



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JUHO TILLI  
JIT-TOIMINTAPERIAATTEIDEN SOVELTAMINEN RAKENNUS-  
TYÖMAAN LOGISTIIKKAAN LINJASANEERAUSHANKKEESSA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Arto Saari  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty Talou-  
den ja rakentamisen tiedekuntaneu-  
voston kokouksessa 30. tammikuuta  
2017

## TIIVISTELMÄ

**JUHO TILLI:** JIT-periaatteiden soveltaminen rakennustyömaan logistiikkaan linjasaneeraushankkeessa

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 61 sivua, 3 liitesivua

Huhtikuu 2017

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennustuotanto ja -talous

Tarkastaja: professori Arto Saari

Avainsanat: rakentaminen, logistiikka, materiaalinhallinta, toimitusketjunhallinta, varastot, varastonhallinta JIT, just-in-time, MRP

Rakennustuotantoa leimaavat suuret työmaakohtaiset erot tehdä asioita. Horisontaalinen integraatio on haastavaa ja vakioinnin puutteessa tulokset vaihtelevat. Logistiikan järjestäminen ei ole poikkeus ja työmaiden tehokkaammat logistiset toimintatavat ovat yksi tärkeä alue monien joukossa, jotta tuotanto olisi tehokkaampaa ja ennustettavampaa. Tutkimuksen tavoitteena oli vastata kysymykseen, miten logistiikkaa pitäisi hallita, jotta oikea määrä oikeita materiaaleja olisi oikeassa paikassa oikeaan aikaan.

Tutkimusstrategiaksi valittiin tapaustutkimus, jossa yhdisteltiin kolmea eri menetelmää tavoitteen saavuttamiseksi. Tapauskohteen suunnitteluvaiheessa käytettiin osallistuvaa havainnointia. Suunnittelu tehtiin yhteistyössä työnjohdon kanssa ja tehdyt ratkaisut kirjattiin ylös. Teemahaastatteluja käytettiin sekä tapauskohteen suunnitteluratkaisujen aiheuttamien muutosten että nykytilanteen selvittämiseksi. Nykytila selvitettiin, jotta voitiin vertailla tapauskohdetta ja vallitsevia toimintatapoja. Logistiikkaratkaisujen ja työmaan ostokäyttäytymisen välisen yhteyden syventämiseksi tehtiin kvantitatiivinen analyysi. Myös kvantitatiivisen analyysin vertailussa oli tapauskohteen lisäksi seitsemän muuta työmaata, jotka muodostivat nykytilanteen ja mahdollistivat vertailun.

Tulokseksi saatiin joukko testattuja toimintatapoja, joiden avulla voidaan tehostaa logistiikkaa. Oleellisimmat toimintatavat olivat etukäteen hyvin yksityiskohtaisella tasolla suoritettu materiaaliarpeiden määrittely, huoneistokohtainen materiaalien varastointi ja suunnitelmallinen materiaalien siirto purkualueelta asuntoihin. Haastatteluista kootusta palautteesta kävi ilmi, että huoneistokohtainen varastointi vähensi etsimistä ja kulkeamista. Asentajat kokivat, että heillä oli päivässä enemmän aikaa tuottavaan työhön. Kvantitatiivisen analyysin tuloksia ei voi pitää tarkkoina, joskin suuntaa antavina. Tarkemman materiaalihankintojen suunnittelun seurauksena keskimääräinen materiaalitilaus oli suurempi, mutta toimintatapa ei poistanut euromääräisesti pieniä hankintoja, jotka vaikuttivat olevan noutoja. Laskujen määrä suhteutettuna hankkeen kokoon oli lähellä vertailuhankkeiden keskitasoa.

## ABSTRACT

**JUHO TILLI:** Application of JIT principles to construction logistics in the pipe renovation project

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 61 pages, 3 Appendix pages

April 2017

Master's Degree Program in Civil engineering

Major: Construction management and economics

Examiner: Professor Arto Saari

Keywords: construction, logistics, material management, supply chain management, inventory, inventory management, JIT, just-in-time, MRP,

There are big differences how construction sites operate at the site level. Horizontal integration is challenging and lack of standardized functions cause variability. Logistics are not exception. Efficient logistics is one important section among others to increase performance and reliability of production. Object of the research was to answer question, how logistics should be managed so right amount of right material are in the right place at the right time.

Research strategy was case study. Three different method were used to reach the objective. Participative observation was used in the case study planning phase. Logistic planning was done with site manager and chosen principles were documented. To construct the current situation and gather information from the effects of the case site planning solutions, theme interviews were used. The current situation was constructed so the comparison between practices of the case site and base sites could be done. Quantitative analysis was constructed to increase knowledge about the logistic practices and buying behavior. There were seven other sites that were used to construct the comparison data for the case site.

As a result, study found a set of tested solutions to intensify logistics. The most significant principles were planning material need in great detail in the planning phase, material inventory in an apartment and planned transfer from landing space to an apartment. Theme interviews showed that inventory inside an apartment decreased excess moving and time used for searching diminished. Workforce felt they had more time to use for productive work during the day than before. Results from quantitative analysis cannot be held exact but they can be held directive. Great detail in material planning resulted in increased average invoice size but used practices didn't eliminate small purchases that were deduced to be pickups. Number of material invoices in the whole project divided by number of apartment was close to average in the eight site comparison.

## ALKUSANAT

Opinnäytetyö on tehty Tampereen Teknilliselle Yliopistolle yhteistyössä Fira Palveluiden kanssa. Työ on osa RAIN -tutkimushanketta.

Ensimmäisenä haluan kiittää ohjaajaani Harri Heikuraa Fira Palveluilta. Häneltä löytyi aikaa, ideoita ja kannustusta koko yhteisen matkan ajan. Kiitos professori Arto Saari. Hänen määrätietoinen ja rohkaiseva suhtautuminen opinnäytetyöhöni auttoi minua aloittelevaa tutkimustyöntekijää. Kiitos vanhemmat 25 vuoden taustatyöstä. Uskon, että äidin apu koulutien alkutaipaleella näkyy vielä tänäkin päivänä.

Lopuksi toivon, rakas lukija, että opinnäytetyö antaa sinulle yhtä paljon perspektiiviä ja ideoita kuin se antoi minulle.

Helsingissä, 19.04.2017

Juho Tilli

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Tausta .....	1
1.2	Tutkimusongelma ja tavoitteet .....	2
1.3	Tutkimuksen toteutus .....	2
1.4	Rajaukset ja rakenne.....	4
2.	MATERIAALINHALLINTA RAKENNUSHANKKEESSA .....	6
2.1	Rakentamiseen ja materiaalin hallintaan liittyviä haasteita .....	6
2.2	Logistiikan määrittely .....	9
2.2.1	Rakentaminen osana toimitusketjua.....	10
2.3	Tuotannonohjaus ja materiaalinhallinta .....	11
2.4	Puskureiden merkitys rakennustuotannossa.....	12
2.5	Varastointi ja varastojen hallinta.....	14
2.5.1	Varastoinnin kustannukset .....	16
2.5.2	Varastot rakennustyömaalla.....	17
2.5.3	Materiaalivarastojen suunnittelu rakennustyömaalla.....	18
2.6	Materiaalihankintojen jaottelu.....	19
2.6.1	Setitys.....	22
2.6.2	VMI-toimintamalli .....	24
2.6.3	Logistiikkakeskukset ja terminaalitoimitukset.....	24
2.7	Linjasaneeraushankkeen erityispiirteet .....	26
3.	RAKENTAMISEN LOGISTIIKAN KEHITYSMAHDOLLISUUDET .....	28
3.1	Material requirements planning .....	28
3.1.1	MRP soveltaminen rakennustyömaan logistiikkaan.....	29
3.2	Just-In-Time .....	31
3.2.1	JIT:n seitsemän periaatetta.....	31
3.2.2	JIT:n soveltaminen rakentamisen logistiikkaan.....	33
4.	LOGISTIikkAKÄYTÄNNÖT JA NIIDEN VAIKUTUS TYÖMAAHAN .....	36
4.1	Kohdeyrityksen työmaiden nykytila .....	36
4.1.1	Tilaus ja toimitus.....	37
4.1.2	Toimittajat.....	38
4.1.3	Työmaalogistiikka.....	38
4.1.4	Roolit ja vastuut .....	39
4.1.5	Visio tulevaisuudesta .....	40
4.2	Tapauskohteen tiedot.....	40
4.3	Tapauskohteeseen valitut logistiikkaratkaisut.....	40
4.4	Tapauskohteen kokemukset .....	45
4.4.1	Tilaus ja toimitus.....	45
4.4.2	Logistiikka työmaalla.....	46
4.5	Työmaiden ostokäyttäytyminen .....	49
4.6	Tulosten tarkastelu .....	50

5. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	53
5.1 Jatkotutkimusehdotukset.....	54
Vertailutyömaat Työnjohto.....	1
Vertailutyömaat asentajat.....	1
case-työmaa työnjohto.....	1
Case-työmaa asentajat.....	2

## LÄHTEET

LIITE A: Haastattelurunko

LIITE B: Tapaustyömaan aluesuunnitelma

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

CPM	engl. Critical Path Method, projektien aikataulutustapa
ETO	engl. Engineered to order, tilauksesta suunnittelu
FOQ	engl. Fixed order quantity, vakio määrän tilaus
FPO	engl. Fixed period order, vakioaikavälein tilaus
JIT	engl. Just-In-Time, juuri oikeaan aikaan
LFL	engl. Lot-for-Lot, nettokulutusta vastaavan määrän tilaus
LPS	engl. Last Planner system, imuohjaukseen perustuva rakennustöiden aikataulusmenetelmä
MRP	engl. Material requirement planning, tietotekniikkapohjainen materiaaltarpeiden suunnittelutyökalu
MRP II	engl. Manufacturing requirements planning, MRP kehittyneempi versio, joka huomioi resurssit
MTO	engl. Made to order, tilauksesta valmistaminen
MTS	engl. Made to stock, varastoon valmistaminen
POQ	engl. Period order quantity, vakio määrän tilaus vakioaikavälein enustetun kulutuksen mukaan
RFID	Radio Frequency Identification, radiotaajuudella toimiva etätunnistus
TKH	toimitusketjun hallinta, engl. supply chain management
TOC	engl. Theory of constraints, kapeikkoajattelu
TQC	engl. Total quality control, kokonaisvaltainen laadunhallintaprosessi
VMI	engl. Vendor-managed-inventory, toimittajan ylläpitämä varasto

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tausta

Linjasaneeraus, arkikielellä putkiremontti, on monia ihmisiä koskettava asia. Harvoista teollisuudenaloista kirjoitetaan valtakunnan medioissa yhtä paljon kuin rakentamisesta. Viime aikoina putkiremontit ovat olleet yksi vakiopuheenaihe rakentamiseen liittyen. Suomen väestöstä 35,3 % asuu kerrostaloissa (Suomen virallinen tilasto 2014). Se on lähes kaksi miljoonaa ihmistä. Putkiremontti on ajankohtainen useille ihmisille jossain vaiheessa elämää. Putkiremonteilla on todellisuutta huonompi maine. Putkiremonttibarometrin (Isännöintiliitto 2015) mukaan vain yksi neljäsosa taloyhtiöstä, joissa ei ollut toteutettu putkiremonttia, olivat samaa mieltä tai jokseenkin samaa mieltä siitä, että hankkeiden aikataulut ovat pitäviä. Kun samaa asiaa kysyttiin taloyhtiöiltä, joissa putkiremontti oli toteutettu, 72 % arvioi aikataulun pitävyyttä vastaavin arvosanoin.

Putkiremontti on ajankohtainen aihe myös siksi, että 1970-80 -luvuilla rakennettu kerrostalokanta tulee korjausikänsä 2010-20 -luvuilla. Linjasaneeraus on välttämätön, sillä viemärrien ja vesijohtojen käyttöiän tullessa elinkaarensa päähän ne hajoavat ja aiheuttavat vesivahinkoja. Korjausrakentamisalalla toimivien yritysten tehtävänä on korjata talot vastaamaan tekniikaltaan nykyaikaisia tarpeita ja takaamaan terveellinen ja viihtyisä asuminen myös tulevaisuudessa.

Vaikka linjasaneerauksen toteutus on luotettavampaa kuin yleisesti luullaan, on monissa asioissa varaa parantaa. Aasukkaan kannalta linjasaneeraus voi olla huomattavasti nykyistä nopeampi. Tutkimuksen mukaan kylpyhuone on korjaustyön aikana tyhjillään jopa 82 prosenttia työajasta (Vuorio 2016). Esimerkiksi 10 viikkoa kestävä korjauksen aikana kahdeksassa viikossa asunnossa ei tapahdu mitään. Jotta tätä hukka-aikaa saadaan vähennettyä, tulee toteutus organisoida eri tavalla kuin ennen. Lähtökohtaisesti rakennusaika on riippuvainen käytetystä aikataulutustavasta. Jo 1990 -luvulla on toteutettu huomattavasti nykyistä nopeamman läpimenoajan linjasaneeraushankkeita. Jostain syystä rakennusala ei tuolloin ollut valmis muutokseen.

Jotta rakennustyötä voidaan tehdä aikaisempaa tuottavammin, hukkaa, eli arvoa tuottamatonta työtä tulee vähentää. Logistiikka on suoraan yhteydessä tehokkaaseen rakentamiseen. Odottelu, ylimääräinen liikkuminen, materiaalien kuljettaminen ja varastointi ovat kaikki hukkaa, joka on yhteydessä logistiikkaan. Joskus tehtävän aloitus myöhästyy materiaalipuutteiden seurauksena ja toisinaan liian suuret toimituserät väärässä paikassa estävät tehokkaan toiminnan työmaa-alueella. Jo lähes kaksi vuosikymmentä sitten havaittiin, että vakioitujen toimintatapojen puute ja suunnitelmattomuus ovat tehottoman



materiaalinhallinnan pääsyitä (Wegelius-Lehtonen & Pahkala 1997; Bertrelsen & Nielsen 1997). Omat kokemukseni työmaalta vahvistavat näkemystä.

Aikaisemmat tutkimukset aiheesta ovat ottaneet kantaa eräisiin logistiikan osa-alueeseen, kuten aluesuunnitteluun, varastointiin tai kuljetukseen. On olemassa paljon algoritmeilla ja simulaatiomenetelmillä tehtyjä tutkimuksia siitä, kuinka jotain osa-aluetta optimoidaan. Toimitusketjun kokonaisvaltaista kehittämistä on tutkittu vähemmän. Tutkimukset eivät usein tarkastele koko prosessia materiaalityökalujen suunnittelusta materiaalien kulu- tukseen. Huomionarvoisaa on myös se, että lähes kaikki rakentamisen materiaalinhallin- taan ja logistiikkaan liittyvät tutkimukset ovat tehty uudisrakentamisen kontekstissa. Moni asia muuttuu, kun tarkastellaan korjausrakentamista. Tilan niukkuus, koneiden pie- nempi määrä, hankintakokonaisuuksien erilaisuus ja suurempi toistuvuus ovat merkittä- viä muutoksia tuotannon kannalta. Tämä työ pyrkii tarkastelemaan logistiikkaa kokonais- valtaisesti korjausrakentamisen näkökulmasta.

## 1.2 Tutkimusongelma ja tavoitteet

Tutkimuksen pääongelman voi muotoilla kysymykseksi, miten logistiikkaa tulisi hallita, jotta asentajilla olisi oikea määrä oikeita materiaaleja oikeassa paikassa oikeaan aikaan. Tutkimuksen tavoitteet, joiden avulla tutkimusongelmaan pyritään ratkaisemaan, ovat:

1. Etsiä tunnetut logistiikkakäytännöt, joilla työmaatoteutus tapahtuu suunnitellusti.
2. Soveltaa löydettyjä käytäntöjä tapaushankkeeseen.
3. Selvittää valittujen logistiikkaratkaisujen vaikutukset toteutusvaiheeseen toteutta- jan näkökulmasta.

Tutkimusongelman ytimessä ovat urakoitsijan toimintatavat, mutta asentajanäkökulman pitäminen mielessä on oleellinen osa lähestymistapaa. Heidän roolinsa toteutusvaiheessa on merkittävä. Kehitystoimintatavat, jotka johtavat asentajien työtehokkuuden nousuun vaikuttavat oletettavasti koko hankkeen onnistumiseen ja projektin sidosryhmien tyyty- väisyyteen.

## 1.3 Tutkimuksen toteutus

Tutkimusstrategiaksi valittiin tapaustutkimus. Se sopii rakentamisen viitekehysten mai- niosti, sillä rakentaminen on projektiliiketoimintaa ja projekti on määritelmänsä mukaan ainutkertainen ja ajallisesti rajattu. Tutkimuksessa yksi projekti merkitsi yhtä tapausta. Tapaustutkimus sopii strategiavalinnaksi, koska rakennustyömaan logistiikkaa on tutkittu kokonaisvaltaisen systeeminä vain vähän. Tapaustutkimus voidaan jakaa kolmeen luok- kaan (Eriksson & Koistinen 2005). Itsessään arvokkaan, välineellisen ja kollektiivisen tapaustutkimuksen luokittelussa tämä tutkimus on välineellinen. Vaikka tutkimuksen ta- paus on monella tapaa ainutlaatuinen, tutkimuksen tarkoituksena on kuvata ja hahmottaa teemoja yleisemmällä tasolla. Poikkeuksellinen tapaus ohjasi miettimään kehittyneempiä

toimintatapoja. Kaikki toimintatavat olivat kuitenkin sovellettavissa laajemmassa kontekstissa.

Tutkimus eteni neljässä vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa perehdyttiin kirjallisuuteen, jotta pystyttiin muodostamaan kokonaiskuva rakennusalan logistiikasta. Samalla kerättiin tietoa kirjallisuudessa esiintyvistä toimintatavoista. Näitä toimintatapoja sovellettiin myöhemmin empiirisessä osassa tutkimusta. Toisessa vaiheessa suunniteltiin ja valittiin tapaustyömaan logistiikkaratkaisut. Ratkaisujen suunnitteluun osallistuivat työmaan vastaava mestari, työpäällikkö, osa tavarantoimittajista ja minä. Oman osallisuuteni takia tätä tutkimusmetodia voi kutsua osallistuvaksi havainnoinniksi. Oma osuuteni koski kuitenkin vain suunnitteluvaihetta, enkä ollut mukana rakentamisen aikana. Kolmannessa vaiheessa kerättiin haastatteluaineisto. Nykytilan selvitystä ja vertailutietoja varten haastateltiin rakennusalan ammattilaisia muilta työmailta tapaustyömaan rinnalla. Haastatteluja tehtiin yhteensä 17. Neljännessä vaiheessa tehtiin kvantitatiivinen analyysi. Analyysin tavoitteena oli syventää ymmärrystä valittujen logistiikkaratkaisujen vaikutuksista materiaalihankintojen määrään ja kokoon. Aineisto kerättiin tapaustyömaalta ja seitsemältä vertailutyömaalta.

Haastattelut tehtiin teemahaastatteluina. Liitteessä A ovat haastattelurungot, joita haastatteluissa käytettiin. Haastattelurungot vaihtelivat sen mukaan, haastateltiinko työntekijöitä vai työnjohtajia. Lisäksi aiheet vaihtelivat hieman sen mukaan, oliko kyseessä tapaus- vai vertailutyömaalla työskennellyt henkilö. Haastattelut tehtiin sekä kasvotusten että puhelimesta. Työnjohtajat haastateltiin kasvotusten työmailla ja työntekijöiden haastattelut suoritettiin puhelimitse. Kaikki haastattelut nauhoitettiin.

