jo hankintavaiheessa materiaalitoimittajan kanssa. Hankintaosaston tulee olla selvillä työmaan toimintatavasta ja logistiikan lähtökohdista. Hankinnan tulee tietää elementeistä, jotka aiotaan asentaa suoraan kuormasta, jolloin voidaan neuvotella ja sopia esimerkiksi elementtikuorman purkuajasta ja hinnasta. Samalla suljetaan pois halpa ostohinta,

jossa ei välttämättä ole huomioitu kaikkia toimituksesta syntyviä kustannuksia ja joiden vaikutus toimitusketjun kokonaiskustannuksiin saattaa olla suuri. Häiriöherkälle tontille rakennettaessa ja suoraan kuormasta asennettaessa on hyvä sopia myös viivästyssakon suuruudesta. Toimittajasta johtuvan häiriön syntyessä kustannuksia voitaisiin kohdistaa enemmän toimittajalle.

Logistiikan lähtökohdat on tiedettävä myös elementtien asennusta hankittaessa, sillä välivarastoinnin vaikutukset on otettava huomioon asennuksen urakkahinnassa. Välivarastoimattomuus jättää asennuksesta yhden hidastavan työvaiheen pois, jonka osuus urakkahinnasta on 15-20 %. Hankintaosaston on hyvä olla tietoinen välivarastoitavista elementeistä jo tarjouspyyntövaiheessa, mutta viimeistään urakkaneuvottelussa kun sopimus allekirjoitetaan.

Ahtaalle ja häiriöherkälle tontille rakennettaessa on hyvä suosia jo entuudestaan varmoiksi havaittuja elementtitoimittajia ja asentajia. Tällöin ketjun osapuolet tuntevat toistensa toimintatavat, joka lisää sujuvuutta ja minimoi riskejä. Hankinnan kannalta myös sopimuksen yksityiskohdista neuvottelemisen tuttujen toimijoiden kanssa saattaa olla helpompaa.

Toimitusten tehokkaassa ohjauksessa logistiikan ja materiaalitöimitysten näkökohdat viedään materiaali- ja aliurakkasopimukseen. Hankintavaiheessa sopimukseen kirjataan alustavasti toimitusaikataulu ja sen tarkentamisajankohta ja tärkeimmät asiat liittyen toimituseriin. Sopimukseen kirjataan tämän lisäksi myös kuljetus- ja purkukalustoon liittyvät asiat. Sopimuksen syntymisen jälkeen hankintaosasto toimittaa tilauksen ja sopimusten tiedot työmaalla, varsinaisesta operatiivisesta toiminnasta vastaavalle työnjohtajalle, joka suunnittelee käytännön toteutuksen sopimuksen mukaisissa raameissa.

6.5 Toteutus rakentamisvaiheessa

Tehokkaan toimitusketjun kannalta rakentamisvaiheessa on tärkeää varmistaa toimitukset riittävän ajoissa. Näin vältetään tyypillinen häiriön aiheuttaja ja hukkaa aiheuttava tekijä, eli se ettei tuotetta pystytä toimittamaan tiettyä ajankohtana. Sopimukseen kirjataan usein kuinka monta päivää aikaisemmin tuotteen toimittaminen tulee varmistaa. Toimituksen varmistamisen tarkoituksena on yhtä lailla varmistaa, ettei tuote tule työmaalle myöskään liian aikaisin.

Toisin sanoen varmistamisen tavoitteena on Lean-ajattelulle tyypillinen imun vaikutuksesta tapahtuva, JIT & JOT -periaatteiden mukainen, toimitus. Kun tuotanto perustuu JIT & JOT -perusteisiin toimituksiin, vältetään turhalta tilaa ja kustannuksia vaativalta varastoinnilta, materiaalin käsittelyltä ja siirroilta. Samalla ylimääräisten toimenpiteiden tuoma riski tuotteen vaurioitumiselle pienenee. JIT & JOT -tuotanto elementtirakentamisessa edellyttää elementtien toimittamista oikeassa järjestyksessä, riittävästi aikaa ja ennen kaikkea joustavuutta kuljetuskustannuksissa. Suurimmat elementtitoimittajat ovat hajauttaneet toimintaansa useammalle tehtaalle, jonka vuoksi kuljetusten järjestäminen halutuun elementtikeruun ja halutussa järjestyksessä luo haasteita. Tämä lisää kuormien määrää ja aiheuttaa kuljetuksia vajain kuormin, joka pienempää kuljetusten kustannustehokkuutta huomattavasti. Jotta JIT & JOT -tuotantoa voitaisiin täysipainoisesti hyödyntää, on kehitettävä elementtitoimittajien, kuljetusyrityksen ja asiakkaan välistä yhteistoimintaa ja luotava pitkäaikaisia kumppanuussuhteita.