Haastatteluaineiston analysoimiseen käytettiin teemoittelua. Haastattelujen litteroinnin jälkeen aineisto yhdisteltiin teemoihin. Teemat muodostuivat teemahaastattelurungosta ja osa haastattelurungon aiheista yhdisteltiin suuremmiksi teemoiksi. Teemoittelun jälkeen analysoitiin, mitä asioita haastateltavat toivat esille eri teemojen sisällä. Näkemysten yhtenäisyydet ja eroavaisuudet kirjattiin tuloksiksi.

Kvantitatiivisen analyysin aineistona käytettiin työmaiden materiaaliostolakuja. Ostolas-  
kut kerättiin yrityksen taloushallintojärjestelmästä. Ensin selvitettiin hankkeiden materiaali-  
toimittajat, jonka jälkeen laskut vietiin Exceliin toimittajien ja työmaiden mukaan eri-  
teltyinä. Analyysissä verrattiin tapauskohdetta vertailukohteisiin. Vertailu tehtiin tunnus-  
lukujen avulla. Tunnusluvuiksi valittiin laskujen määrä, keskiarvo, alakvartiili, mediaani  
ja yläkvartiili. Työmaiden kokoa havainnollistettiin korjattujen asuntojen määrällä. Las-  
kujen määrä jaettuna asuntojen määrällä valittiin yhdeksi tunnusluvuksi. Vertailun avulla  
pystyttiin ymmärtämään tapauskohteen logistiikkaratkaisujen seurauksia.

## 1.4 Rajaukset ja rakenne

Tutkimuksessa tarkastellaan logistiikkaa pääurakoitsijan roolista käsin. Tässä työssä pääurakoitsijan vastuulle kuuluu hankkeen rakennusmateriaalien hankinta. Vaikka keskiössä onkin pääurakoitsija, kokonaisuutta yritetään hahmottaa koko työmaaorganisaation kannalta. Ei siis ole väliä, mikä on hankkeen aliurakointiaste. Logistiikan merkitys on yhtä suuri, oli kyseessä sitten aliurakoitsija tai oma työntekijä. Toimitusketjun tarkastelussa keskitytään ainoastaan vertikaaliseen koordinaation toisin sanoen tilaajan ja toimittajan yhteistyöhön. Kun tutkimuksessa puhutaan hankinnoista, tarkoitetaan materiaalien hankintaa, ei työn hankintaa. Hankintastrategia ja sopimusasiat ovat jätetty työn ulkopuolelle. Tapauskohde on linjasaneeraustyömaa. Se vaikuttaa muun muassa toimittajien määrään, ETO-hankintojen puuttumiseen ja kaluston määrään. Varsinkin teoriaosuudessa puhutaan rakentamisesta yleisellä tasolla. Tekstissä tuodaan erikseen esille, milloin kyse on vain korjausrakentamiseen tai linjasaneerauksiin liittyvistä erityispiirteistä.

Toinen kappale alkaa rakentamisen nykytilan hahmottamisella. Siinä käydään läpi, miten rakentaminen eroaa tehdasteollisuudesta ja pohditaan syitä, miksi kehitystoimenpiteet eivät ole juurtuneet rakennusosalalle. Logistiikan osalta kerrotaan, miksi perinteiset käytännöt johtavat huonoon lopputulokseen. Seuraavaksi määritellään termit ja tehdään tutkittava kokonaisuus tutuksi asemoimalla rakentaminen ja logistiikka yhdeksi osaksi toimitusketjua. Kappaleen teoreettisen ytimen muodostavat varastot. Toisessa kappaleessa käydään läpi, miksi varastoita pidetään, mikä on niiden rooli ja miten varastot ja tuotannonohjaus ovat yhteydessä toisiinsa. Rakennustyömaan materiaalinhankinta muodostaa kappaleen viimeisen kokonaisuuden. Havaitaan, että logistiikka on aina yhteydessä varastoihin.

Kolmannessa kappaleessa esitellään useasti kirjallisuudessa esille tulleet konseptit varastojen optimointiin ja sitä kautta tuotannon virtaviivaistamiseen. Kappaleen ydin on Just-In-Time (JIT)-periaatteiden soveltamisessa rakentamiseen ja varsinkin logistiikkaan. Myös Material Requirements Planningia (MRP) käsitellään, koska huomataan sen olevan lähtökohta logistiikan kehittämiseksi.

Neljäs kappale koostuu tuloksista. Ensimmäisenä läpikäydään nykytila-haastattelut. Toinen kokonaisuus on tapauskohteeseen valittujen ratkaisujen esittely sanoin ja kuvin. Kolmas alakohta on tapauskohteen haastattelujen esittely. Kvantitatiivisen analyysin tulokset esitellään neljäntenä. Tuloksia tarkastellaan kappaleen viimeisessä osassa. Saadut tulokset suhteutetaan taustakirjallisuuteen ja tapauskohteen tuloksia verrataan selvitettyyn nykytilaan. Kvantitatiivisessa analyysissä saadut tuloksista muodostetaan päätelmiä ja tulosten luotettavuutta pohditaan kriittisesti.

Viimeisessä kappaleessa kerrataan tutkimuksen tavoitteet ja tarkastellaan, miten hyvin tutkimusongelma onnistuttiin ratkaisemaan. Lisäksi pohditaan tutkimustulosten merki-

tystä tieteessä ja käytännössä. Kappaleessa arvioidaan myös tutkimustulosten sovelletta-  
vuutta rakennusalalla. Lopuksi hahmotellaan kolme jatkotutkimuskokonaisuutta. Ne tar-  
joavat vaihtoehtoja syventyä logistiikan osa-alueisiin tämän tutkimuksen luonnollisena  
seurauksena.

## 2. MATERIAALINHALLINTA RAKENNUSHANKKEESSA

Materiaalinhallinta on kokonaisuus, joka pitää sisällään seuraavat materiaaleihin liittyvät aktiviteetit: määrälaskennan, tilauksen, toimituksen, purun, varastoinnin, siirron työkohteeseen, asennuksen ja materiaaliylijäämän siirron pois työpisteestä. Materiaalinhallinnan tarkoituksena on se, että materiaalit ovat oikeaan aikaan saatavilla, jotta työt voivat edetä suunnitellussa aikataulussa. Materiaalinhallinnan merkitys rakennushankkeen lopputulokseen on merkittävä. Hyvällä materiaalinhallinnalla on paljon positiivisia vaikutuksia:

1. häiriökustannukset vähenevät ja tuottavuus paranee
2. materiaalien siirto- ja varastointikustannukset alenevat
3. materiaalihukat vähenevät
4. tuotannon aikataulunpito paranee.

Vastaavasti huolimaton tai epäonnistunut materiaalihallinta tuottaa paljon ongelmia, jotka näkyvät:

1. töiden viivästyminenä
2. tuotteiden vaurioitumisina
3. ylimääräisinä siirtoina
4. työnjohdon lisääntyneenä ajankulumisena
5. kiiretoimituksina ja rautakauppanoutoina (VTT 2009).

Kuten edellä olevasta luettelosta nähdään, materiaalinhallinta voi olla monen ongelman juurisyy. Tämän hahmottaminen ei ole ilmeistä. Esimerkiksi, kun jokin materiaali puuttuu, se ei aiheuta välitöntä rahan siirtymistä kassasta johonkin muualle. Materiaalien loppuminen aiheuttaa ylimääräisiä rautakauppanoutoja tai kiiretilauksia. Kustannuksia syntyy välillisesti, kun työnjohtaja ei ole tekemässä työtään työmaalla vaan rautakauppareisulla. Tällainen toiminta on arkipäivää ja sitä pidetään työnkuvaan kuuluvana.

### 2.1 Rakentamiseen ja materiaalin hallintaan liittyviä haasteita

Rakentamisessa on monta erityispiirrettä tehdasteollisuuteen verrattuna. Alle on listattu merkittävimmät erityispiirteet.

1. Rakentaminen on ”One of a kind” -tuotantoa. Sen ominaisuuksiin kuuluu, että jokainen tuote eli rakennus on uniikki. Tämän seurauksena jokainen projekti on myös erilainen.
2. Rakennustuotanto tapahtuu samassa paikassa kuin käyttö, jolloin vanhan projektin loppuessa hankeorganisaatio hajoaa ja osapuolet siirtyvät seuraavaan paikkaan.
3. Rakennusyrittäjällä on tuotantoa useassa paikassa samaan aikaan.

4. Hankkeen työmaaorganisaatio pysyy samana hankkeesta toiseen, mutta kaikki muut osapuolet vaihtuvat.
5. Rakennustyömaalla työskentelee useita yrityksiä samanaikaisesti.
6. Osa tavarantoimittajista vaihtuu työmaasta toiseen kulloisenkin suunnitteluratkaisujen vuoksi (Tanskanen et al. 2009).

Edellä mainittujen havaintojen nojalla voidaan todeta, että rakentamisen luonteenpiirteet vaikuttavat paljon rakennusyritysten toimintaan. Yksi suurimmista kokonaisuuksista on jatkuvuuden puuttuminen. Sullivan & Barthorpen (2010) mukaan rakennusyritykset eivät halua panostaa kehitykseen, koska kehityspanostuksien pelätään menevän hukkaan jatkuvuuden puuttuessa. Myös yhteistyö vertikaalisessa suunnassa eli toimittajien ja toteuttajan välillä on minimaalista. Yllämainituiden syiden lisäksi Sobotka et al. (2005) nimeävät tarjouskilpailukäytäntöjen ja osapuolien erilaisten logistiikkajärjestelmien vaikeuttavan sitoutumista yhteistyöhön. Wegelius-Lehtonen ja Pahkala (1997) kuitenkin huomauttavat, että vaikka jatkuvuutta ei olekaan, silti rakentaminen koostuu hyvin pitkälti samoista prosesseista, tuotteista, tiedoista ja töistä hankkeesta toiseen.

Tanskanen et al. (2009) huomauttaa listan kolmanteen kohtaan liittyen, että työmaiden välinen yhteistyö on vähäistä. Tästä seuraa, että menestyneet pilotoinnit eivät leviä työmaalta toiselle. Voisiko syynä olla se, että työmaat ovat mestareidensa näköisiä? Vastavilla mestareilla on paljon valtaa järjestää asiat haluamillaan tavoilla.

Logistiikan kannalta tämä kaikki tarkoittaa muun muassa sitä, että edellisen kohteen suunnitelmat eivät sovi seuraavaan kohteeseen. Joka kerta on tehtävä uudet suunnitelmat. Yksi ongelma on siinä, että suunnitelmien teko aloitetaan aina alusta, koska olemassa olevien suunnitelmia ei pystytä hyödyntämään. Tämä puolestaan johtaa siihen, että suunnitelmat eivät välttämättä kehity ajan saatossa paremmiksi. Suunnitelmien tekeminen harvoin lisää haastavuutta. Jos työmaa kestää esimerkiksi vuoden, sitä varten tehdään alue-suunnitelma. Pahimmassa tapauksessa sama suunnitelma tehdään seuraavan kerran vuoden kuluttua. Kun toimintaa toistetaan liian harvoin, kehitystä ei pääse tapahtumaan. Aluesuunnitelman tekoa vaikeuttaa juuri se, että valmista pohjaa ei ole, vaan toimintaa ohjaavat karkeat periaatteet.

Logistiikan ja materiaalinhallinnan avulla pystytään vaikuttamaan kustannuksiin huomattavasti. Rakennushankkeissa materiaalikustannukset vaihtelevat 40% - 50% välillä kokonaiskustannuksista (Wegelius-Lehtonen & Pahkala 1997, Brynjolfsson et al. 2012). Materiaalikustannuksista logistiikan osuus vaihtelee 5% ja 50% välillä. Suurimmat logistiikkakustannukset ovat suurikokoisilla bulkkituotteilla, joiden kilohinta on halpa ja liikuttelu hankalaa. Logistiikkakustannusten osuus ostohinnasta on puutavarassa noin 50%, laasteista noin 25% ja kipsilevyistä 23% ostohinnasta (Wegelius-Lehtonen 2001). Yleis-täen voidaan sanoa, että mitä matalampi jalostusaste, sen korkeampi logistiikkakustannusten osuus ostohinnasta.

Logistiikkakustannukset syntyvät työmailla materiaalien käsittelystä, varastoinnista ja liikkutuksesta. Uudisrakennustyömailla varsinkin runkovaiheessa nosturin käyttö aiheuttaa

suuren osan logistiikkakustannuksista. Sisävalmistusvaiheessa ja korjausrakentamisessa logistiikkakustannukset syntyvät pääosin henkilöstökustannuksista.

Materiaalinhallintaan liittyviä haitallisia toimintatapoja on useita. Thomas et al. (1989) tunnistavat viisi osa-aluetta, joilla on haitallisia vaikutuksia rakennustyön tuottavuuteen.

1. Ensimmäinen on varastointialueen organisointi. Puutteet tällä osa-alueella näkyvät materiaalien useina käsittelykertoina ja siinä, että materiaaleja ei ole järjestelty oikein. Puutteelliset merkinnät materiaaleissa kuuluvat tähän kategoriaan.
2. Toinen osa-alue on epäjärjestys. Roskat ja jätteet vaikeuttavat liikkumista ja materiaalien liikuttelua. Lisäksi sotkuinen työmaa on usein vaarallinen.
3. Toimituserien suunnittelu on kolmas osa-alue, jonka laiminlyönti aiheuttaa haittaa tuottavuudelle. Tämä näkyy siinä, että rakennusmateriaalit saapuvat työmaalle eri tahtiin kuin niitä käytetään. Tällainen toimintatapa johtaa materiaalivarastojen liialliseen kasvuun.
4. Neljäs osa-alue on materiaalien saatavuus. Siihen kuuluvat materiaalien loppuminen, työtahdin hidastuminen materiaalien loppuessa ja työn uudelleen aloittaminen materiaalien saapuessa.
5. Viides ja viimeinen kokonaisuus on materiaalien käsittely ja jakelu. Tähän kategoriaan sisältyy valmistusvirheellisten materiaalien asennus ja tehoton materiaalien jakelu työmaalla.

Yllä esitettyjen olosuhteiden vaikutusta tutkittiin ikkuna-asennuksen, IV-kanavoinnin ja betonielementtiasennuksen tuottavuuteen. Tutkimuksessa (Thomas & Sanvido 2000) selvisi, että ongelmat edellä esitetyissä olosuhteissa johtivat 5 – 56% laskuun työtehokkuudessa. Tämä puolestaan vaikutti negatiivisesti aikatauluun. Työt myöhästyivät 50 - 88% aikataulutusta. Voidaankin todeta, että materiaalinhallinnan merkitys tuottavuuteen on merkittävä.

Kahdessa tapausprojektissa mitattiin teräsrunгон kokoamisen tuottavuutta. Ensimmäisessä projektissa suurin osa teräsrunгон osista asennettiin suoraan kuorma-auton lavalta ja vain osa varastoitiin työmaalla. Toisessa projektissa kaikki rungon osat varastoitiin suurina erinä työmaalla. Ensimmäisessä projektissa tuottavuus oli suurin piirtein kaksinkertainen verrattuna jälkimmäiseen (Thomas et al. 1989). Jälkimmäisessä tapauksessa teräsvarastot eivät pysyneet järjestyksessä suurten eräkokojen vuoksi.

Bertelsen & Nielsen (1997) esittelevät kaksi tavanomaista ja haitallista periaatetta, joissa yhdistyvät yllä mainitut osa-alueet. Ensimmäinen on ”Oops!” -periaate. Siinä reagoidaan materiaalipuutteisiin vasta, kun työ on pysähtynyt. Yleensä työntekijä tulee ilmoittamaan, että tuotteet ovat loppuneet. Tänä on signaali hankkia materiaalia lisää. Periaate aiheuttaa valtavasti hukkaa. Välittömän työn viivästymisen lisäksi kustannuksia syntyy pikatoimituksista, jotka ovat saman tutkimuksen mukaan lukumäärällä mitattuna yleisin toimitusmuoto työmailla.

Toinen periaate on ”Osta niin halvalla kuin saat”. Määrälennukset ja ilmaiset kuljetukset kannustavat tilamaan suuria eräkokoja. Niillä pyritään saavuttamaan kustannussäästöjä. Alennuksia voidaan hyödyntää varsinkin suoraan tehtailta tilattaessa. Ongelmana tehdastoimitusten kanssa on se, että niitä ei voi yhdistää muihin toimituksiin. Suorilla tehdastoimituksilla voidaan säästää muutamia kymppejä per lava, mutta kukaan ei tiedä kuinka paljon niistä aiheutuu kustannuksia. Lisäksi suuret eräkoot sitovat pääomaa ja vievät työmaalla paljon tilaa. Pienillä tonteilla ja korjausrakennustyömailla jälkimmäinen on suuri ongelma. Tavaroiden liikuttelu on hidasta ja se on aina hukkaa. Lisäksi materiaaleilla on suurempi riski rikkoutua, kun käsittelykerrat kasvavat. Mikäli materiaaleja joudutaan säilyttämään ulkona, sääolosuhteet lisäävät materiaalien pilaantumiseen liittyviä riskejä.

## 2.2 Logistiikan määrittely

Logistiikan alkuperä juontaa juurensa antiikin Kreikan sota-aikaan. Siellä logistikos oli armeijan upseeri, joka oli vastuussa kaivattujen resurssien ja palveluiden toimittamisesta ja jakelusta joukoilleen sotaa varten (Farahani et al. 2011). Aikaa kului ja 1800-luvun alkupuolella ranskalaisen kenraalin Antoine-Henri Jomini kirjoitti ensimmäisen kirjan logistiikasta. Jomini (1836) määrittelee logistiikan olevan käytännöllinen taito armeijoiden liikuttamiseen. Tämä määritelmä piti sisällä suunnittelua, hallinnointia, toimittamista, joukkojen majoittamista ja leiriytymistä, siltojen ja teiden rakentamista ja jopa tiedustelua.

Nykyään logistiikka on oma tieteenala ja vakiintunut osa lähes kaikkea liiketoimintaa. Logistiikka ei ole mikään yksittäinen osatekijä vaan pitää sisällään erilaisia toimintoja kuten ostamista, suunnittelua, koordinoimista, varastointia, jakelua ja asiakaspalvelua (Farahani et al. 2011). Logistiikan määritelmiä on useita ja tässä työssä logistiikan määrittelyllään olevan raaka-aineiden, varastojen, valmiiden tuotteiden ja niihin liittyvän informaation tehokkaaseen virtaukseen liittyvää suunnittelua, toteutusta ja valvontaa, jonka tarkoituksena on asiakastarpeeseen mukautuminen (CLM 1998). Logistiikalla on merkittävä rooli yritysten asiakkaiden palvelemisessa ja toimitusketjun suorituskyvyn ja kustannustehokkuuden ylläpitämisessä ja kehittämisessä.

Toimitusketjun hallinta (TKH) on paljon kirjallisuudessa käytetty termi. Sullivan et al. (2010) määrittelevät logistiikan ja toimitusketjun hallinnan olevan synonyymejä, mutta monet muut lähteet vetävät selkeän rajan näiden kahden välille. Toimitusketjun hallinta on organisaatioverkostojen hallintaa, jotka ovat sitoutuneet toisiinsa erilaisten prosessien ja aktiviteettien kautta ja jotka tuottavat arvoa loppuasiakkaalle palveluiden ja tuotteiden muodossa (Christopher 1992). Yleistäen voidaan todeta, että toimitusketjun hallinta viittää laajempaan kokonaisuuteen, joka ottaa huomioon myös tuotannosuunnittelua ja asiakaspalvelua. Oleellisin ero on, että TKH huomioi sekä yrityksen sisäiset, että ulkoiset liiketoimintaprosessit sidosryhmiä myöten, kun taas logistiikka katsoo kapeammin materiaali- ja tietovirtoja. Toimitusketjun hallinnasta puhuttaessa voidaan keskittyä myös sen strategiseen ulottuvuuteen tai vertikaaliseen integraatioon, jossa yritys omistaa enemmän



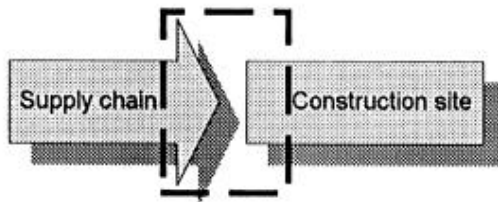
kuin yhden osan toimitusketjua (Croom et al. 2000). Opinnäytetyön yksinkertaisuuden ja ymmärrettävyyden kannalta työssä käytetään pääasiassa logistiikka-termiä.

Fergusson (2000) erittelee yleisesti logistiikan osa-alueiksi asiakaspalvelun, kysynnän ennustamisen, varaston hallinnan, materiaalien käsittelyn, pakkaamisen, huollon, hankinnan, jätteiden hallinnan ja kierrätyksen, kuljettamisen ja varastoinnin. Rakentamisen näkökulmasta logistiikka pitää sisällään tilauksen, vastaanoton, kuljetuksen ja varastoinnin (Sobotka et al. 2005). Rakentamisessa logistiikan tavoitteena on, että työmaalla on oikeaan aikaan saatavilla tarvittavat materiaalit ja työt voivat edetä suunnitellussa aikataulussa (VTT 2009).

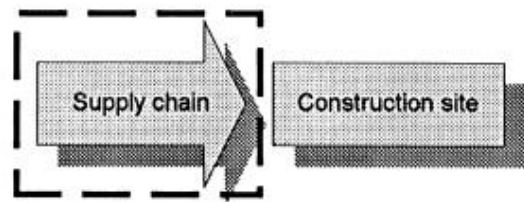
## 2.2.1 Rakentaminen osana toimitusketjua

Rakentamisessa toimitusketjun hallinnan voi jakaa neljään rooliin, jotka ovat esitetty kuvassa 1. Jaon perusteella on helpompi hahmottaa, mitä toimitusketjun hallinnalla tarkoitetaan missäkin tilanteessa.

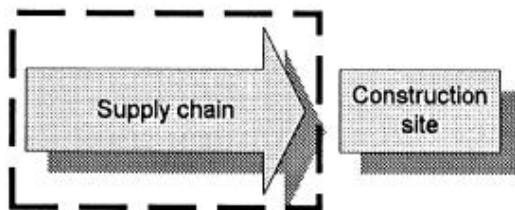
Role 1: focus on the interface between the supply chain and the construction site



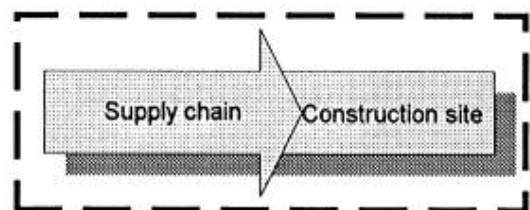
Role 2: focus on the supply chain



Role 3: focus on transferring activities from the construction site to the supply chain



Role 4: focus on the integrated management of the supply chain and the construction site



**Kuva 1. Toimitusketjun neljä roolia (Vrijhoef & Koskela 2000)**

Neljä roolia ovat:

1. Ensimmäisen roolin ytimessä ovat toimitusten vaikutukset työmaan toimintaan. Tämän näkökulman tavoitteena on varmistaa luotettava materiaalien ja työvoiman virtaus, jotta töiden sujuvuus ei kärsi. Ensimmäistä roolia voidaan hyödyntää keskittymällä toimittajan ja työmaan yhteistoimintaan.
2. Toisen roolin keskiössä on toimitus itsessään toisin sanoen se, mitä tapahtuu ennen tavaroiden työmaalle saapumista.

3. Kolmannessa roolissa painopiste voi olla toimintojen siirtämisessä taaksepäin toimitusketjussa esimerkiksi esivalmistusastetta nostamalla.
4. Neljännessä roolissa rakennustyömaa on osa toimitusketjua kokonaisuudessa ja painopiste on toimintojen integroinnissa (Vrijhoef & Koskela 2000).

Roolien jakaminen helpottaa katsantokannan valitsemista. Eri roolit sopivat eri osapuolille ja erilaisiin yhteistyötarpeisiin. Ensimmäinen rooli sopii tämän työn tarpeisiin, koska keskiössä on urakoitsijan toiminta ja tavoitteena on varmistaa saumaton työnkulku.

### 2.3 Tuotannonohjaus ja materiaalinhallinta

Niin kuin missä tahansa teollisuudessa tuotannon organisointi ja logistiikka liittyvät tiiviisti yhteen. Teolliset tuotannonohjausmekanismit voidaan jakaa työntö- ja imuohjaukseen (Prakash & Feng 2011). Työntöohjaus tarkoittaa varastoon valmistamista kysyntäennusteen mukaan, kun taas imuohjaus tarkoittaa valmistamista toteutuneen asiakaskysynnän mukaan. Asiakaskysyntä voi olla sisäistä tai ulkoista. Rakennuksen tuotantoprosessissa asiakas on seuraavan työvaiheen tekijä. Kun työtä tehdään valmiiksi vain seuraavaa työvaihetta varten, käytetään imuohjausta. Hopp ja Spearman (1996) määrittelevät imu- ja työntömekanismit seuraavasti: imuohjaus vapauttaa materiaaleja tai tietoa tuotantoon perustuen tuotannon tilaan (keskeneräisen työn määrään, toimeksiantojen määrän jne.) ja vastaavasti työntöohjaus vapauttaa materiaaleja ja informaatiota systeemiin perustuen ennalta määrättyihin eräpäiviin. Toisin sanoen työntöohjaus perustuu aina suunnitelmille ja ennalta laadituille toimituspäivämäärille.

Rakennustyömaalla työnkulkua hallitaan aikatauluilla. Aikataulun seuraaminen orjallisesti systeemin tilasta välittämättä on työntöohjausta. Tässä tapauksessa työtä tehdään varastoon aikataulun mukaan, vaikka systeemin tila muuttuisi häiriön seurauksena. Työmailla varastot näkyvät tyhjinä työtiloina (”mestoina”). Hypoteettisesti ajateltuna toisessa ääripäässä olisi tuotannon ohjaaminen ilman aikataulua. Se tapahtuisi toimintaa koko ajan säätämällä systeemin kunkin hetkisen tilan mukaan. Täydellisellä imuohjauksella toimivalla työmaalla jokainen työvaihe seuraisi automaattisesti toista ilman, että välissä olisi keskeneräisen työn varastoja. Tässä mallissa ainoa suunniteltava asia olisi luovutuspäivämäärä. Kahden ohjaustavan yhdistelmä vaikuttaisikin olevan järkevä ratkaisu työnkulun hallitsemiseen.

Käytännön esimerkki työntöohjauksesta on projektiliiketoiminnassa yleisesti käytetty Critical Path Method (CPM). Siinä tehtävät yhdistetään peräkkäin jatkumoksi. Kaikille tehtäville merkitään aikaisin ja myöhäisin mahdollinen aloitus- ja lopetusajankohta. Ne tehtävät, joilla aikaisin ja myöhäisin aloitus ja lopetusajankohta ovat samoja, ovat kriittisellä polulla. Tällä polulla olevan tehtävän myöhästyessä koko projekti myöhästyy. CPM:n huono puoli on sen jäykkyys. Menetelmä olettaa, että jokainen tehtävä pääsee alkamaan sille varatun ajan sisällä. Häiriötilanteissa uudelleenaikataulutus on vaikeaa, koska kaikkia kriittisellä polulla olevia tehtäviä täytyy siirtää eteenpäin (Tommelein

1998). Esimerkki työntöohjaus tehdasteollisuudesta on Material Requirements Planning (MRP). Se on tietotekniikkaohjelma, jonka tarkoituksena on varmistaa tuotantoaikataulun avulla, että varastossa on riittävästi materiaaleja tuotantoa varten.

Kanban ja Just-In-Time (JIT) ovat tunnettuja imuohjaustapoja. Kanban on japania ja tarkoittaa merkkiä tai signaalia. Kanbania voidaan kuvailla materiaalinohjaussysteemiksi, joka täydentää työpisteen materiaalivarastoja kysynnän mukaan. Yksinkertainen esimerkki kanbanista on työkohteessa oleva laatikko, jossa on materiaaleja. Kun materiaalit käytetään laatikosta, laatikko asetetaan paikkaan, josta joku toinen noutaa, täyttää ja toimittaa sen takaisin työkohteeseen. Näin materiaalivarastoa ei pääse syntymään vaan materiaalia toimitetaan vain kysynnän mukaan. JIT puolestaan on tuotantosysteemi tai -filosofia, jonka tavoitteena on parantaa virtausta poistamalla kaikki varastot tuotannosta. Konkreettisesti tämä tapahtuu toimittamalla juuri oikea määrä oikeita materiaaleja oikeaan aikaan ja oikeaan paikkaan. Yleisellä tasolla imuohjaus sopii toimintaan, joka täyttää seuraavat tunnusmerkit: kysynnän pieni vaihtelu, lyhyet asetusajat, pienet eräkoot, yksioikoinen virtaus, tasoitetut pullonkaulat, korkea koneiden käyttöaste, korkea työn joustavuus, korkea toimitustäsmällisyys, korkea tuotannon laatu ja korkea tavarantoimittajien suorituskyky (Kalsas et al. 2015).

Last Planner System (LPS) on esimerkki rakennustyömaan imuohjauksesta. Last Planner keskittyy lyhyen aikavälin suunnitteluun. Ideana on, että viikkosuunnitelman tehtävien kaikki aloitusedellytykset (materiaali, suunnitelmat, ”mesta”, työvoima, koneet) ovat varmistettu, jotta aikataulun mukaiset työt saadaan viikon aikana tehdyksi. Osana Last Planneria pyritään pitämään 4 - 6 viikon aikataulutehtävien varastoa, jotta tuotanto virtaisi tasaisesti (Koskela & Koskenvesa, 2003).

## 2.4 Puskureiden merkitys rakennustuotannossa

Tutkimuksissa tuodaan usein esille, että rakennustyömailla on paljon epävarmuutta (O'Brien 1999; Poshdar et al. 2016). Epävarmuutta aiheuttavat muun muassa seuraavat tekijät:

1. Henkilö- ja materiaaliresurssien saatavuus
2. Sään muutos
3. Materiaalien laatupoikkeamat
4. Tuotannossa ilmenevät poikkeamat
5. Rakennustyömaan todellisen tilan ja suunnitelmien välinen ero, jonka seurauksena esim. menekit vaihtelevat
6. Standardien ja viranomaisvaatimusten vastaiset suunnitteluratkaisut, joita ei oltu havaittu aikaisemmin (Poshdar et al. 2016).

Epävarmuus näkyy siinä, että työtehtävä toteutuu tietyllä todennäköisyydellä tietyssä ajassa. Toisin sanoen työtehtävän kesto ei ole vakio, vaan se toteutuu tietyn aikaikkunan

sisällä. Tästä syystä aikatauluja laadittaessa tehtävien väliin jätetään tyhjää. Tätä kutsutaan aikataulupuskuriksi. Puskurin tarkoituksena on suojella työnkulkua. Puskurit varmistavat, että seuraava työvaihe pääsee alkamaan ajallaan, vaikka edellinen työvaihe kestäisi suunniteltua kauemmin. Tavallisesti aikataulupuskuri lisätään jokaisen tehtävän perään. Goldrattin (1997) mukaan kaikki aikataulupuskurit tulisi sijoittaa projektin loppuun. Tällöin myöhästynyt tehtävä vähentää aikataulupuskuria normaalisti, mutta suunniteltua aikaisempi tehtävän lopetus lisää puskuria. Hän myös väittää, että ihmisillä on tapana käyttää ylimääräinen tehtävään varattu aika, jos se on mahdollista.

Aikataulupuskureiden lisäksi on olemassa myös muita puskureita. Materiaalipuskureita ovat ennakkoon tai varmuuden vuoksi tilatut materiaalit. Materiaalipuskureita voidaan käyttää, mikäli toimittajan toimitusvarmuus on huono tai materiaalimenekki vaihtelee ennustamattomasti. Materiaalipuskureiden ideana on, että materiaalia on työmaalla käynnissä olevien työvaiheiden lisäksi myös tulevia työvaiheita varten. Tämän seurauksena uusi työvaihe voidaan aloittaa, vaikka edellinen työvaihe jäisi kesken. Työmaalla olevien materiaalivarastojen määrää ja työn tuottavuutta tutkittaessa kävi ilmi, että työn tuottavuus alkoi heiketä 2 - 4 päivää ennen materiaalien loppumista (Swies, 2000; Thomas et al. 1989). Tutkijoiden mukaan tämä johtui siitä, että työntekijät hidastivat työtahtiaan tarvaroiden vähentyessä, jotta häiriötä ei olisi päässyt syntymään. Materiaalipuskurin kokoon liittyvässä tutkimuksessa Horman & Thomas (2005) löysivät, että tuottavuus oli korkeimmillaan, kun materiaalipuskuria oli 4 - 5,5%. 200 työpäivää kestäväällä työmaalla 5% materiaalipuskuri tarkoittaa kahden viikon aikataulutehtävien vaatimaa materiaalmäärää.

Kapasiteettipuskureita ovat koneet ja työvoima, jotka pidetään varastossa varmuuden vuoksi. Ylimääräinen kapasiteetti voi olla käytössä matalan prioriteetin tehtävissä. Tarpeen vaatiessa sitä voidaan käyttää korkean prioriteetin tehtävissä. Kapasiteettipuskurien etu on niiden nopea reagointiaika. Lean-valmistuksessa kapasiteettipuskurit ovat yleisin puskurivalinta, koska ne sopivat hyvin yhteen JIT-toimintatavan kanssa (Horman & Thomas 2005). Hormanin (2000) tutkimuksen mukaan systemaattisella kapasiteettipuskureiden käytöllä rakennusprojektin aikataulua saatiin lyhennettyä 35% ja kustannuksia jopa 8%.

Kaksi muuta mainitsemisen arvoista puskuria ovat ylimääräinen raha ja vaihtoehtoiset tehtävänannot. Ylimääräiseksi budjetoitua rahaa voidaan pitää puskurina, jota voidaan käyttää esimerkiksi riskin realisoituessa. Vaihtoehtoiset tehtävänannot ovat tehtäviä, joille ei ole määrätty resursseja vaan niitä voidaan tehdä, jos aikataulutetuissa työtehtävissä tulee vastaan häiriö. Puskurit eroavat toisistaan siinä, että ne reagoivat eri nopeudella tuotannon häiriöihin.

Puskurit liittyvät toisiinsa monella tavalla. Esimerkiksi ”varamestaan” eli vaihtoehtoisiin tehtävänantoihin pitää varautua hankkimalla materiaalit ennakkoon. Materiaalipuskurit

ovat tärkeitä tämän työn kannalta. Materiaalipuskurit, kuten kaikki puskurit, ovat kaksiteräinen miekka. Liian pienet materiaalipuskurit aiheuttavat materiaalipuutteista johtuvaa tuotannon hidastumista. Toisaalta taas liian suuret puskurit ovat hukkaa, haittaavat suorituskykyä, aiheuttavat ruuhkaa ja kätkevät alleen virheet prosesseissa. Puskureiden koon määrittely tapahtuu yleensä intuition ja työnjohdon kokemuksen perusteella (Horman & Thomas 2005).

Edistyneempien tuotannosuunnittelufilosofioiden, kuten JIT:n, Leanin tai Theory of constraintsin (TOC), ytimessä on puskureiden vähentäminen. Ne eivät lisää arvoa vaan ovat hukkaa (Womack & Jones 1996; Goldratt & Cox 1992). Näiden filosofioiden tarkoituksena on parantaa laatua, nopeuttaa läpivirtausta ja vähentää varastoja. Tehdasteollisuudessa edellä mainitut konseptit ovat parantaneet tuottavuutta merkittävästi, mutta rakentamisessa niiden käyttöönotto on kesken. Tehdasteollisuus onkin vähentänyt merkittävästi puskureitaan 70-luvulta lähtien.

## 2.5 Varastointi ja varastojen hallinta

Varastonhallinnan tarkoituksena on suunnitella mitä, milloin ja kuinka paljon materiaaleja toimittajalta tilataan. Varastonhallinnan voi jakaa kahteen kokonaisuuteen. Ensimmäinen kokonaisuus vastaa, minkälaisia menetelmiä varastotasojen täydentämiseen on. Toinen kokonaisuus kertoo, miten fyysinen varastotila voidaan järjestää ja luokitella. Alla esitellään neljä yksinkertaisinta varastojen täydennysmallia: vakiomäärän tilaus (engl. fixed order quantity, FOQ), vakioaikavälein tilaus (engl. fixed period ordering, FPO), ABC-systeemi ja vakiokysynnän systeemi (Brown et al. 2001; Farahani et al. 2011). Alempana on esitetty neljä varastotilan järjestelysysteemiä.

Vakiomäärän tilaus edellyttää varastotasojen jatkuvaa seuraamista. Kun varastotaso laskee ennalta määritetyn alarajan alapuolelle, tilataan automaattisesti vakiomäärä lisää. Tämä tarkoittaa, että tilaus on joka kerta saman suuruinen, mutta ajankohta vaihtelee kulutuksen mukaan. Luonnollisesti eri tavaroiden varastotasot laskevat alarajalle eri aikaan, joten tilausten aikaväli eli tilaustiheys vaihtelee. Teoriassa materiaalit eivät voi loppua, jos varastotasojen seurataan jatkuvasti. Alaraja, eli hälytysraja, ottaa huomioon varaston täydentämiseen kuluvan ajan.

Vakioaikavälein tehtävä tilaus tarkoittaa tilannetta, jossa varastotasot tarkistetaan tietyin väliajoin. Tarkistuksen jälkeen varastot täydennetään ennalta määrätyle ylärajalle. Esimerkki tästä voisi olla ruokakauppa, jossa myyjä tarkistaa tuotteiden varastotasot (hyllyt) päivittäin ja tekevät täydennyksen sen perusteella. Tämä tarkoittaa, että tilausväli on vakio, mutta tilausmäärät vaihtelevat kunkin tuotteen kulutuksen mukaan.

ABC-systeemin tarkoituksena on luokitella varastotarvikkeet hinnan ja kulutettavan tulon mukaan. Tämän jälkeen ne järjestetään suurimmasta pienimpään ja kulujen suhteellisen

osuuden mukaan ne jaetaan A-, B- ja C-kategorioihin. Ajatuksena on se, että A-kategorian varastotuotteita, jotka ovat arvokkaimpia, monitoroidaan tiukasti ja C-kategorian tuotteiden varastohallintaan riittää yksinkertaisin seurantametodi. Yleensä Pareton periaatteen nojalla 20% tuotteista, jotka muodostavat 80% kustannuksista päätyvät A-kategoriaan.

Vakiokysynnän systeemissä tiedetään kysyntä tietyn ajan sisällä, jotta voidaan tilata juuri oikea määrä kutakin tuotetta tyydyttämään kysyntä. Tämä malli sopii projektien kaltaisiin tilanteisiin, joissa aika ja laajuus ovat rajattuja.

Jotta varastojen täydennys- ja ohjaussysteemejä voidaan noudattaa, varastojen tulee olla järjestettynä jonkun systeemin mukaan. Varastosysteemit ovat yhteydessä varastotasojen seurantamekanismien kanssa. Max Muller (2002) kuvaa viisi tapaa järjestää varastointi-systeemit.