Yllä mainittu tuotantotapa vaatii työnjohdolta ammattitaitoa niin työsuunnittelun kuin käytännön toteutuksen organisoinnissa. Elementtien asennusjärjestyksen suunnitteluun tulee varata aikaa, jotta vältetään tilanteilta, ettei elementtiä pystytä asentamaan. Varsinkin monimutkaisissa runkorakenteissa voi olla haastavaa hahmottaa oikeaa asennusjärjestystä. Kun elementtien asennusjärjestys on suunniteltu, työnjohdon tulee suunnitella elementtitoimitukset. Hyvin usein riittää, että työnjohto ilmoittaa toimittajalle halutun järjestyksen, jolloin itse kuormien suunnittelun tekee toimittaja. Elementtikeruun suunnittelu massoihin ja kuljetusmääräyksineen vaatii erikoisosaamisesta ja samalla säästetään työmaan resursseja.

Sujuvien JIT & JOT -toimitusten kannalta työnjohdon on varmistettava edellytykset häiriöttömälle asennukselle. Ennen elementtikeruun saapumista työmaalle on huolehdittava, että kaikki elementtien asentamiseen vaadittavat toimenpiteet on tehty. Näin varmistetaan, että elementti saadaan asennettua paikoilleen ilman odottelua. Toisin sanoen työnjohdon on ennen asennustyön aloitusta suunniteltava elementtien purkupaikka ja varmistettava, että asennuskohde on kunnossa ja tarvittavat resurssit ja työvälineet ovat valmiina.

Samoin kuin koko toimitusketjun ajan, myös rakentamisvaiheessa informaatiovirran on kuljettava viipymättä osapuolelta toiselle. Rakentamisvaiheessa, onnistuneen ja tehokkaan asennuksen kannalta, tärkein informaatio virtaa elementtien toimittajan, työmaan ja kuljetuksesta vastaavan yrityksen välillä. Työnjohdon on tehtävä elementtien kotiin-

kutsut sopimuksessa sovitun ajan puitteissa ja informoitava toimittajaa häiriöiden johdosta tulleista aikataulu- ja asennusjärjestysmuutoksista. Samoin elementtitoimittajan on ilmoitettava tuotannossa tapahtuneista viivästyksistä. Usein elementtien kuljetuksesta vastaava on yritys välikätenä, mutta JIT & JOT -perusteisten toimitusten sujuvuuden kannalta myös kuljetusliikkeen merkitys on suuri. Toimittajan on hyvä antaa työmaan työnjohdosta vastaavan henkilön yhteystiedot kuljettajalle sekä kustakin kuljetuksesta vastaavan kuljettajan yhteystiedot työmaalle. Näin voidaan informoida kuljetuksessa tapahtuneista viivästyksistä työmaata. Myös elementtien asennuksesta vastaavan ryhmän ja työnjohdon välinen informaationkulku on tärkeää. Asennusryhmän on informoitava välittömästi työnjohtoa, jos elementtiä ei voida asentaa tai elementissä on laatupuutteita, vaikka se ei haittaisi varsinaista asennustyötä.

7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä insinööriyössä lähdettiin etsimään keinoja runkotyövaiheen tehostamiseen. Työ rajattiin käsittelemään betonielementtirakenteista runkoa, jolloin tarkasteltavaksi asiaksi otettiin elementtien toimitusketju, joka kattaa kaikki toiminnot elementtien suunnittelusta asennukseen saakka. Toimitusketjun tehostamista lähdettiin tarkastelemaan Lean-ajattelun kautta, jonka pääasiallinen tarkoitus on tunnistaa toimitusketjun hukkaa tuottavat toiminnot, eli toiminnot jotka eivät tuota lopputuloksen kannalta lisäarvoa. Hukan tunnistamisella ja minimoinnilla saavutetaan, toimitusketjun tehostamisen kannalta oleellisia, aika- ja kustannussäästöjä.