Ensimmäinen perussysteemi on muistinvarainen systeemi, jossa kaikki varastotuotteet ovat ihmisten muistin varassa. Muistinvarainen varastosysteemi toimii vain silloin, jos varastojen lukumäärä on rajoitettu, varastot ovat kooltaan pieniä, varastoitavien tarvikkeiden määrä on rajoitettu, tavarat tarjoavat helpon visuaalisen tavan tarkastaa määrät, vain rajoitettu määrä ihmisiä työskentelee varastolla, varastohenkilökunta on aina paikalla, varastojen sisältö ei vaihtelee ajan kuluessa ja varastossa ei ole juurikaan liikettä. Tämän systeemin hyötyjä ovat: ei paperityötä, ei tietokoneohjelmia, yksinkertainen toimintamalli, maksimaalinen tilankäyttö ja varastoitaville tuotteille ei ole erikoisvaatimuksia. Huonoja puolia vastaavasti ovat: organisaation toiminta luottaa pelkästään harvojen ihmisten kykyyn, terveyteen ja muistiin, olosuhteiden vaihtuessa tarkkuus huononee ja tavaran hävitessä muistista se häviää koko systemistä.

Toinen perussysteemi on vakiopaikkojen systeemi. Tässä tapauksessa kaikilla tuotteilla on oma paikka ja ylimääräisille tuotteille ei ole varastopaikkaa. Tämä systeemi vaatii paljon tilaa. Materiaaleja ei voi varastoida muun tuotteen paikalle, vaikka varastossa olisi tilaa. Tämän systeemin reunaehto on, että varastotuotteille on olemassa maksimimäärä, jota ei voi ylittää. Vakiopaikkasysteemin hyviä puolia ovat: tiedetään tavaroiden sijainti, varastohenkilökunnan vaihtaminen on helppoa, tuotteiden keräily on yksinkertaista, varastossa liikkuminen on helppoa, varastotasojen seuranta on helppoa, tavarat on mahdollista varastoida lähelle käyttöpistettä ja järjestyksen kehittäminen on mahdollista. Huonoja puolia vastaavasti ovat: tila on mahdollista käyttää tehottomasti, tilaa täytyy olla maksimi määrälle tuotteita ja varastosysteemi on joustamaton.

Kolmas mahdollisuus on aluevarastointi. Siinä tuotteet ovat varastoitu tietyn ominaisuuksien mukaan omille alueille. Esimerkki aluevarastoinnista voisi olla ruokakauppa. Ruokakaupassa pakasteet ovat yhdessä paikassa, jääkaappituotteet yhdessä, tuoretuotteet yhdessä jne. Tämän systeemin hyvä puolia ovat muun muassa seuraavat asiat: se mahdollistaa tietyn tyyppisten tuotteiden eristämisen pois muista tuotteista, kohtuullisen hyvä

joustavuus, tuotteiden määrä ja laatu voi vaihdella ja varaston suunnitteleminen on yksinkertaista. Huonoja puolia puolestaan ovat: tuotteiden käsittely aluevarastossa ei ole välttämättä tehokasta, varastotilaa ei aina käytetä tuottavasti ja systeemi vaatii varastotilanteen päivittämistä, kun tavara liikkuu.

Neljäs systeemi on satunnaisten paikkojen systeemi. Tällaisessa varastossa tuotteet voidaan sijoittaa mihin tahansa, mutta sijainnit on kirjattava ylös tai vaihtoehtoisesti on käytettävä paikannusteknologiaa. Tämä mahdollistaa maksimaalisen joustavuuden ja koko tilan hyvän hyötykäytön, jotka ovat systeemin hyvät puolet. Huonoina puolina voidaan nähdä jatkuva määrä- ja paikkatietojen päivittäminen sekä monimutkaisuus vähäisten tuotteiden varastossa.

Viimeinen tapa järjestää varastotila on yhdistelmäsystemi, jossa osalla varastotavaroista on olemassa vakiopaikka, mutta osa voidaan varastoida satunnaisiin ja muuttuviin paikkoihin. Tämä systeemi mahdollistaa sekä joustavuutta tiettyjen tavaroiden kanssa, mutta myös ennalta määrättyjen tavaroiden helpon seurannan ja löytämisen vakiopaikoista.

Yksi tapa hahmottaa varastotuotteiden välistä riippuvuutta on luokitella tuotteet kysynnän riippuvuuden ja riippumattomuuden mukaan. Riippumaton kysyntä on usein ulkoisen asiakkaan kysyntää ja riippuvainen kysyntä on sisäisen asiakkaan kysyntää. Sisäisen asiakkaan kysyntä riippuu ulkoisen asiakkaan kysynnästä. Tämä on tärkeä ymmärtää, sillä riippumattoman kysynnän avulla voidaan laskea riippuvainen kysyntä. Rakentamisen kontekstissa tämä tarkoittaa, että asiakkaan ostaman rakennusurakan koko, muoto ja tyyppi ovat itsenäisiä muuttujia ja niiden kysyntä vaihtelee asiakkaiden tarpeiden mukaan. Kuitenkin kaikki tuotteet, jotka tarvitaan asiakkaan ostaman urakan suorittamiseksi, ovat riippuvaisia muuttujia. Voidaan ainakin teoriassa päätellä, että kun asiakas on ostanut rakennusurakan, urakoitsijalla on tiedossa jokaisen tarvitsemansa tuotteen määrä ja laatu.

### **2.5.1 Varastoinnin kustannukset**

Vaikka työn keskipisteessä ei olekaan kustannukset, niin niiden tunteminen auttaa hahmottamaan varastoinnin reunaehtoja ja tekemään ratkaisuja realiteettien puitteissa. Varaston kustannukset koostuvat kolmesta osasta, jotka ovat pito-, hankinta- ja puutekustannuksista (Farahani et al. 2011).

Pitokustannukset muodostuvat siitä, että varasto sijaitsee fyysisesti rakennustyömaalla. Pitokustannukset pitävät sisällään vaihtoehtoiskustannukset, joka on se summa rahaa, joka olisi saatu investoimalla varastoon sitoutunut pääoma tuottavasti. Riskikustannukset ovat se summa rahaa, joka menetetään varastamisen, vaurioitumisen ja tavaran vanhentamisen seurauksena. Varastopaikkakustannukset ovat se summa rahaa, joka menetetään varastotilan vuokran tai ostamisen kautta.

Toinen varastointiin liittyvä kustannuserä on hankintakustannukset. Ne pitävät sisällään tilauksen suunnitteluun, tilaamiseen, vastaanottamiseen ja tarkastamiseen käytetyn ajan.

Puutekustannukset koituvat siitä, kun varastossa ei ole tavaraa sillä hetkellä, jolloin sitä tarvitaan. Rakennustyömaalla tämä tarkoittaa, että työntekijän täytyy vaihtaa tehtävää, noutaa materiaali tai odottaa materiaalin saapumista.

## 2.5.2 Varastot rakennustyömaalla

Tutkimukset eivät luokittele rakennustyömaan varastoja järjestely- ja täydennysperiaatteiden mukaisesti. Tanskanen et al. (2009) kuitenkin tutkivat varastojen seurantamekanismeja suomalaisilla rakennustyömailla. Nykytilannetta hahmottaessaan he löysivät mielenkiintoisia tuloksia. Rakennustyömaan henkilöstöstä tuntui siltä, että he tiesivät, mitä missäkin varastossa oli. Todellisuus oli toinen. Tutkimuksessa selvisi, että satunnaisista tavaroista kysyttäessä:

1. 47,5% arvasi väärin kysyttäessä, missä varastokontissa mikin tavara oli, kun työmaalla oli useampi kuin yksi varastokontti
2. 55% ei muistanut millä hyllyllä tavara sijaitsi
3. 60 % muistivat väärin, paljonko tavaraa oli.

Samassa tutkimuksessa kävi ilmi, että varastojen täydentämiseen ei ollut mitään systemaattista järjestelmää tai toimintatapaa. Tämä näkyi siinä, että osaa tavaroista ei käytetty pitkään aikaan ja osa tavaroista loppui säännöllisesti. Lisäksi havaittiin, että ajan myötä varastokonttien epäjärjestyksen kasvoi ajan funktiona.

Pienten eräkokojen hankkiminen pitää varastot pieninä ja vapauttaa pääomaa. Sen seurauksena riski materiaalien puutumiseen ja aikatauluviivästyksiin kasvaa. Toisaalta taas suuret varastot estävät materiaalin loppumisen todennäköisemmin, mutta sitovat pääomaa ja vievät tilaa työmailla. Tila on useilla työmailla niukka resurssi. On projektista ja materiaaleista kiinni, kuinka suuria varastoja työmailla voidaan pitää. Haja-asutusalueelle rakennettavan teollisuushallin materiaalien varastointi onnistuu tilan puolesta huomattavasti helpommin, kuin kaupungin keskustassa korjattavan arvokiinteistön tapauksessa.

Koska varastojen seuranta on summittaista, tutkijat ovat ehdottaneet uusia vaihtoehtoja vanhojen toimintatapojen kehittämiseksi. Kasim et al. (2012) ehdottavat it-järjestelmän sulauttamista varastonhallintaa. Tutkimuksen mukaan se voisi perustua Radio Frequency Identification (RFID)-teknologiaan, jossa seurantaohjelman avulla voidaan parantaa varastotilanteen läpinäkyvyyttä. Tutkimuksen mukaan ratkaisu tuottaisi pitävemmän aikataulun, nostaisi tuottavuutta ja vähentäisi kustannuksia. Reaaliaikaisen seurantamekanismin puuttuminen on yksi kokonaisuus, jonka seurauksena varastotilan tarve kasvaa, tilataan liian suuria eriä ja materiaaleja käsitellään useaan kertaan. Nykyisen käytännön ongelmana on sen manuaalisuus. Siinä henkilö ottaa tavarakuljetuksen vastaan, tarkistaa kuljetuksen sisällön silmämääräisesti ja siirtää tavarat joko ennalta sovittuihin paikkoihin



tai ilman erillistä sopimusta parhaaksi katsomaansa paikkaan. Toiminnan seurauksena vain vastaanottaja tietää, missä tavarat sijaitsevat. Mikäli tavarat on pakattu peittävään muoviin, myös kollien tunnistaminen on vaikeaa. Tästä puolestaan seuraa turhaa etsimistä ja se on pois arvoa luovasta työstä.

### 2.5.3 Materiaalivarastojen suunnittelu rakennustyömaalla

Layout- eli aluesuunnitelmaa pidetään kriittisenä suunnitelmana, jonka merkitys työmaan suorituskyvyn kannalta on suuri (Thomas et al. 2005). Algoritmin hyödyntäminen on yksi tapa tehdä aluesuunnitelma. Algoritmeilla voidaan minimoida kävelymatkoja tai kuljetuskustannuksia. Sosiaalitulojen, materiaalivarastojen ja nosturien paikat ovat aluesuunnittelun merkittävimmät tekijät. Suuret työmaat hyötyvät eniten algoritmeilla tehdystä aluesuunnitelmasta. Thomas et al. (2005) mukaan pienten ja keskisuurten rakennustyömaiden tulisi miettiä aluesuunnittelua turvallisuuden ja tuottavuuden kannalta. Aluesuunnitelman tekeminen vähentää aikataulu- ja budjettiylitysten todennäköisyyttä.

Aluesuunnitelman merkitys hankkeessa on elintärkeä. Se vaikuttaa talouteen, turvallisuuteen ja muihin projektin kannalta kriittisiin osatekijöihin. Aluesuunnitelman tekemättä jättäminen johtaa työmaan kannalta huonoihin ratkaisuihin. Esimerkiksi, toimitus puretaan hyvin satunnaiseen paikkaan, jos varastointipaikkoja ei ole suunniteltu. Purkupaikka tuskin on kokonaisuuden kannalta optimaalisin.

Aluesuunnittelun kokonaisuutta vaikeuttaa rakennushankkeen luonne ja dynaamisuus. Suunnitelma, joka on pätevä urakan alkuvaiheessa, ei välttämättä olen sitä enää loppuvaiheessa. Yleinen ohje uudisrakennustyömaalla on tehdä aluesuunnitelma maanrakennusvaiheessa, runkovaiheessa ja sisävalmistusvaiheessa. Alla on esitetty aluesuunnitelman kannalta merkittävimmät kohdat.

**Työmaan liittymä ja sisäpuolinen liikenne** - Jokaisella työmaalla on tavara-, ihmis- ja koneliikennettä. Ilmiselvästi liikenteen merkitys vaihtelee projektin sisällön ja koon mukaan. Hyvin suunniteltujen teiden ja liittymän avulla ihmiset ja materiaalit löytävät työmaalle perille. Suunnitelma edesauttaa työmaan turvallisuutta, koska hyvällä suunnitelmalla vältetään ylimääräiset ihmis- ja koneliikenteen risteyskohdat.

**Materiaalien varastointi ja käsittely** – Materiaalit täytyy varastoida, koska ne harvoin käytetään heti saapumishetkellä. Varastointipaikkojen sijoittamisen perustana on välttää kaksinkertaista käsittelyä. Käsittely on kallista, tapahtui se koneiden tai työvoiman avulla.

**Työmaatoimisto ja sosiaalitulat** – Työmaatoimiston ja sosiaalitulojen perustaminen on osa pääurakoitsijan velvollisuuksia. Tilojen tulisi olla hiljaiset ja niistä tulisi olla hyvä näkyvyys työmaalle. Muut tilat, kuten esim. saniteettitulat, olisi hyvä sijoittaa niin, että niistä on mahdollisimman vähän haittaa rakennustyölle.

**Työpajat ja kalusto** – Työpajat ovat tiloja, joissa prosessoidaan materiaaleja. Nämä paikat tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle varsinaista rakennuspaikkaa ja niille kulkemisen tulisi olla vaivatonta (Mawdesley et al 2002).

Aluesuunnittelu on merkittävä osa logistiikkaa. Se on työkalu alueen työmaa-alueen käytön suunnitteluun. Usein jopa tilaajat vaativat pääurakoitsijaa tekemään aluesuunnitelman. Aluesuunnitelma on koskettaa hankkeen jokaista osapuolta, siksi se on tärkeä panna kaikkien nähtäville.

## 2.6 Materiaalihankintojen jaottelu

Materiaalihankinnat ovat oleellinen osa logistiikkaa. Rakentamisen logistiikasta puhuttaessa karkea jako logistiikan suunnitteluun ja työmaalla tapahtuvaan logistiikkaan on perusteltu. Jako on mieleinen myös siitä syystä, että materiaalit vaihtavat omistajaa, kun kuljetus saapuu. Suunnitteluvaihe kattaa siis kaiken tiedon ja tekemisen, mitä tarvitaan, jotta oikea määrä oikeita tuotteita saapuu työmaalle oikeaan aikaan. Kaikki materiaalien fyysinen liikuttelu on tähän asti ollut toimittajan vastuulla. Tämän jälkeen materiaalien käsittely ja siirtäminen työpisteeseen ovat urakoitsijan vastuulla. Tätä kutsutaan työmaalogistiikaksi.

Osapuolten vastuut täytyy olla jaettu ennen materiaalihankintojen suunnittelua. Pääasiassa on kyse materiaalien ostamisesta, mutta käytännöt voivat koskea myös työkalujen ja koneiden hankintaa. Logistiikan järjestämisvastuut voidaan jakaa neljällä eri tavalla. Sobotka & Czarnigowskan (2005) jakavat ne seuraavasti:

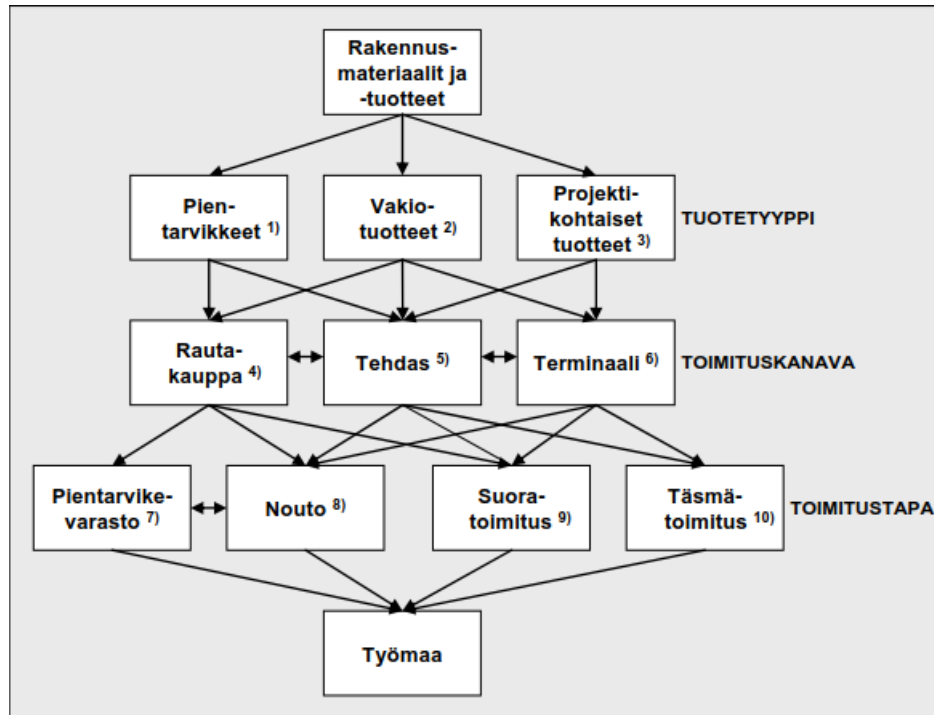
1. Hajautetussa vaihtoehdossa jokaisella urakoitsijalla on oma toimituskanava ja jokainen on vastuussa omista logistiikkaan liittyvistä hankinnoistaan.
2. Keskitetyssä toimitussysteemissä pääurakoitsija johtaa koko projektin logistiikkaa. Sillä voi olla oma osasto tai tiimi tähän tarkoitukseen.
3. Kolmas vaihtoehto on keskitetty toimitusratkaisu, jossa ulkopuolinen yritys johtaa logistiikkaa. Ulkopuolinen yritys voi olla logistiikkaurakoitsija.
4. Neljäs vaihtoehto on yllä olevien yhdistelmä.

Edellä mainitussa tutkimuksessa kävi ilmi, että keskitetty ratkaisu oli vertailussa halvempi kuin hajautettu toimitussysteemi. Syyksi esitettiin, että pääurakoitsijoilla on neuvotteluvoimaa tavarantoimittajiin ja he pystyvät samalla hyödyntämään määräalennuksia. Tiheästi asutetulla alueella keskitetty ratkaisu on ylivertainen. Keskusta-alueilla logistiikan merkitys on suuri ja pääurakoitsijalla on parhaat edellytykset koordinoida logistiikkaa tehokkaasti. Keskitetystä systeemistä hyötyvät myös aliurakoitsijat, sillä heidän vastuunsa pienenevät. Yhteenvetona voi todeta, että keskitetty toimitussysteemi on yleensä paras ratkaisu. Materiaali- ja koneidenhankintavastuusta sovitaan aliurakoitsijoiden kanssa sopimusvaiheessa.

Hankintavastuita jaettaessa on oleellista jakaa roolit myös yrityksen sisällä. Suurissa yrityksissä on yleensä hankintaosastot, joiden tehtävänä on tehdä sopimukset ja vastata

osasta urakoiden hankinnoista. Ne hankinnat, joita hankintaorganisaatio ei tee, tekee työmaa.