Lähempään tarkasteluun otettiin paljon hukkaa sisältävä, jo itsessään hukaksi luokiteltava, elementtien välivarastointi. Välivarastointi aiheuttaa ylimääräistä työtä, vie paljon aikaa ja aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia. Työssä laskettiin välivarastoinnin aiheuttaman hukan kustannus- ja aikavaikutuksia koko toimitusketjussa ja pohdittiin välivarastoinnin optimoinnin kannalta tärkeitä asioita ja niistä aiheutuvia ongelmia. Välivarastoinnin optimointi vaatii myös JIT & JOT -toimintaan perustuvaa toimitusten ohjausta, jonka onnistumisen kannalta häiriötön ja katkeamaton toimitusketju on kaiken perusta. Työssä tutkittiin lisäksi toimitusketjun eri vaiheissa tapahtuvien häiriöketjujen laukaisijoita ja pohdittiin häiriöiden ennaltaehkäisyn parantamiseksi vaadittavia toimenpiteitä. Työn tuloksena syntyi raportti, joka antaa näkökulmia ja työkaluja elementtien toimitusketjun suunnitteluun ja tehostamiseen.

Runkovaiheessa esiintyy erittäin paljon hukkaa, joka syntyy toimitusketjussa tapahtuneista häiriöistä. Häiriö voi tapahtua missä tahansa ketjun vaiheessa ja sen merkitys korostuu katkonaisen tai puutteellisen informaation takia. Häiriön sattuessa, sen analysointi, raportointi ja mahdollinen reklamointi on syytä tehdä huolella. Ennaltaehkäisyn kannalta nopea ja rehellinen informoiminen on tärkeää.

Elementtien välivarastoinnin optimoinnilla on mahdollista poistaa välivarastoinnista aiheutuvaa hukkaa ja näin pienentää toimitusketjun kustannuksia ja lyhentää runkovaiheen kestoa. Välivarastoinnin optimointi on tehtävä jokaiselle työmaalle erikseen, sillä jokaisessa rungossa on omat erityispiirteensä. Teoriassa suurimmat kustannussäästöt saadaan, kun asennetaan sellaiset elementit suoraan kyydistä, joiden määrä on suurin. Ahtaan tontin tuoman varastointitilan puutteen vuoksi myös parvekelaatat ja portaat kannattaa asentaa suoraan kyydistä. Välivarastoinnin optimointi vaatii systemaattista JIT & JOT -menetelmään perustuvaa toimitustenohjausta, mutta runkovaiheen häiriöherkkyyks luo sille paljon riskejä. Suurimmat ongelmat liittyvät kuljetusten organisointiin, sillä menetelmän vuoksi kuljetuksia joudutaan järjestämään vajain kuormin.

Lean -ajattelutavan kautta lähestymisellä on mahdollista hallita toimitusketjun häiriöitä paremmin ja sitä kautta tehostaa ketjua ja saada aikaan kustannus- ja aikasäästöjä. Käytännössä tämä tapahtuu häiriöiden ja niistä aiheutuvan hukan tunnistamisella ja ennaltaehkäisyllä. Häiriöketjun analysointiin sekä häiriöketjun ennaltaehkäisyyn on kehitetty muun muassa Viisi miksi -analyysi sekä Last Planner -menetelmä toimitusketjussa tapahtuvan asennustyön suunnitteluun. Toimitusketjun tehokkuuden parantaminen vaatii informaatiovirran lisäämistä ja parempaa suunnitteluvaiheen ohjausta.

Välivarastoinnin optimoinnin kannalta, suoraan kuormasta asentaminen, ei nykyisellä purkuajan hinnoittelulla saavuteta juurikaan kustannussäästöjä. Elementtien määrästä riippuen sen ajallinenkaan hyöty ei ole kovin mittava. Toimitusketjun tehostaminen, jatkuva kehittäminen ja uusien toimintatapojen luominen on pitkällä tähtäimellä aina kannattavaa, mutta välivarastoinnin optimoimisella saavutettavien kustannussäästöjen realisoiminen vaatii muutosta jokaiselta ketjun osapuolelta. Rakennusalalla on totuttu, että jokainen toimija optimoi vain omaa toimintaansa, vaikka toimitusketjun tehokkuuden parantaminen vaatii osatimoinnin sijaan koko ketjun tarkastelua. Tämä tarkoittaa verkottumista, yhteistyön kehittämistä ja jokaisen osapuolen luottamusta.

Elementtien kuljetusten organisoimien ja kuljetusten kustannustehokkuuden ongelmiin tämä insinööriö ei anna materiaalia. Työssä käsiteltiin teoriatasolla vain kuljetukseen liittyvän purkuajanhinnoittelun vaikutusta kokonaiskustannuksiin. JIT & JOT -toimitusten kannalta kuljetuksista on saatava joustavampia ja kustannuksiltaan pienempiä. Nykyisellään purkuajan kustannuksissa ei oteta huomioon kyydissä olevien elementtien määrää tai niiden asennusaikaa.

Tämä työn kustannusvertailu perustuu täysin Ratu-kortiston mukaisiin menekkitietoihin, joten simuloinnilla tai pilotoinnilla saataneen tarkempia tuloksia elementtien asennusajasta, ja sitä kautta kustannuksista.

Lähteet

- 1 Hokkanen, Simo - Karhunen, Jouni - Luukkainen, Martti. *Johdatus logistiseen ajatteluun*. Jyväskylä. Sho Business Development Oy. 2010.
- 2 Karrus, Kaij E. *Logistiikka*. Helsinki. WSOY. 2005.
- 3 Sakki, Jouni. *Tilaus-toimitusketjun hallinta - B2B - Vähemmällä enemmän*. Helsinki. Jouni Sakki Oy. 2009.
- 4 Koski, Hannu. *Talonrakentamisen työmaatekniikka*. Tampere. Tampereen Teknillinen Korkeakoulu. 1992.
- 5 Ratu S-1227. *Työmaan toimitusten suunnittelu ja ohjaus*. Syyskuu 2010.
- 6 Rakennusteollisuus RT - KETJU-hankkeen yhteenveto. *Toimitusketjun hallinta talonrakentamisessa*. [PDF-dokumentti]. 25.11.2009 [viitattu 14.12.2013]. <<http://www.rakennusteollisuus.fi/download.aspx?intFileID=1630&intLinkedFromObjectID=11392>>.
- 7 Sundström, Kaj - Kallionpää, Erika - Teriö, Olli - Tolonen, Teuvo - Väisälä, Pekka [TTY]. *Rakennustyömaan toimitusten ohjaus ja materiaalihallinta* [PDF-dokumentti]. 12.3.2008 [viitattu 14.12.2013]. <<http://www.rakennusteollisuus.fi/download.aspx?intFileID=741&intLinkedFromObjectID=11392>>.
- 8 Palolahti, Tuomas - Sahlstedt, Satu [Mittaviiva Oy] - Riihimäki, Markku - Koski, Hannu [VTT]. *Rakennustyömaan toimitusten ohjaus* [PDF-dokumentti]. [viitattu 14.12.2013]. <<http://www.rakennusteollisuus.fi/download.aspx?intFileID=1629&intLinkedFromObjectID=11392>>.
- 9 Lean Enterprise Research Centre. *What is lean thinking?* [Verkkodokumentti]. 2007. [Luettu 17.12.2013]. <<http://www.leanenterprise.org.uk/what-is-lean-thinking/what-is-lean-thinking-and-key-lean-thinking-principles.html>>.
- 10 Vakeva Oy. *Lean Construction - helpommin sanottu kuin tehty*. [PDF-dokumentti]. Huhtikuu 2009. [viitattu 19.12.2013]. <<http://www.vakeva.fi/liitteet/tiennayttaja.pdf>>.
- 11 Rakennusteollisuus RT Ry. *Toimitusehdot*. [Verkkodokumentti]. [Luettu 20.12.2013]. <<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/elementtien-toimitus/toimitusehdot>>.

- 12 Rakennusteollisuus RT Ry. *Tuoteosakauppa*. [Verkkodokumentti]. [Luettu 8.1.2014]. <<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/suunnitteluprosessi/tuoteosakauppa>>.
- 13 Rakennusteollisuus RT Ry. *Suunnittelun ohjaus*. [Verkkodokumentti]. [Luettu 8.1.2014]. <<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/suunnitteluprosessi/suunnittelun-ohjaus>>.
- 14 Rakennusteollisuus RT Ry. *Toimitusten ohjaus*. [Verkkodokumentti]. [Luettu 20.12.2013]. <<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/elementtien-toimitus/toimitusten-ohjaus>>.
- 15 Metsäranta, Olli. *Elementtisuunnittelun ohjaus*. [Luentomoniste]. Helsinki. Metropolia AMK. 2013.
- 16 Lean-ajattelu. [Verkkodokumentti]. 20.10.2013. [Luettu 17.12.2013]. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Lean>>.
- 17 Just-In-Time. [Verkkodokumentti]. 29.3.2013. [Luettu 18.12.2013]. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Just-In-Time>>.
- 18 Saarinen, Heikki, Hankintainsinööri, NCC Rakennus Oy. Helsinki. Sähköpostihaastattelu. 10.10.2013.
- 19 Salorinta, Jyrki, Myyntipäällikkö, Parma Oy. Forssa. Sähköpostihaastattelu. 12.2.2014.