Vastuiden jaon jälkeen tärkein kysymys on päättää, mitä hankitaan, mistä, miten ja kuinka paljon. Rakennustuotehankinnat voidaan jaotella monella tavalla. Kuvassa 2 esitetään rakennustuotteiden jaottelun tuotetyypin, toimituskanavan ja toimitustavan mukaan.



**Kuva 2. Rakennustuotteet voidaan järjestää monella tavalla (VTT 2009).**

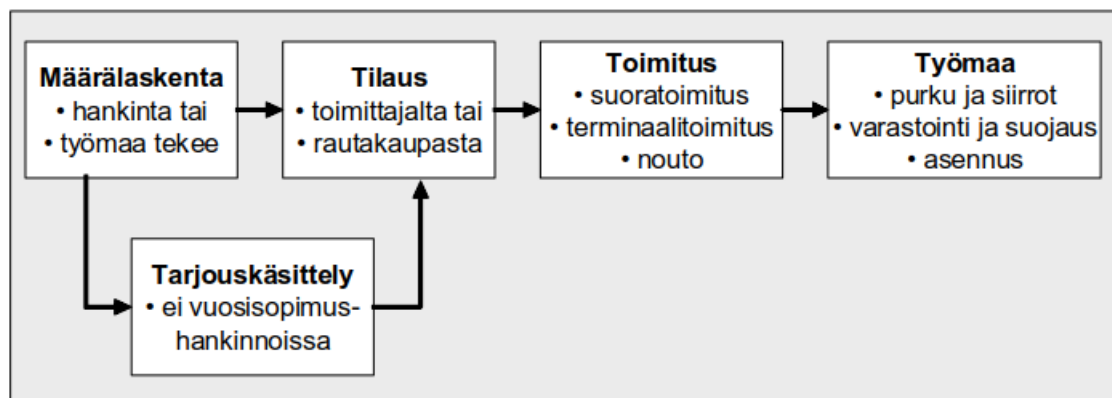
Rakennusprojektin aikana hankittavat rakennustuotteet voidaan jakaa tuotetyypin mukaan kolmeen osaan. Ne ovat projekti-kohtaiset tuotteet, vakiotuotteet ja pientarvikkeet. Projekti-kohtaiset tuotteet suunnitellaan ja valmistetaan tiettyä hanketta varten. Niille on tyypillistä pitkät toimitusajat ja usean osapuolen yhteistyö. Vakiotuotteilla ei ole hanketta-kohtaisia erityispiirteitä, vaan ne kuuluvat tavarantoimittajan yleisesti saatavilla olevaan valikoimaan. Vakiotuotteet voivat olla suoraan varastossa tai ne voidaan valmistaa tilauksesta. Vakiotuotteiden toimittajia ovat rautakaupat, tehtaat, tukkurit ja maahantuojat. Pientarvikkeiksi luetaan esimerkiksi työkalujen kuluva osat ja kiinnitystarvikkeet, joita voidaan käyttää usealla työmaalla. Pientarvikkeille on tyypillistä, että niitä varten on olemassa erillinen varasto, jossa ne säilytetään.

Toimituskanavaksi voidaan valita rautakauppa, tehdas ja terminaali. Rautakaupoista hankitaan vakiotuotteita ja pientarvikkeita. Rautakauppahankintojen helppous johtuu yhden luokun periaatteesta, jolla ne pyrkivät toimimaan. Tehdastoimitukset ovat joko projekti-kohtaisia- tai vakiotuotteita. Tehdastoimituksilla pyritään säästämään kustannuksia pois-

tamaan toimitusketjusta välikäsiä. Tehdastoimituksissa suositaan suuria eräkokoja. Terminaalitoimitusten ideana on tilata tuotteet ensin terminaaliin, jossa kuormia voidaan käsitellä, yhdistellä tai hajauttaa usean työmaan tarpeisiin.

Viimeinen lajittelu voidaan tehdä toimitustavan mukaan. Pientarvikevarasto on työmaalla sijaitseva varasto, jota voidaan täydentää rautakauppahankinnoilla tai varaston ylläpito on voitu ulkoistaa kokonaan yhteistyökumppanille. Nouto tarkoittaa työmaahenkilöstön suorittamaa materiaalien hakemista rautakaupasta tai muulta toimijalta. Suoratoimitus on rautakaupasta, tehtaalta tai terminaalista työmaalle lähetetty toimitus, joka ei sisällä erityistä kohdekohtaista paketointia tai muuta käsittelyä. Täsmätoimituksessa on määritelty tarkka toimitusajankohta tai aikaikkuna, jolloin tavara on toimitettava työmaalle. Lisäksi täsmätoimituksessa tuotteet voivat olla pakattu tai yhdistelty esimerkiksi huoneistoittain, joka helpottaa tavaroiden organisointia työmaalla.

Hankintaprosessiksi kutsutaan niitä toimintoja, jotka tehdään materiaalin saamiseksi työmaalle. Projektikohtaisten-, vakio- ja pientarviketuotteiden hankintaprosessi on hyvin erilainen. Kuvassa 3 on esitelty vakiotuotteiden hankintaprosessi. Korjausrakentamisessa suurin osa hankinnoista on vakiotuotteita.



**Kuva 3. Vakiotuotteiden hankintaprosessin vaiheet (VTT 2009).**

Prosessin ensimmäinen osa on määrälaskenta. Määrälaskenta tehdään suunnitelmien avulla. Suunnitelma voi olla esimerkiksi tietomalli tai suunnitelmapiirustus. Määrälaskenta on nopeaa tietomallin avulla, mutta tietomallit ovat pääasiassa uudishankkeiden työvälineitä. Määrälaskennan apuna voi hyödyntää tarjouslaskennassa käytettyjä dokumentteja. Niiden avulla on mahdollista nopeuttaa määrälaskentavaihetta.

Tilaus tehdään, kun tiedetään, milloin materiaalia tarvitaan. Tilauksen voi tehdä sähköpostilla, soittamalla tai toimittajan sähköisen järjestelmän avulla. Noudettavia tuotteita ei välttämättä tilata etukäteen vaan työmaahenkilöstö käy rautakaupassa kuluttajan tapaan.

Materiaalihankintoja pyritään hallitsemaan suunnitelmilla. Hankinta-aikataulu on yksi vaihtoehto materiaalihankintojen suunnitteluun. Työmaa tai hankintaorganisaatio ylläpi-

tävät hankinta-aikataulua. Siihen kirjataan varmistusajankohta, tilausajankohta ja toimitusajankohta. Kun hankinta-aikataulu on valmis, hankintojen pitäisi suunnitellusti virrata työmaalle työnjohdon hoitaessa hankinta-aikatauluun merkittviä tehtäviä. Hankinta-aikataulu on hyvä työkalu suurille hankinnoille, joilla on pitkät toimitusajat. Yleensä hankinta-aikataulu tehdään kuitenkin karkealla tasolla ja siihen merkitään vain suuret hankinnat. Siksi se ei yksinään ole riittävä työkalu materiaalihankintojen hallintaan.

## 2.6.1 Setitys

Englanninkielisessä tutkimuskirjallisuudessa ei puhuta täsmätoimituksista. Tiukan aikaikkunan sisällä saapuvista kuljetuksista käytetään nimitystä JIT-toimitukset. Kun tehdasteollisuudessa puhutaan tuotteiden järjestämisestä, pakkaamisesta ja toimittamisesta yhtenä ”pakettina”, käytetään termiä setitys (engl. kitting) (Bozer & McGinnis 1992). Paketti toimitetaan työpisteelle ja se sisältää juuri oikeat tavarat kokoonpanoa varten. Setti on astia tai laatikko, joka pitää sisällään tarvittavat tuotteet. Setityksen ideana on, että setti valmistellaan varastolla ja toimitetaan manuaalisesti työpisteelle. Vaikka setitystä on käytetty jo pitkään, sen käyttö on vähäistä ja kiisteltyä (Bozer & McGinnis 1992). Kannattajien mukaan setitys lisää osien näkyvyyttä, vähentää varastointitilaa työpisteellä ja vapauttaa lattiatilaa. Vastustajien mukaan setitys on hukkaa, sillä se ei ole arvoa lisäävää työtä ja se kätkee alleen virheet tuotannon johtamisessa. Setityksen hyötyjä ovat:

1. Säästää tilaa ja vähentää keskeneräisen työn määrää.
2. Joustavoittaa tuotantoa lyhentämällä asetusaikoja ja mahdollistamalla useamman tuotteen jalostusta työpisteellä.
3. Helpottaa käsittelyä, koska settejä on vain yksi monen yksittäisen komponenttilaatikon sijaan.
4. Parantaa kalliiden komponenttien hallittavuutta visuaalisuuden avulla.
5. Pienentää varastoja.
6. Mahdollistaa tuottavuuden nousun.

Setityksen huonoja puolia vastaavasti ovat:

1. Kuluttaa aikaa ja henkilöresursseja tuottamattomaan työhön.
2. Voi lisätä varastointitilan tarvetta paikassa, jossa setit kootaan, varsinkin jos ne kootaan ennakkoon.
3. Lisää suunnittelua, jotta oikeanlaiset setit päätyvät oikeaan paikkaan.
4. Loppumiset aiheuttavat sekaannusta, jos komponentteja joudutaan ottamaan toisesta setistä.
5. Viallisia osia sisältävät setit vaativat uudelleensetityksen.
6. Komponenttien rikkoontuminen vaatii uudelleensetityksen.

Setit voidaan jakaa liikkuviin ja liikkumattomiin. Liikkuvat setit siirtyvät kokoonpanon mukana. Tällöin setti siis sisältää kaikki kokoonpanon tarvitsemat osat. Liikkumattomat setit palvelevat vain yhtä työpistettä ja niiden tarkoituksena on, että ne käytetään loppuun ennen kuin uusi setti otetaan käyttöön. Yhtenä erona näillä kahdella on, että liikkuvia

settejä tarvitaan lukumäärällisesti vähemmän, mutta niiden sisältö ja koko ovat suurempia. Liikkumattomia settejä tarvitaan lukumäärällisesti enemmän, mutta niiden sisältö on vastaavasti pienempi.

Tehdasympäristössä setitys on yksi mahdollinen materiaalien syöttösystemi. Syöttösystemi koostuu kolmesta osasta: osien varastoinnista, osien siirrosta ja osien syöttämisestä. Osat varastoidaan paikkaan, johon toimittajien kuormat otetaan vastaan. Osien siirto tarkoittaa vaihetta, jossa päävarastolta materiaalit siirretään asennuspaikalle. Osien syöttö tarkoittaa tapaa, jolla osat varastoidaan asennuspaikalle. Battini et al. (2009) ovat havainneet, että osien syöttötavan valinnassa tärkeimmät muuttujat ovat varaston ja kokoonpanopaikan välinen välimatka, lopputuotteen komponenttien lukumäärä, kokoonpanon keskimääräinen erä koko ja kokoonpanolinjan työpisteiden lukumäärä.

Hanson & Brolin (2013) vertasivat tutkimuksessaan setitystä jatkuvaan materiaalien syöttöön. Kahdessa tapaustutkimuksessa ilmeni, että setitys lisäsi tuottavuutta kokoonpanopisteessä enemmän, mitä se kulutti resursseja setin valmistamiseksi. Huomattiin, että kokonaisvarastotasot kasvoivat, vaikka varastot kokoonpanopisteellä vähenivät. Toiminnan seurauksena settien kokoonpanopaikkaan tuli lisää välivarastoja. Tosin tapaustutkimuksen yritys ei tavoitellut varastotasojen laskua, vaikka siihen olisi saattanut olla mahdollisuus. Tutkimuksessa havaittiin myös, että tuotannon joustavuus lisääntyi, sillä setitys antoi mahdollisuuden valmistaa enemmän tuotevariaatioita kuin komponenttien jatkuva toimitustapa. Samalla tutkittiin myös setityksen vaikutus laatuun. Tutkimushypoteesin mukaan laadun piti parantua, koska kokoonpanotyö olisi ollut asentajalle helpompaa. Vaikka asentajat kokivat kokoonpanon helpompana, niin setityksellä ei havaittu olevan vaikutusta laatuun.

Setityksen soveltuvuutta rakentamisessa ei ole tutkittu. Rakentamisen kontekstissa setitys voisi tarkoittaa joko toimittajan tai työmaahenkilön valmistamaa settiä. Setti tulisi kuljettaa rakennusmiehen työpisteelle, jos tehdastuotannon toimintatapaa sovelletaan rakennustyömaalle. Setitys voisi pienentää varastoja työpisteellä, niin kuin sen on havaittu tekevän tehtaissa. Uudistalotyömaan sisävalmistusvaiheessa ja korjausrakentamisessa tilan säästö asunnoissa voisi realisoitua, koska tilat ovat erittäin rajalliset. Tämä voisi mahdollistaa varastojen pitämisen asunnoissa. Materiaalihankinnasta voisi tulla suunnitelmallisempaa, koska setit vaativat ylimääräistä suunnittelua.

Setitys voisi parantaa myös tuottavuutta. Settien tekeminen ja kuljettaminen vaativat varastohenkilökuntaa niin kuin Hanson & Brolinin (2013) tapaustutkimuksessa ilmeni. Vaikka tämä on hukkaa, tuottavuuden parantuminen voisi tulla rakennustyömiehen tehokkaammasta työnteosta. Setin avulla hänen ei tarvitsisi huolehtia materiaaleista, koska varastohenkilökunta tekisi sen. Setityksen voi arvata johtavan toimintatapoihin, jotka parantavat tuottavuutta.

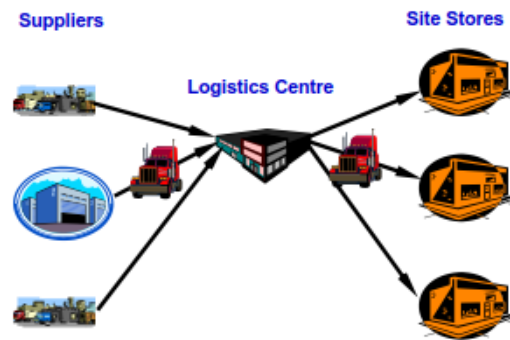
## 2.6.2 VMI-toimintamalli

Vendor Managed Inventory (VMI) on varastonhallintamalli, jossa myyjä ylläpitää ja täydentää varastoa ostajan puolesta (Niranjan 2010). Edellytyksenä on, että myyjä seuraa varastotilannetta joko fyysisesti tai teknologian avulla. Tällöin hän pystyy täydentämään varastoa kysynnän mukaan. Wal-Mart ja Procter & Gamble ottivat ensimmäisinä VMI-toimintamallin käyttöön Amerikassa 1980-luvun lopulla. VMI-toimintamallin on havaittu pienentävän kustannuksia ja parantavan palvelutasoa. Kustannukset vähenevät, koska systeemi estää ylisuurten varastojen syntymisen ja samalla estää myös tavaroiden loppumisen mahdollisuuden (Waller et al. 1999).

Rakentamisessa pientarvikkeiden osto ja hallinta tapahtuvat usein VMI-periaatteella. VMI:n varastotilannetta voi seurata joko jatkuvan seurannan menetelmällä tai ajoittaisilla varastotasojen tarkistuksilla. Jatkuvan seurannan malli toimii teknologian avulla. Yksi esimerkki on itsepalvelukassa, jossa varastosta otetun tuotteen viivakoodi luetaan tuotteen kulumisen merkiksi (Tanskanen et al. 2009). Kassa lähettää tiedot automattisesti toimittajalle, joka täydentää varaston kulutuksen mukaan. Ajoittainen täydennys voi toimia myyjän viikoittaisilla tarkastuksilla, joiden perusteella myyjä toimittaa varastotuotteet sovitulle tasolle.

## 2.6.3 Logistiikkakeskukset ja terminaalitoimitukset

Päivittäistavara-kaupassa logistiikkakeskukset ovat yleisiä. Suuret kaupan alan toimijat rakentavat koko ajan suurempia logistiikkakeskuksia ja keskittävät toimintoja keskuksiin kauppojen sijaan. Rakennusalaalla logistiikkakeskukset ovat vielä osittain tuntemattomia, mutta niissä nähdään olevan suuri hyödyntämätön potentiaali (Hamzeh et al. 2007). Logistiikkakeskuksen toiminta perustuu siihen, että useat toimittajat kuljettavat tuotteensa keskuksen, jossa tuotteet yhdistellään työmaan tarpeiden mukaan. Tällöin työmaalle kuljetetaan juuri oikean määrän tuotteita oikeaan aikaan. Logistiikkakeskus voi palvella yhtä tai useampaa työmaata tai jopa useaa urakoitsijaa. Kuva 4 havainnollistaa logistiikkakeskuksen toimintaa. Logistiikkakeskuksen nähdään olevan yksi keino vähentää läpimenoaikaa, nostaa toimitustäsmällisyyttä ja vähentää logistiikkakustannuksia (Kondratowicz 2003).



**Kuva 4. Logistiikkakeskuksen toimintaperiaate (Hamzeh et al. 2007).**

Logistiikkakeskuksella on monta toimintoa. Se voi varastoida, kuljettaa, jaella, kokoonpanna, lajitella, hallinnoida reittejä, seurata materiaalien sijaintia ja tarjota sähköisen kaupankäynnin palveluja (Hamzeh et al. 2007). Yksi logistiikkakeskuksen kantavista ideoista on varastojen siirtäminen rakennustyömaalta logistiikkakeskukseen. Edellä mainitun simulaatiotutkimuksen mukaan logistiikkakeskusta käytettäessä varastot pienenevät työmailla, mutta kokonaisvarastojen määrä suureni verrattuna vaihtoehtoon, jossa kaksi työmaata olisi pitänyt omia varastojaan työmaalla. Alla on esitetty, miten rakennustyömaa voi hyötyä logistiikkakeskuksista.

1. **Varastointi:** Logistiikkakeskusta voidaan käyttää välivarastona toimittajan ja työmaan välillä. Logistiikkakeskus mahdollistaa tehdastoimitusten käytön ja mahdollisten määräalennusten hyödyntämisen.
2. **Kuljetus:** Sijainnista ja funktiosta riippuen logistiikkakeskus voi pienentää kuljetuskustannuksia. Ne pienenevät, koska saapuvissa ja lähtevissä kuormissa voidaan käyttää kuorma-auton koko kapasiteettia.
3. **Jakelu:** Erilaiset jakelutavat ovat vaihtoehtoina logistiikkakeskusta käytettäessä. Jakelu voi palvella useita työmaita yhdellä kuljetuksella ja se mahdollistaa juuri oikeaan aikaan (JIT) toimitukset.
4. **Setitys:** Kuormien yhdistely eli setitys logistiikkakeskuksessa mahdollistaa usean toimittajan tuotteiden paketoinnin yhteen kuormaan. Se puolestaan vähentää työmaaliikennettä. Usean kuljetuksen sijaan tavarat voidaan toimittaa yhdellä kuljetuksella. Keskusta-alueilla toimitusten määrän vähentämisestä on merkittävä hyöty. Lisäksi yhdistely mahdollistaa JIT-konseptin mukaiset toimitukset, koska toimintamallissa eräkoot tuotetta kohti ovat pienet. Ilman logistiikkakeskusta ei olisi välttämättä järkevää käyttää pieniä eräkokoja, sillä kuljetuskustannusten osuus voisi nousta kohtuuttoman suureksi.
5. **Esivalmistus:** Logistiikkakeskus mahdollistaa esivalmistusasteen noston. Työtä voidaan siirtää ahtailta työmailta ja huonoista sääolosuhteista tilaviin, siisteihin, kuiviin ja lämpimiin logistiikkakeskuksiin. Tämä aikaansaa työmaalla tehtävästä asennustyöstä nopeampaa.
6. **Muut hyödyt:** Logistiikkakeskuksessa kuormiin voidaan liittää lisäpalveluita kuten vaihtoehtoisia kuljetusalustoja, materiaalinkäsittelylaitteita ja informaatiota.



Kun eri toimittajien kuormia ei vain yhdistellä samaan autoon vaan ne pakataan uudestaan kohdekohtaisesti, hyödynnetään informaatiota, jonka avulla materiaalit päätyvät työmaalla varmemmin oikeaan paikkaan. Talonrakentamisessa tämä tarkoittaa huoneiston tai lohkon mukaan pakattuja eriä. Kohdekohtaisessa pakkaamisessa tuotteet voidaan pakata esimerkiksi rullakoihin tai muille kuljetusalustoille, joka helpottaa kuljettamista vielä rakennustyömaallakin. Lisäksi logistiikkakeskus voi lisätä toimitussisällön täsmällisyyttä, jos materiaalit tarkastetaan keskuksessa ennen työmaalle lähettämistä.

Logistiikkakeskuksen käytöllä on myös negatiivisia vaikutuksia. Materiaalien välivarastointi keskuksessa aiheuttaa kaksinkertaisen käsittelyn ja pidentää toimitusaikaa. Lisäksi logistiikkakeskus aiheuttaa muuttuvia ja kiinteitä kustannuksia. Keskukseseen saapuvat ja lähtevät toimitukset on saatava synkronoitua, jotta varastot eivät kasva liian suureksi. Logistiikkakeskuksen sopivana varastointiaikana pidetään 24 tuntia (Stephan & Boysen 2011).

## **2.7 Linjasaneeraushankkeen erityispiirteet**

Linjasaneeraus tai talotekniikkakorjaus eli tuttavallisemmin putkiremontti on rakennushanke, jossa talon sisäpuoliset viemärit ja vesijohdot vaihdetaan tai muuten korjataan vastamaan nykyisiä käyttötarpeita ja takaamaan turvallinen ja laadukas asuminen tulevaisuudessa. Usein samalla uusitaan muuta talotekniikkaa, kuten esimerkiksi sähkö- ja teleasennuksia. Viemäreiden uusiminen tarkoittaa suurta määrää rakennusteknisiä töitä varsinkin kylpyhuoneissa. Korjaustavasta riippuen laattapinnat ja lattian pintabetonilaatta joudutaan purkamaan, jotta uudet viemärit ja vesijohdot voidaan vaihtaa. Tämä edellyttää kokonaan uuden kylpyhuoneen rakentamista. Rakennusprosessi pitää usein sisällään rappauksen, lattiavalun, vedeneristyksen, laatoituksen, kalustuksen ja alakattotyöt.

Linjasaneeraushankkeissa käytettävät materiaalit ovat lähes poikkeuksetta vakiotuotteita. Nämä tuotteet valmistetaan usein varastoon, joten niitä on helposti saatavilla. Tuotenimikkeittäin laskettuna rautakauppa on yleisin toimituskanava. Tätä kautta hankittaessa toimitusketjussa on paljon varastoja. Rautakaupalla on omat varastonsa ja tuotteen valmistajalla tai maahantuojalla omansa. Tämän vuoksi toimitushäiriöiden ei tulisi jäädä kiinni tuotteiden saatavuudesta.

Käytettävien tuotteiden takia myös ostotoiminta on erilaista. Koska käytettävät tuotteet ovat vakiotuotteita, niin lähes kaikista tuotteista on olemassa kausisopimukset, joiden puitteissa materiaalit tilataan. Materiaalihankinnat eivät juurikaan vaadi tarjouspyyntömenettelyitä. Työmaa tekee itse suurimman osan ostoista, koska rautakauppa on päätömituskanava. Sen seurauksena yrityksen sisäisten hankintayksiköiden rooli on pieni.

Kaiken kaikkiaan linjasaneeraus ja korjausrakentaminen ovat uudisrakentamista työvoimaintensiivisempiä. Tämä johtuu siitä, että samoja koneiden ja laitteiden rooli on pienempi. Korjattavassa kerrostalossa keskeneräistä tuotantoa on vähemmän, eikä silloin ole

järkevää käyttää koneita, jotka vaativat paljon tyhjää työtilaa toimiakseen tehokkaasti. Linjasaneeraustyömaalla kohde on harvoin kokonaan tyhjiään. Massatuotanto ei ole mahdollista vaan huoneistoja korjataan vähän kerrallaan. Korjausrakentamisessa ei voida käyttää pitkälle esivalmistettuja tuotteita toisin kuin uudisrakentamisessa. Myös työmaalogistiikan näkökulmasta linjasaneeraus eroaa uudisrakentamisesta. Koneiden käyttäminen pystysirtoihin on vaikeampaa. Esimerkiksi parvekkeiden tai ikkunoiden kautta tavaroitten kuljettaminen on hankalaa ja riskialtista. Yleensä rakennuksen hissi on ainoa laite, jota voidaan hyödyntää pystysirroissa. Tämä aiheuttaa sen, että materiaalien siirrot ovat käsityötä. Toinen merkittävä asia on varastointimahdollisuudet. Linjasaneeraustyömaat ovat asutusalueiden keskellä ja tontit ovat pieniä rakennusmateriaalien varastoinnin näkökulmasta.

### 3. RAKENTAMISEN LOGISTIIKAN KEHITYSMÄHDOLLISUUDET

Usein kirjat (Brown et al. 2001; Sheldon 2006) tarjoavat tuotannonohjausprosessien kehittämiseen yleensä samoja konsepteja. Niitä on kolme JIT/Lean, TOC ja Enterprise Resource Planning (ERP)/MRP. Tässä kappaleessa käsitellään JIT:a ja MRP:ä. Vaikka JIT:a ja Leania voidaan tarkastella yhtenä kokonaisuutena, halutaan JIT:lla tuoda esiin nimenomaan materiaalivirtojen tehokkaaseen hallintaan luotuja periaatteita. Lisäksi Lean on käsitteenä hyvin laaja, joten JIT sopii paremmin tämän työn fokukseen. ERP taas on vahvasti tietotekniikkaan pohjautuva tuotannonohjausjärjestelmä, joka integroi yhteen liiketoiminnan lähes kaikki osa-alueet aina henkilöstöhallinnosta jakeluun ja tuotantoprosessista kirjanpitoon. ERP katsantokanta on tämän työn tarpeisiin nähden liian laaja ja se vaatii suuria investointeja tietotekniikkaan. Vaikka MRP on tietotekniikkaan pohjautuva ERP:n edeltäjä, on se toimintaperiaatteena yksinkertainen ja helposti sovellettava konsepti. TOC:a ei käsitellä, koska se keskittyy enemmän tuotannonohjaukseen ja työpisteiden väliseen koordinointiin varastonhallintaan ja materiaalien liikuttamiseen sijaan.

#### 3.1 Material requirements planning

Material Requirements Planning kehittyi 70-luvulta alkaen, kun tietokoneet alkoivat yleistyä. Niin kuin nimikin sanoo, se kehitettiin materiaalien ja varastojen hallintaa varten. Ensimmäisessä vaiheessaan MRP:n idea oli yksinkertainen. Sen lähtötietoina oli tuotantoaikataulu, materiaalilista (engl. bill of materials, BOM) ja nykyinen varastotilanne. Tuotantoaikataulu kertoi, mitä tuotteita oli menossa mihinkin aikaa tuotantoon. Materiaalilista piti sisällään kaikkien tuotettavien tuotteiden tarvitsemat raaka-aineet, komponentit ja alikokoonpanot. Varastotilanne kertoi, mitä tuotteita oli varastossa ja kuinka paljon. MRP tarkoituksena oli luoda edellytykset toteuttaa tuotantoaikataulua ja samalla pitää varastointikustannukset ja varastotasot pieninä. MRP-ohjelma vertasi tuotantoon tulevien tuotteiden kuluttamia materiaaleja varastotasoihin ja teki siltä pohjalta aikataulun tarvittavien materiaalien tilaamiseen. MRP mahdollisti myös tuotantokapasiteetin, varastointikapasiteetin, henkilöstökapasiteetin ja budjetin suunnittelun (Muller 2002). Sheldonin (2006) mukaan MRP siirsi tehtaiden varastonhallinnan uudelle tasolle. Se oli suuri harppaus 1970-luvulla.

MRP soveltuu parhaiten massatuotantoon, koska se olettaa prosessit staattisiksi. Massatuotanto ei ole tuotantologiikkana tänä päivänä enää olennainen. Siksi MRP ei yksinään tarjoa riittävästi työkaluja tuotannon prosessikehitykseen. MRP:tä onkin kritisoitu sen rajallisuudesta. Alla on esitetty yleisimmät MRP:hen kohdistuvat kritiikin kohteet Ho & Changin (2001) ja Hopp & Spearmanin (1995) mukaan.

MRP-ohjelmaan täytyy asettaa läpimenoaika, jotta se toimisi tavoitteiden mukaan. Läpimenoaika täytyy tietää siitä syystä, että MRP laskee oikeat materiaalien tilausajankohdat tuotantoaikataulun määrittämistä eräpäivistä taaksepäin. MRP olettaa läpimenoajan olevan vakio. Läpimenoaika on aika, joka kuuluu tilauksen vastaanottamisesta siihen, kun tuote on valmiina lähetettäväksi asiakkaalle. Läpimenoaika pitää sisällään asetusajat, prosessointiajat ja jonotusajat. Läpimenoaika ei todellisuudessa ole vakio vaan se vaihtelee. Tuotannossa voi olla virheellisiä komponentteja, henkilöstöä voi olla sairaana ja monet muut mahdolliset skenaariot aiheuttavat muutoksia läpimenoaikaan. Jos läpimenoaika on pidempi kuin asetettu, varastot alkavat kasvaa, jollei tuotantoaikataulua muuteta. Jos taas läpimenoajat ovat asetettua lyhyemmät, ilmenee materiaalipuutteita.

MRP toinen oleellinen ongelma on, millä systeemillä varastoja täydennetään. MRP ohjelma antaa muutaman mahdollisuuden, jotka yleensä ovat FOQ, FPO, suunniteltua tuotantoa vastaava määrän tilaus (LFL) ja taloudellisen eräkoon tilaaminen vakioaikavälein vuosikulutus ennusteen mukaan (POQ). Eräkoon määrittely pitää sisällään tilattavan määrän sen mukaan kuinka usein tilaus tehdään. Eräkoot ovat kompromissi varastointikustannusten ja asetuskustannusten välillä. Suuret eräkoot mahdollistavat pienet asetuskustannukset, mutta tuovat mukanaan suuremmat varastot. Pienet eräkoot puolestaan pitävät varastot pieninä, mutta asetuskustannukset nousevat.

Viimeinen kritiikin kohde MRP:a kohtaan liittyy kapasiteetin suunnitteluun. Se on yhteydessä läpimenoaikaan. Jos läpimenoaika on vakio, niin MRP olettaa kapasiteetin olevan loputon. Se taas mahdollistaa tuotantoaikataulun tekemisen toteuttamiskelvottomaksi. MRP ei pidä sisällään mekanismeja, joka varmistaisi, että kapasiteetti riittää valmistamaan kaikki aikataulutetut tilaukset. Vasta MRP:n seuraaja Manufacturing Resource Planning (MRP II) sisältää kapasiteetin suunnittelun.

MRP:n yksi ominaisuus on ”hermostuneisuus”, jolla tarkoitetaan sen huonoa vastetta lyhyen aikavälin muutoksiin tuotantoaikataulussa (Hopp & Spearman 1995). Lisäksi MRP on hyvin riippuvainen siihen syötetystä datasta. Tiedon pitää olla erittäin tarkkaa ja reaalitajua, jotta ohjelma pystyy toimimaan ja varmistamaan materiaalien riittävyyden tuotannossa. Tämä vaatii teknologiaa toimiakseen oikealla tavalla. Kaikista puutteistaan huolimatta MRP on jossain muodossa edelleen käytössä yrityksissä. Sen hyviä puolia vielä tänäkin päivänä on kyky hallita suuria määriä erilaisia raaka-aineita ja komponentteja tietokoneavusteisesti. MRP:n nähdään olevan vielä pitkään tulevaisuudessakin tärkeä konsepti materiaalinhallinnassa ja perustavanlaatuisen osa tuotannonohjauksen kokonaisuutta (Mabert 2007).

### **3.1.1 MRP soveltaminen rakennustyömaan logistiikkaan**

Rakentamisessa useita yhtäläisyyksiä MRP:n kanssa, mikä teoriatasolla antaa hyvät lähtökohdan soveltaa MRP:tä rakennushankkeessa. Työvaiheikataulu vastaa tuotantoaika-

taulua, jota tarvitaan ennustamaan työvaiheen alkamisajankohdat ja tätä kautta materiaalien kulutusajankohdat. Rakennustuotannon jokaisen työvaiheen tarvitsemat materiaalit on mahdollista määrittää ennakkoon. Materiaalitietojen pohjalta voi muodostaa materiaalistaan, joka on toinen tärkeä osa MRP:tä. Kolmas MRP:n vaatima lähtötieto on tämänhetkinen varastotilanne. Rakentaminen on kuitenkin projektiliiketoimintaa ja täten varastotilanne on huomattavasti erilainen kuin tehdasteollisuudessa. Koska rakennusprojekti alkaa aina ilman varastoja, alussa varastotilanne voidaan olettaa nolllaksi. Tosin MRP:n soveltaminen jo käynnissä olevaan hankkeeseen vaatii varastojen inventaarion.

MRP-integraation kannalta ratkaistava kysymys on toimituseräkokojen valinta. Eräkojoja mietittäessä tulee ottaa huomioon kaksi asiaa. Ensimmäinen on varastointitilat ja toinen on työvaiheen kesto. Korjausrakennushankkeissa varastotilat ovat minimaaliset. Pihoilla on vähän tilaa ja rakennuksen sisätiloja on vaikea hyödyntää varastointiin. Uudisrakennustyömaalla varastointitilaa on jo enemmän, koska holveja voidaan käyttää varastointiin runkovaiheen edetessä ja tontti on yleensä tyhjillään. Työvaiheen kesto on suuri muuttuja. Tietyt urakan loppuvaiheen työt, kuten esimerkiksi kodinkoneiden asennus, on nopea työvaihe. Se mahdollistaa koko kohteen kodinkoneiden toimittamisen sillä hetkellä, kun asennustyö aloitetaan. Esimerkki pitkäkestoisesta työvaiheesta on laatoitus. Linjasaneerauskohteessa laatoitus kestää helposti yli 10 viikkoa kohteen koosta riippuen. Tällöin ei ole käytännöllistä tilata koko kohteen laattoja samalla kerralla vaan tilauseräkokoa on pienennettävä. Vaihtoehtoja ovat edellisessä kappaleessa mainitut FOQ, FPO, LFL ja POQ. LFL-ratkaisu, jossa laattoja tilataan yhden viikon tarpeiksi kerralla, voisi olla käytännöllinen. Tällöin ylimääräistä materiaalihukkaa ei pääse syntyämään, kun materiaaleja hankitaan tulevaa tuotantoa vastaava määrä.

Tutkimustieto MRP:n soveltamisesta rakennushankkeeseen on niukkaa. Imetieg & Lutovacin (2015) tutkimuksen tavoitteena oli selvittää MRP:n vaikutusta rakennusprojektin tuotannon ja hankinnan kustannuksiin sekä toimitusnopeuteen. Tulosten mukaan MRP:llä oli merkittävä vaikutus kustannuksiin ja toimitusnopeuteen. Mielenkiintoisena havaintona tutkimuksessa myös todettiin, että MRP:n avulla voi päästä automatisoituun materiaalityösuunnitteluun. Tutkijat suosittelivat käyttämään aikataulua, materiaalistaan ja nykyistä varastotilannetta lähtötietoina ja päivittämään materiaalityösuunnittelun muuttuessa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että MRP soveltuu rakentamiseen, koska kaikkien lähtötietojen määrittely on mahdollista. Huomion arvoista on, että tehdasteollisuudessa ilmenneet ongelmat ovat potentiaalisia riskejä myös rakentamisessa. Suurimpana mainittakoon järjestelmän joustamattomuus. Mikäli tuotannossa tulee muutoksia, se vaatii aikataulun päivittämisen, jotta MRP toimii tarkoituksenmukaisella tavalla.

## 3.2 Just-In-Time

Just-in-time (JIT) tuotannolle on olemassa kaksi erilaista näkemystä, joilla se voidaan määritellä (Waters-Fuller 1995). Ensimmäisen näkemyksen mukaan JIT on kokonaisvaltainen filosofia, joka edellyttää sitoutumista ylintä johtoa myöten. Toisen näkemyksen mukaan JIT on kokoelma ”työkaluja”, joita voidaan käyttää prosessin ongelmien ja tehottomuuksien korjaamiseen. Just-In-Time on kehitetty Japanissa 1950-luvulla. Konseptin luoja oli Taiichi Ohno, joka toimi tuolloin Toyota Motor Companyn varatoimitusjohtajana. JIT:n tavoitteena on hukan vähentäminen. Se toteutuu toimittamalla oikea määrä, oikeita materiaaleja oikeaan paikkaan ja oikeaan aikaan. Suuressa kuvassa tämä tarkoittaa valmiin tuotteen toimittamista asiakkaalle, osakokoonpanojen toimittamista lopulliselle kokoonpanolinjalle ja raakamateriaalien toimittamista osakokoonpanojen valmistusta varten edellä mainituin ehdoin. Vaikka JIT on lähtöisin autoteollisuudesta, se on nykyisin levinnyt ympäri maailmaan muidenkin teollisuudenalojen käyttöön ja jopa terveydenhuoltoon (Guedon et al. 2016). Alun perin JIT kehitettiin tehtaisiin, mutta myöhemmin JIT on levinnyt hankintaan, myyntiin, logistiikkaan ja moneen muuhun liiketoiminnan osa-alueeseen (Mackelprang & Nair 2010).

JIT:lla saavutettavia hyötyjä on paljon. Oikean tuotteen toimittaminen oikeaan paikkaan oikeaan aikaan tarkoittaa, että materiaaleja ja keskeneräistä tuotantoa ei varastoida vaan materiaalit ja tuotanto virtaavat koko ajan. Tämä vaatii pienet eräkoot ja tiheät toimitukset. Toimintatavan seurauksena materiaalivarastot pienenevät, keskeneräisen tuotannon määrä pienenee, tuotannon läpimenoaika lyhenee, tuotannon joustavuus lisääntyy ja laatu poikkeamat havaitaan nopeasti (Lai & Cheng 2009). Lisäksi toimintatapa pienentää toimittaja pohjaa, rakentaa pitkäaikaisen suhteen toimittajiin, lisää tuotannon ennustettavuutta, vahvistaa kilpailuasemaa markkinoilla, pienentää tuotantokustannuksia, parantaa laatua, vähentää korjaustöitä ja parantaa tuottavuutta (Low & Mok 1999; Akintoye 1995).

Vaikka Just-In-Time toimintatapoja on sovellettu moniin yrityksiin eri aloilta tuloksekkaasti, silti sen tuottavuushyödyistä keskustellaan. Tutkijoille yksi ydinkysymys on, mitkä asiat luetaan kuuluvaksi JIT:iin ja miten määritellään noudattaako yritys JIT periaatteita. Joidenkin tutkijoiden mielestä yritys noudattaa JIT-toimintatapoja, mikäli edes yksi JIT-käytäntö on käytössä. Toisten mielestä yritysten on itse päätettävä pitävätkö he toimintaansa JIT-käytäntöjen mukaisena (Mackelprang & Nair 2010). Suuri osa tutkimuksia tukee JIT:n ja parantuneen suorituskyvyn yhteyttä. Osa tutkimuksista löysi Just-In-Time periaatteiden liittyvän alentavasti kustannuksiin, toimitusaikaan ja prosessin läpimenoaikaan, mutta ei laatuun. Osa tutkimuksista taas ei löytänyt mitään yhteyttä parantuneen suorituskyvyn ja JIT:n välillä (Mackelprang & Nair 2010).