Menekkitiedot

- 20 Ratu 0389. *Ontelo- ja TT-laattaelementtityö. Maaliskuu 2012.*
- 21 Ratu 0391. *Pilari- ja palkkielementtityö. Maaliskuu 2012.*
- 22 Ratu 0392. *Väli- ja ulkoseinäelementtityö. Maaliskuu 2012.*
- 23 Ratu 0393. *Kuilu- ja porraselementtityö. Maaliskuu 2012.*
- 24 Ratu 0394. *Parveke-elementtityö. Maaliskuu 2012.*
- 25 Ratu 0395. *Perustuselementtityö. Maaliskuu 2012.*

Välivarastoinnin kustannusten laskenta-työkalu

Välivarastoinnin kustannusvaikutukset

Laatija: Pauli Saastamoinen
29.1.2014

Elementit ja menokit	Elementin tunnus	Määrä/kpl	Asennus T3 (tth/kpl)	Asennus yht. T4 (tth)	Varastointi (tth/kpl)	Varastointi yht. T4 (tth)	Välivarastointi	Elementin keskim. paino (tn)	Kuormakoko keskim. (kpl)	Kuormia yht. (kpl)	Kuorman purkuaika (h)	Yli menevä aika kuorma (h)	Yli menevä aika yht. (h)	Aika koko ketjussa (h)	Vain asemeni! (Mittaukset, luotokset yms. eivät aiheuta odotusta autolle)		Riippuu onko välivarastointia
															0	0	
Antura- ja hokkielelementti	A	0	0,80	0,00	0,10	0,00	0										
Sokkielelementti	AN, AS, AK	0	1,00	0,00	0,15	0,00	0		20,00	44,10	0,00	0,00	0,00	88,20			
Ontelolaatta	O, YO	882	0,25	264,60	0,00	0,00	0										
TT-laatta	TT	0	0,45	0,00	0,00	0,00	0										
Pilari, hitsausliitos	P	0	1,40	0,00	0,15	0,00	0										
Pilari, puittiliitos	P	118	0,65	92,04	0,15	21,24	0		10,00	11,80	0,90	0,00	0,00	41,30			
Palkki	K, I, HI, JK	22	0,65	17,16	0,15	3,96	0		8,00	2,75	0,72	0,00	0,00	7,70			
Ulkoseinä	S, SK, KE	628	1,35	1017,96	0,20	150,72	0		8,00	78,50	4,32	3,32	260,62	339,12			
Väliseinä	V	463	1,40	777,84	0,20	111,12	0		7,00	66,14	3,92	2,92	199,14	259,28			
Kuulion pletilelementti	HK	0	1,50	0,00	0,20	0,00	0										
Porrastelementti	T	47	1,35	76,14	0,20	11,28	0		6,00	7,83	0,72	0,00	0,00	31,02			
Porrastasoilaatta	L	74	0,55	48,84	0,20	17,76	0		6,00	12,33	0,72	0,00	0,00	23,16			
Parvekelelementti	CL	103	1,00	123,60	0,20	24,72	0		6,00	17,17	0,72	0,00	0,00	53,56			
Parvekepilelementti	M	0	1,50	0,00	0,20	0,00	0		8,00	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00			
Hornilelementti	H	188	0,90	203,04	0,20	45,12	0		16,00	11,75	1,92	0,92	10,81	90,24			
Tiidelementti	X	0	1,00	0,00	0,20	0,00	0										
Yhteensä:		2525		2620,62		124,08	0			252,38	14,90	7,16	464,57	935,58			

Lähtötiedot	
Aseennusryhmän vähyyys	3 asentajaa
Välivarastoinnissa	2 asentajaa
Aseennuksen urakkahinta	38,00 EUR/elem.
Elementtipukien määrä	3 kpl
Elementtipukien vuokra	420,00 EUR/kpl
Muu kalusto (tuet yms)	3000,00 EUR/kk
Nosturin vuokra	8500,00 EUR/kk
Nosturikuskin palkka	35,00 EUR/h
Ilmainen purkuaika	1,00 h
Purkuaian kustannukset	60,00 EUR/h

Kustannukset	
Elementtipukien vuokra yht.	4911,80 EUR
Muun kaluston vuokra	11694,75 EUR
Nosturin vuokra yht.	33135,13 EUR
Nosturikuskin palkka yht.	32745,30 EUR
Purkuaian kustannukset	27874,03 EUR
Aseennuksen kustannukset	84171,50 EUR
Yhteensä:	194552,50 EUR
Uusi urakkahinta	33,34 EUR/elem.

Urakkahinnan pienemys 12,28 %