### 3.2.1 JIT:n seitsemän periaatetta

On olemassa monta näkemystä siitä, mistä JIT koostuu. Näkemykset vaihtelevat yksityiskohtaisuuden mukaan. Laajimmillaan JIT:n muodostavat johtaminen, tuotanto ja laatu

(Davy et al. 1992). Yksityiskohtaisimmillaan JIT koostuu 16 osatekijästä, joita ovat mm. pienet eräkoot, moniosaavat työntekijät jne. (Sakakibara et al. 1993). Tässä työssä JIT koostuu seitsemästä periaatteesta (Pheng et al. 2011). Yhteistä kaikille näkemyksille ihmisten ja yritysten välisen yhteistyön korostaminen, johtaminen ja teknisten asioiden kurinalainen hallinta. Just-in-time on huomattavasti kokonaisvaltaisempi toimintatapa, mitä tässä työssä tarvitaan.

## HUKAN VÄHENTÄMINEN

Keskeinen periaate on hukan vähentäminen. Hukkaa on mikä tahansa prosessi tai toiminta, joka ei lisää arvoa (Oxford Dictionary of Business and Management 2016). Yleisimmin mainitut hukan lähteet ovat tarkistaminen, uudelleen tekeminen, kuljettaminen, odottaminen, liikkuminen, varastointi ja yliprosessointi (Liker 2004). Näiden lisäksi hukana nähdään usein ihmisten hyödyntämätön potentiaali.

## KANBAN ELI IMUOHJAUS

Yritystasolla imuohjaus tarkoittaa tuotteen valmistamista vastaamaan toteutunutta kysyntää. Imuohjauksen voi hahmottaa niin, että lopputuotteen kysyntä saa aikaan imun, joka kulkee koko tuotannon vaiheet läpi lopusta alkuun päin. Imu aiheuttaa raaka-aineiden ja materiaalien toimitukset vastaamaan tuotannon tarpeita. Kanban on japania ja tarkoittaa korttia tai signaalia, jonka avulla ohjataan keskeneräisen työn virtausta työpisteeltä toiselle tai materiaalien virtausta varastolta työpisteelle. Imuohjauksen rooli on merkittävä tehdasteollisuudessa, jossa tuotteita ei valmisteta tilauksesta vaan niitä valmistetaan varastoon kysyntäennusteiden mukaan. Imuohjaus auttaa pitämään varastot pieninä ja tekemään tuotannosta joustavamman.

## HÄIRIÖTÖN TYÖNKULKU

Periaatteen mukaan tuotanto on pidettävä tasaisena ja ennustettavana. Tämä tapahtuu vähentämällä arvoa tuottamattomia työvaiheita. Lisäksi koneiden ja laitteiden ennalta ehkäisevä kunnossapito varmistavat häiriöttömän työnkulun. Häiriötön työnkulku tarkoittaa myös ennustettavaa töiden etenemistä. Rakentamisen kontekstissa tämä tarkoittaa aikataulun pitävyyttä.

## TOTAL QUALITY CONTROL (TQC)

Jotta JIT tuotannosta saadaan tuloksellista, TQC täytyy integroida osaksi toimintaa. TQC:n mukaan laadunvarmistus on suoritettava ennen kuin tuote voidaan antaa tuotannossa eteenpäin seuraavalle työpisteelle. Vain viattoman tuotteen saa toimittaa eteenpäin. Viallinen tuote täytyy poistaa tuotannosta välittömästi, jotta sitä ei prosessoida turhaan. TQC:n keskeisenä periaatteena on työntekijän henkilökohtainen vastuu tuotteestaan. Tämä tarkoittaa, että työntekijä on oman työnsä laadunvalvoja.

## TYÖNTEKIJÖIDEN OSALLISTUMINEN

Työntekijöiden mukaan ottaminen on iso kokonaisuus, joka on osa JIT systeemiä. Tämä tarkoittaa yrityksen kaikkia ihmisiä jokaisella organisaation tasolla. Ylimmän johdon on näytettävä esimerkkiä, jotta JIT periaatteita voidaan panna täytäntöön.

## YHTEISTYÖ TOIMITTAJIEN KANSSA

Tavarantoimittajilla on erittäin suuri rooli tuotantoprosessissa, vaikka he kuuluvat eri organisaatioon. Häiriötön työkulku ja imuohjaus toimivat vain, jos materiaalivirta on luotettavaa. Jotta JIT:n tavoite, pienet varastot, voisi toteutua, tarvitaan yhteistyötä tavarantoimittajien kanssa. Tavarantoimittajien määrän on syytä olla pieni ja heidän tarjoaman valikoiman suuri, jotta pienten eräkokojen toimitus on säännöllistä ja luotettavaa. JIT:n periaatteiden toimeenpano ei tapahdu yhdessä yössä ja se vaatii toimittajalta muutoksia toimitusprosessissa. Tästäkin syystä yhteistyö on välttämättömyys, jotta molemmat osapuolet haluavat sitoutua uudenlaisen toimitusprosessiin.

## JATKUVA PARANTAMINEN

JIT-filosofian noudattaminen on prosessi, jota voi parantaa loputtomasti. On yritysten tehtävä luoda kannustimia, jotta työntekijät ovat halukkaita parantamaan prosesseja. Koko henkilöstöllä on merkittävä rooli parannusehdotuksien luomisessa ja toimeenpanemisessa. Jatkovaa parantamista voidaan tehdä sekä yritys- että projektitasolla. Vaikka kaikki projektitasolla tehdyt parannukset eivät siirtyisikään seuraaville työmaille, yritys- tasolla tehdyt parannukset siirtyvät usein seuraaviin projekteihin.

Yllä esitetyt periaatteet muodostavat JIT:n rungon. Logistiikkaratkaisujen kannalta hukan vähentäminen, imuohjaus ja yhteistyö toimittajien kanssa lienevät tärkeimmät alueet.

### 3.2.2 JITn soveltaminen rakentamisen logistiikkaan

JIT:a on toimeenpantu rakennusalalle pari vuosikymmentä. Tämän työn kannalta läheskään kaikki JIT-toimintatavat eivät ole olennaisia. Alla on käyty läpi, mitä JIT:n osaluokkia on toimeenpantu rakennushankkeissa, miten niitä on sovellettu rakentamisessa ja mitä tuloksia ne ovat tuottaneet.

JIT-toimituksista puhuttaessa yhteistyö toimittajien kanssa tuodaan usein esiin. Akintoye (1995) pitää tärkeänä, että sitoudutaan pitkäaikaisesti yhteen toimittajaan. Tarkoituksena on, että informaatio liikkuu paremmin ja toimittajat ovat sitoutuneempia kehittämään toimintaansa rakennusliikkeen kanssa. Informaation jakaminen näkyy esimerkiksi materiaalilistojen ja aikataulun jakamisena toimittajan kanssa. Samassa tutkimuksessa tuodaan esille, että toimittajavalinnassa hintaa tärkeämpää on luotettavuus. Tämä käy järkeen, sillä JIT toimintatapojen ytimessä ovat pienet eräkoot ja suuri toimitustiheys. Jos toimittajan toimitustäsmällisyys on heikko, se näkyy suoraan suurempina puutekustannuksina.

Aluesuunnitteluun voi soveltaa monia JIT periaatteita, joista hukan vähentäminen on yksi oleellisimmista. Hukkaa voidaan vähentää työmaaparakkien sijoittelulla (Pheng &



Jayawickrama 2012). Parakit olisi hyvä sijoittaa niin, että kulkeminen minimoituu. Toinen periaate parakkien sijoittamisessa on niiden pysyvyys. On tarkoituksenmukaista, että parakit voivat olla samalla paikalla koko työmaan ajan. Toinen oleellinen asia aluesuunnitelmassa on kuormienpurkupaikat. Purkupaikkojen on hyvä sijaita lähellä lopullista käyttöpaikkaa ja lisäksi ne tulisi olla helposti nosturin saavutettavissa. Monet suuret työmaat, joissa JIT:a on sovellettu, ovat jakaneet työmaat erilaisiin alueisiin. Urakoitsijat, työnjohtajat ja toimitukset ovat jaettu alueiden avulla. Tällä on autettu materiaalin purkamista mahdollisimman lähelle käyttöpaikkaa.

Suunnittelemattomassa logistiikassa toimitusketju katkeaa yleensä työmaan pihalle, johon materiaalit väliaikaisesti varastoidaan. Tästä eteenpäin tavaroiden siirtämistä ei ole suunniteltu. Osa JIT-konseptia on suunnitella ennakkoon tavaroiden siirtäminen pihalta työpisteeseen. Eräässä tapaustutkimuksessa (Low & Ang 2003) varattiin ennakkoon nosturiaikaa, jotta materiaalien nostaminen kerrokseen tapahtui mahdollisimman nopeasti purun jälkeen, jotta välivarastoja ei syntyisi. Pheng & Jayawickraman (2012) tapaustutkimuksessa työmaalla oli logistiikkatiimi ja logistiikkatyönjohtaja. Työnjohtajan vastuulla oli koordinoita saapuvien materiaalien purkua ja ylläpitää logistiikkasuunnitelmaa. Logistiikkatiimi oli puolestaan vastuussa mm. työmaiden teiden ylläpidosta.

Imuohjauksen soveltaminen materiaalitoimituksiin on ehkä oleellisin osa JIT:n sulauttamista logistiikkaan. Logistiikan kontekstissa imuohjauksen tarkoituksena on, että juuri oikea määrä oikeita materiaaleja virtaa rakennustyömaalle oikeaan aikaan ja oikeaan paikkaan. Aluesuunnittelua tehdessä huolehditaan siitä, että materiaaleille on suunniteltu oikeat paikat, mutta materiaalitilausten imuohjauksella huolehditaan muista tavoitteista. Kahdessa tutkimuksessa (Bertelsen & Nielsen 1997; Cheng & Jayawickrama 2012) materiaalihakintaprosessit kuvattiin suurin piirtein samanlaisena. Ensimmäiseksi suunnitelmista laskettiin määrät. Tämän jälkeen määräluettelon ja aikataulun avulla muodostettiin tilauserät, jotka tilattiin työmaalle 1 - 3 päivää ennen aikataulutettua käyttöä. Koko rakennusvaiheen ajan materiaalien tilausaikataulua päivitettiin vastaamaan työmaan tilaa, jotta varastot eivät kasvaneet eikä puutteita ilmennyt suunniteltua nopeamman työskentelyn johdosta.

Bertelsen & Nielsen (1997) tutkimus sovelsi JIT-periaatteita logistiikkaan. Usean tapaustutkimuksen ”byggelogistik”-konseptin tavoitteena oli eliminoida hukkaa materiaaleihin, työntekijöiden aikaan ja kuljettamiseen liittyen. Heidän tutkimushypoteesinsa oli, että vaikka JIT toimitukset eivät välttämättä vähennä materiaalin liikuttamisesta syntyviä kustannuksia se tehostaa rakentamisprosessia. Alla on eritelty ratkaisut, joita hankkeissa käytettiin:

1. Materiaalit eriteltiin operaatio- eli työlajikohtaisesti.
2. Kaikki tarvikkeet ja materiaalit kirjattiin yksityiskohtaisesti suunnitteluvaiheessa.
3. Toimitukset saapuivat kerran päivässä ja niissä tuotiin ainoastaan seuraavan päivän materiaalit.

4. Materiaalit pakattiin tehtävien ja tehtävien sijaintien mukaan. Näiden kokonaisuuksien nimi oli ”UNIT”, yksikkö.
  - a. Jokaisen yksikön materiaalit ja siirtoon käytettävä kalusto määriteltiin.
  - b. Jokaiselle yksikölle oli oma numero.
  - c. Yksikkö oli koko konseptin ydin ja idea noudatti Ikean tuotteiden kaavaa, jossa materiaalit, kiinnikkeet ja ohjeet tulevat samassa paketissa.
5. Projektissa oli kolme toimittajaa ja heidän varastot olivat logistiikkakeskuksia.
6. Työmaalla noudatettiin seuraavia johtamiskäytäntöjä:
  - a. Viikoittaiset palaverit
  - b. kolmen viikon tehtävät suunniteltuina
  - c. Kaikista virheistä annettiin välitön palaute
  - d. Kömmähdykset koottiin listaan ja jaettiin viikoittain osapuolille.
7. Toimitusaikataulu oli sitova viikon päähän ja kahden seuraavan viikon tilaus-suunnitelmaehdotus oli toimittajien tiedossa. Toimittajilla oli kaikki toimituserät tiedossa ennen aloitusta. Ainoastaan toimitusaikoja tarkennettiin projektin edetessä.

Tutkimustulokset olivat merkittäviä. JIT:n soveltamisen seurauksena saatiin parempi sopimus toimittajien kanssa, materiaalihukka pieneni, laatu parani, tuottavuus nousi, turvallisuus parani, työmaahenkilöstön työmoraali parani, työ eteni nopeammin kuin oli suunniteltu, aliurakoitsijat pystyivät vähentämään henkilöstöään kesken työmaan ja urakka-palkalla olleet aliurakoitsijat saivat poikkeuksellisen korkeat tulot. Tutkimusprojektin ensimmäisessä tapauksessa työmaan kustannukset laskivat 9%. Luku koostui pienemmistä materiaalikustannuksista, joiden osuus laski 3.6% ja henkilökustannukset pienenevät 18% (Bertelsen 1994). Tutkimusprojektiin kuului viisi muuta tapausta, joista neljässä saavutettiin noin puolet niistä taloudellisista hyödyistä, joita edellä esiteltiin. Yhdessä tapauksessa ei saavutettu mitään hyötyjä.

Tutkimuskirjallisuudessa on olemassa myös tuloksia, joiden mukaan JIT ei ole hyödyllinen strategia materiaalihallinnan parantamiseen. Polat & Arditi (2005) tekemässä simulaatiotutkimuksessa mitattiin logistiikkakustannusta JIT:n ja JIC:n (just-in-case) tapauksissa. JIC:n tapauksella viitataan päivävastaiseen tapaan toimia kuin JIT:ssa. JIC koostuu suurista eräkoista, aikaisista hankinnoista ja suurista varastoista. Tutkimuksessa selvisi, että JIT periaatteita soveltaen varastokustannukset olivat 4.4 % suuremmat kuin JIC:n tapauksessa. Kustannuksissa otettiin huomioon hankintakustannukset, rahoituskustannukset, kuljetuskustannukset, käsittelykustannukset, säilytyskustannukset ja puutekustannukset.

## 4. LOGISTIIKKAKÄYTÄNNÖT JA NIIDEN VAIKUTUS TYÖMAAHAN

### 4.1 Kohdeyrityksen työmaiden nykytila

Kohdeyritys, Fira Palvelut Oy, on vuonna 2010 perustettu nykyisen Fira Group Oy:n tytäryhtiö, jonka liiketoimintaa ovat 1950 - 1970-luvulla rakennettujen asuintalojen talotekniikkakorjausten toteutus. Yritys on hankkeissa pääurakoitsijan roolissa. Yhtiön asiakkaita ovat taloyhtiöt. Kohdeyrityksen tavoitteena on palvelunäkökulman tuominen mukaan putkiremontteihin. Käytännössä tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että yritys pyrkii toteuttamaan hankkeita muilla kuin kilpailuun perustuvilla kokonaishintaurakoilla.

Yrityksen strategiana on käyttää toteutusvaiheessa ainoastaan aliurakoitsijoita. Yhtiön hankkimat talotekniikka-aliurakat sisältävät materiaalin ja työn, mutta rakennusaliurakat sisältävät useimmiten pelkästään työtä. Kohdeyrityksen oma projektiorganisaatio hankkii kaikki tarvittavat rakennusmateriaalit. Yhtiö pyrkii pidempiaikaisiin kumppanuuksiin sekä tavarantoimittajien että aliurakoitsijoiden kanssa.

Nykytilan selvitystä varten haastateltiin yhteensä 13 henkilöä. Heistä kuusi edusti työmaiden johtoa. Joukossa oli työnjohtajia ja vastaavia mestareita, jotka työskentelivät neljällä eri työmaalla. Loput seitsemän haastateltua olivat työntekijöitä. Työntekijöistä kaksi oli yhtiön omia työntekijöitä ja loput olivat aliurakoitsijoita. He edustivat kolmea eri työmaata. Työntekijät olivat kirvesmiehiä ja laatoittajia. Haastattelut suoritettiin 23.11.2016 - 9.12.2016 välisenä aikana. Työnjohdon haastattelut tehtiin työmailla ja ne nauhoitettiin. Kaikki työntekijät haastateltiin puhelimesta ja puhelut nauhoitettiin.

Logistiikkaan liittyvien nykyisten käytäntöjen selvittämiseen käytettiin kahta erilaista teemahaastattelurunkoa, toista työnjohdolle ja toista työntekijöille. Työnjohdon haastattelu teemat olivat seuraavat: materiaalityönteiden määrittely, määrälaskenta, tilaus, toimitajat, toimitukset, logistiikka työmaalla, pientarvikkeet, roolit ja vastuut sekä sekalaista, jossa työnjohto teki kehitysehdotuksia. Asentajien teemat olivat varastot, logistiikka, tavaran loppuminen, pientarvikekaappi, roolit, hyvät toimintatavat ja kehitysehdotukset.

Analyysia varten työnjohdon ja työntekijöiden haastattelut on koottu yhteisten otsikoiden alle. Otsikot muodostuvat yhdistetyistä teemoista, jotka muodostavat suuret kokonaisuudet. Kokonaisuudet ovat tilaus ja toimitus, toimittajat, työmaalogistiikka, pientarvikkeet, roolit ja vastuut ja materiaalinhallinta tulevaisuudessa.

### 4.1.1 Tilaus ja toimitus

Työnjohdon keskuudessa vastuu materiaalien tilauksesta on yhdellä henkilöllä. Henkilö, joka tilaa materiaalit, laskee myös määrät. Määrälaskennassa käytetään hyväksi valmistajan ilmoittamia menekkejä, kuvia ja pdf-ohjelmien laskentatyökaluja. Lisäksi kaikki työmaat käyttävät hyväkseen työntekijöiden tietämystä materiaaleista. Heiltä kysytään toteutuneita menekkejä, jonka perusteella päätetään, kuinka paljon tiettyä materiaalia tilataan.

Tilausajankohta vaikuttaa oleellisesti tilauksiin ja eräkokoihin. Tyypillisesti työmaat tilaavat alussa suuria eriä materiaaleja, koska ”ne menevät kuitenkin”. Ensimmäisissä tilauksissa bulkkitaavara tilataan kokonaisina lavoina. Tarkoituksena on, että loppua kohden eräkokoja pienennetään ja laskentatarkkuutta korostetaan, jotta materiaaleja ei jäisi yli työmaan loputtua. Aloituksen ja lopetuksen välillä tavaraa tilataan tarpeen mukaan. Toisin sanoen varastotilannetta seuraavat työntekijä, työnjohto tai molemmat. Seuranta on silmämääräistä. Optimaalisena hälytysrajana pidetään yleensä kahden tai kolmen päivän menekkiä. Siinä ajassa varastot ehditään täydentämään ilman, että tarvitaan erityisjärjestelyitä, kuten kiiretoimituksia tai noutoja.

Materiaalitarve ilmenee, kun asentaja ilmoittaa tai työnjohtaja huomaa, että tietty materiaali on loppumaisillaan. Ilmoituskanavia on käytössä useita. Joillain työmailla pidetään ”kauppalistaa”, johon sekä asentajat että työnjohtajat kirjoittavat hankittavia materiaali- tarpeita. Ainakin yhdellä työmaalla oli käytössä WhatsApp -sovellus, jota käytetään myös materiaali- puutteiden ilmoittamiseen. Eräällä työmaalla asentajapalaverien yhteydessä käydään läpi tarvittavat materiaali- varastojen täydennykset. Yleisimmin tilaustarpeista ilmoitetaan työnjohdolle kasvotusten.

Välillä materiaalit pääsevät loppumaan kesken tai työ aloitetaan ilman, että kaikki tarvittavat materiaalit olisivat paikalla työn loppuun saattamiseksi. Tätä tapahtuu keskimäärin viikoittain. Työmaiden työnjohtajat ovat erimielisiä siitä, kuinka suuri ongelma materiaalien kesken loppuminen on. Osan mielestä se on suuri ongelma, kun toiset taas ajattelevat, että ongelma ei ole suuri, mutta se on ärsyttävää, turhauttavaa ja vaatii työnjohdolta nopeaa reagointia. Suurin syy, miksi materiaalien puuttumista ei pidetä suurena ongelmana on, että niin usein löytyy varamesta, jossa työtä jatketaan. Täten odottamista ei esiinny. Tavallisesti materiaalin loppuessa punnitaan hankinnan kriittisyys. Kaikista kriittisimmissä tapauksissa tavara noudetaan rautakaupasta saman tien. Jos on varaa odottaa vuorokausi, niin tavara tilataan ja kuljetus järjestetään seuraavalle päivälle. Tavaroiden noutamisessa on kaksi ongelmaa. Siihen kuuluu aina jonkun työaika ja lisäksi se opettaa vääriin tavoille. Eräs vastaava mestari välttää rautakauppanoutoja siksi, etteivät asentajat tottuisi nopeisiin noutoihin vaan oppisivat ilmoittamaan materiaalien vähenemisestä etukäteen. Asentajien keskuudessa nousi esiin oletus siitä, että henkilöt, jotka ovat urakalla töissä, pitävät paremman huolen materiaaleista ja ilmoittavat puutteista aikaisemmin kuin

tuntityösopimuksella työskentelevät. Kokonaisuutta hämärtää myös se, että rautakauppainoutoja tehdään työmatkalla. Tällaista toimintaa pidetään ennemminkin rutiinina kuin poikkeuksena ja siitä ei nähdä olevan haittaa kenellekään.

### 4.1.2 Toimittajat

Tavarantoimittajien määrä vaihtelee työmaakohtaisesti. Työmaat käyttävät säännöllisesti 5 - 10 toimittajaa. Työmaat käyttävät valitsemaansa rautakauppaa. Osa tuotteista tilataan suorana valmistajalta tehdastoimituksina, mutta ne ovat vähemmistössä ja niitä suositaan vain suurilla työmailla. Laatta- ja kalustetoimittaja oli kaikilla työmailla sama. Toimittajien valintaan vaikuttaa moni asia. Osa tuotteista on määrätty suunnitelmissa. Ne vaikuttavat toimittajien valintaan. Tilanteeseen vaikuttaa myös se, mitä tuotteita asukkaille on myyty ennen rakennusvaihetta. Näiden ulkopuolelle jää kuitenkin paljon materiaaleja, jotka työmaat voivat hankkia haluamaltaan toimittajalta. Työmaiden johto kertoi hinnan, toimitusnopeuden, kokemusten ja palvelun tason vaikuttavan toimittajavalintaan. Uusia toimittajia voidaan hankkia vain yhtä projektia varten. Toimittajayhteistyöstä ja lisäpalveluista kysyttäessä kävi ilmi, ettei lisäpalveluja ole juurikaan käytössä. Ainoastaan laatta- ja kalustetoimittajan tarjoama kantopalvelu asuntoihin oli käytössä jokaisella työmaalla. Siihen oltiin tyytyväisiä. Kaikki työmaat olivat myös yhtä mieltä yleisimmin käytettyjen toimittajien toimitusnopeudesta ja -täsmällisyydestä. Koettiin, että yhden tai kahden päivän toimitusaika on riittävän nopea ja toimitussisältö vastaa hyvin sitä mitä on tilattu.

Jokaisella työmaalla oli käytössä toimittajan täydentämä pientarvikekaappi. Kaappi täydennettiin viikoittain. Valikoima oli muokattu toimittajan kanssa yhteistyössä, jotta kaapin sisältö vastasi työmaan tarvetta. Kaapin sisältöä sai myös vaihtaa työmaan edetessä. Täydennyksiin oltiin tyytyväisiä kaikilla työmailla, mutta yhdeltä työmaalta tuli negatiivista palautetta tuotteiden laadusta. Lisäksi osa asentajista toi esille, että laadukkaimmat tuotteet eri tuotekategorioihin löytyvät eri toimittajilta. Kaappi nähtiin hyvänä ratkaisuna suurille työmailla. Kehitysaskeleena nähtiin liikkuva kaappi, jota liikkuisi työn edetessä portaasta toiseen.

### 4.1.3 Työmaalogistiikka

Haastatteluissa työmaalogistiikalla tarkoitettiin toimintaa, joka tapahtuu kuorman saapumisen ja materiaalin kulutuksen välissä. Logistisia toimenpiteitä ja järjestetystä helpotettava aluesuunnitelma oli käytössä ainoastaan yhdellä työmaalla. Myös toisella työmaalla se oli laadittu, mutta urakan edetessä suunnitelmaa ei ollut päivitetty. Kahdella työmaalla suunnitelmaa ei ollut tehty lainkaan.

Materiaalit välivarastoitettiin kaikilla työmailla. Varastopaikkoina toimivat useimmiten autotallit, rakennusten pyörävarastot ja muut katutasossa sijaitsevat taloyhtiön tilat. Monella työmaalla oli käytössä varastokontteja ja teltoja, sillä kaikki materiaalit eivät mahtuneet

rakennusten sisään. Lisäksi osa materiaaleista varastoitiin ulos taivasalle. Myös työmaatoimistossa varastoitiin osa materiaaleista.

Haastatteluiden edetessä selvisi, miten tärkeää tavaroiden vastaanottaminen oli niiden löytymisen kannalta. Kaikilla työmailla oli nimetty vastuuhenkilö, joka otti toimitukset vastaan. Yleensä hän oli yksi kirvesmiehistä, mutta yhdellä työmaalla vastuuhenkilönä oli työnjohtaja. Osa haastateltavista oli nimetty vastuuhenkilöksi. He kertoivat, että tavaroiden löytäminen on helppoa ja lisäksi heiltä kysyttiin usein, mihin tavarat olivat varastoitu. Vastaavasti osalla heistä, jotka eivät olleet tässä roolissa, oli vaikeuksia löytää tavaroita varastoista ja tavaroiden sijainnit olivat jokseenkin epäselviä. Suurin osa haastatelluista kirvesmiehistä toi esille, miten tärkeä vastaanottajan rooli on. Vastaanottamiseen kuului materiaalien siirtäminen pihalta varastoihin.

Työmaat erosivat toisistaan logistiikkaresurssien näkökulmasta. Kaikilla työmailla oli suhteellisen samankaltainen kalusto käytössä, kuten pumppu- ja nokkakärret, mutta henkilöresurssit vaihtelivat. Kahdella työmaalla oli palkattu täysipäiväiset apumiehet, joiden yhtenä tehtävänä oli materiaalsiirroista huolehtiminen. Yhdellä työmaalla apumiehet tulivat tarvittaessa kantamaan suuria ja painavia kuormia ja yhdellä työmaalla kirvesmiehet kantoivat kaikki tarvitsemansa materiaalit työpisteisiinsä. Apumiehet huolehtivat myös lähtevästä logistiikasta, kuten suurien jätteiden ja ylijäämämateriaalien siirtämisestä pois asunnosta ja rakennuksesta. Työnjohdon ja työntekijöiden näkemykset siivouksesta olivat samanlaiset. Kaikilla työmailla asentajilla oli vastuu siivota omat jälkensä. Myös haastatteluissa he kertoivat sen. Kaikki haastatellut työntekijät kertoivat siivoavansa jälkensä, mutta samaan lauseeseen sanoivat, että kaikki eivät sitä tee. Kaikki työnjohtajat olivat asiasta samaa mieltä.

#### **4.1.4 Roolit ja vastuut**

Haastatteluissa selvitettiin muun muassa materiaalien hankintavastuita. Hankkeissa tehtiin materiaalihankintoja sekä toimistolta että työmaalta käsin. Kaikkien työmaiden työnjohto oli yhtä mieltä siitä, että nykyinen jako, jossa toimistolta käsin hankittiin laatat ja kalusteet ja työmaalta loput, on pääpiirteittäin selkeä. Sekaannusta aiheuttavat ainoastaan urakan ulkopuoliset tuotteet ja erikoistuotteet. Ne tulivat työmaille yleensä liian aikaisin ja niissä olevat merkinnät olivat puutteellisia. Turhan usein tällainen tavara päätyi väli-varastoon odottaman ja kun sitä tarvittiin, ei muistettu missä se oli tai mihin asuntoon se kuului.

Vastuisiin liittyen työnjohdolta kysyttiin, mikä on asentajien vastuu materiaaleihin liittyen. Kaikki olivat yhtä mieltä siitä, että asentajan velvollisuus on ilmoittaa kaksi päivää ennakkoon varaston loppumisesta, jotta työnjohtaja ehtii tilata täydennystä. Asentajilta kysyttäessä, mikä on työnjohdon velvollisuus, he vastasivat sen olevan materiaalin tilaaminen heidän ilmoituksestaan. Poikkeuksena kaksi kirvesmiestä painotti, että työnjohdon

vastuu on kokonaisvaltaisempi. Työnjohtajat ovat viime kädessä vastuussa, että materiaalit ovat työmaalla silloin, kun niitä tarvitaan. Painotettiin myös, että uuden työvaiheen alkaessa työnjohdolla on velvollisuus varmistaa, että aloitusedellytykset materiaalien osalta täyttyvät. Nykyisessä tilanteessa sekä työnjohto että työntekijäpuoli olivat tietoisia siitä, että toimintatavan ongelmiksi muodostuvat he, jotka eivät ilmoita materiaalien loppumisesta ennakkoon.

#### **4.1.5 Visio tulevaisuudesta**

Haastattelujen viimeinen osio koostui pääasiassa kehitysehdotuksista. Työnjohdon kehityskohdista voi hahmottaa kolme erillistä osa-aluetta: varastointi, informaatio ja tilaustiheys. Osa työnjohtajista näki, että tulevaisuudessa materiaalit varastoidaan lähes poikkeuksetta asuntoihin. Ainoastaan työstämistä vaativat tuotteet, kuten esimerkiksi kipsilevyt, voisi varastoida muualla. Informaatiolla tarkoitetaan pakkausten parempaa merkitsemistä, jotta tuotteet löytäisivät helpommin asuntoihin, joihin ne ovat tarkoitettu. Moni työnjohtaja toivoi, että tulevaisuudessa selvittäisiin lukumääräisesti vähemmällä tilauksilla viikkoa kohden. Yksi tai kaksi rautakauppatilausta viikossa olisi tavoiteltava määrä. Keinoksi ehdotettiin toimitusten sitomista aikatauluun työmaan valmisteluvaiheessa.

Työntekijöiden haastatteluissa nousi esille huomattavan paljon enemmän kehityskohtia. Varastointitilat nousivat useimmiten esille. Toivottiin enemmän varastointitilaa, parempaa varustelua ja läheistä sijaintia työpisteeseen nähden. Osa ehdotti varastointia asunnoissa. Tuotteiden huoneistokohtaisella merkitsemisellä nähtiin olevan hyötyjä ja sitä toivottiin tulevaisuudessa. Työntekijöiden keskuudessa materiaalsiirroista vastaavat logistiikkahenkilöt, nähtiin hyödyllisenä resurssina tulevaisuudessa. Heidän vastuunsa voisi laajentaa koskemaan myös tavaroiden vastaanottoa ja järjestyksen ylläpitämistä.

### **4.2 Tapauskohteen tiedot**

Korjauskohde oli vuonna 1955 rakennettu kerrostalo Roihuvuoressa, Helsingissä. Talo oli neljäkerroksinen, siinä oli 20 korjattavaa asuntoa ja jokaisessa kerroksessa oli yksi yksiö ja neljä isompaa asuntoa. Kohde toteutettiin kohdeyrityksen, suunnittelutoimiston ja taloyhtiön välisenä allianssina. Kohteen tavoiteaikataulu huoneistojen osalta oli kaksi viikkoa. Logistiikkasuunnitelman tekeminen aloitettiin kaksi kuukautta ennen huoneistojen korjauksen aloitusta.

### **4.3 Tapauskohteeseen valitut logistiikkaratkaisut**

Logistiikan kehitysprojekti alkoi materiaalitarpeiden määrittelyllä. Yksi tärkeimmistä tehtävistä oli selvittää kaikki materiaalit, joita hankkeessa tarvittiin. Ainoastaan määrittämällä jokainen tuote, joka toteutusvaiheessa käytetään, voitiin varmistua siitä, että oi-

keat tuotteet olivat saatavilla oikeassa paikassa oikeaan aikaan. Prosessi aloitettiin selvittämällä urakan sisältö LVI-, RAK- ja arkkitehtiipiirustusten avulla. Selvitetty urakan sisältö jaettiin työvaiheisiin, joiden pohjalta mietittiin, mitä materiaaleja kyseinen työvaihe tarvitsi. Tuotteiden nimeämisessä käytettiin hyväksi suunnitelmia, valmistajien työohjeita ja työnjohdon kokemusta. Vapaavalintaiset tuotteet etsittiin rautakaupan tuoteluettelosta. Ensin selvitettiin urakanmukaiset tuotteet, jonka jälkeen käytiin läpi huoneistoista tehdyt kortit, joista kävi ilmi urakasta poikkeavat tuotteet ja tilatut lisätyöt. Jokainen käytettävä tuote listattiin Exceliin omalle riville. Tämän jälkeen sarakkeille kirjattiin huoneistojen numerot. Määrät laskettiin taulukon tuotteiden ja huoneistonumeron risteämiskohtaan. Laskennassa käytettiin apuna paperisia kuvia, suunnitelmien pdf-tiedostoja, PDF-mittausvälineitä, valmistajan antamia menekkiarvioita ja työnjohdon kokemukseen perustuvaa tietoa. Taulukossa 1 on havainnollistettu materiaalilistaa, johon tuotteet koottiin.

***Taulukko 1. Materiaalilistaan on koottu kaikki oleellinen tieto koskien toimitusta. Lista tehtiin valmiiksi hyvissä ajoin ennen toimitusta, jotta tavarantoimittajalle jäi tarpeeksi aikaa valmistautua toimituksiin.***

toimituspäivämäärä	11.11.2016 klo 23.00				
Kerros	1. kerros				
<b>HUONEISTO</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>
<b>Alakatto</b>					
runkopuu 48*48mm mitallistettu n. 1,5m (kpl)	7	7	7	7	7
valkolakattu paneeli 120*14 STP n. 1500mm (kpl)		16			
valkoinen paneeli 120*14 STP n. 1500mm (kpl)	16		16	16	16
varjolista 15*18*3600 valkoinen (kpl)	2		2	2	2
varjolista 15*18*3600 valkolakattu (kpl)		2			

Eräkokojen päättämiseen oli kolme reunaehto. JIT-periaatteita noudattaen haluttiin, että varastot pysyisivät työmaalla minimaalisina. Tämä edellytti sitä, että tavarat saapuisivat päivän tai kaksi ennen työvaiheen alkua. Toiseksi tavoiteltiin, että edellisen erän materiaali olisi ehditty käyttää ennen seuraavaa toimitusta, jotta tavara ei kasautuisi asuntoihin. Tämä oli tilarajoitteen edellyttämä reunaehto ja osa JIT-toimintatapaa. Kolmanneksi pidettiin hyvänä ideana sitä, että toimitukset saapuisivat työajan ulkopuolella, jotta ne eivät häiritse käynnissä olevia työvaiheita. Viimeinen reunaehto aiheutti sen, että toimituksia



voitiin vastaanottaa vain kerran päivässä. Näiden ehtojen pohjalta kaikki tarvittava materiaali jaettiin viiteen toimitussisällöltään erilaiseen kokonaisuuteen. Kokonaisuudet olivat suojaustarvikkeet, lattiavalu, kotelot, vedeneristys ja laatoitus ja alakatto ja kalusteet. Lattiavalut, alakatto ja kalusteet toimitettiin kahdessa erässä kaksi kerrosta kerrallaan suuren kokonsa vuoksi. Toimituskokonaisuudet muodostettiin myös urakkarajojen kannalta järkevästi. Toimituserät sidottiin aikatauluun.

Toimitusajankohdaksi valittiin klo 22.30 - 23.00 välinen aika, jolloin työt olivat jo loppuneet. Kahden viikon nopean läpimenon seurauksena seitsemästä toimituksesta yksi, suojaustarvikkeet, saapui aloitusta edeltävänä viikkona. Muut toimitukset saapuivat sovitusti viikon jokaisena päivänä maanantaista perjantaihin. Taulukossa 2 on kohteen toimitusaikataulu.

***Taulukko 2. Kaikki rakennusvaiheen toimituserät aikataulutettiin ennakkoon, jotta toimituksista ei tarvinnut huolehtia rakentamisen aikana.***

torstai	3.11.2016	Suojaustarvikkeet 1, 2, 3 ja 4.kerros klo 8.00
perjantai	4.11.2016	
lauantai	5.11.2016	
sunnuntai	6.11.2016	Lattiavalut 4. ja 3. kerros klo 23.00
maanantai	7.11.2016	Lattiavalut 2. ja 1.kerros klo 23.00
tiistai	8.11.2016	Kotelot 4., 3., 2. ja 1. kerros klo 23.00
keskiviikko	9.11.2016	Vesieristeet, laastit ja laatat 4., 3., 2. ja 1. kerros klo 23.00
torstai	10.11.2016	Alakatto ja kalusteet 4. ja 3.kerros klo 23.00
perjantai	11.11.2016	Alakatto ja kalusteet 2. ja 1.kerros klo 23.00

Hankkeessa oli käytössä logistiikkakeskus. Se sijaitsi läheisen rautakaupan tiloissa, jonka hallista oli varattu suurehko alue projektin toimitusten yhdistelylle eli setitykselle. Kuiden ulkopuolisen toimittajan materiaalit kuljetettiin ensin logistiikkakeskukseen, jossa ne yhdisteltiin huoneistokohtaisesti, jonka jälkeen ne saapuivat työmaalle ennalta sovitun aikataulun mukaisesti. Kuormien yhdistelystä vastasi pääasiassa rautakauppa. Setteihin sisältyi kaikkien rakentamisessa käytettävien materiaalien lisäksi myös LVI-kalusteet, koska ne vaihtelivat asunnoittain ja siten huoneistokohtaisesta merkinnästä oli hyötyä. Lopulliset listat materiaaleista toimitettiin rautakauppaan kolme viikkoa ennen aloitusta, jotta heillä oli tarpeeksi aikaa yhdistellä kuormat ja hankkia tilaustuotteet. Terminaalissa tuotteet yhdisteltiin edellä mainittujen toimituserien mukaan. Toimituksien sisällön kevyet tavarat pakattiin rullakoihin ja painavat tavarat, kuten laastit, pakattiin lavoille. Jokaiseen rullakkoon ja lavaan oli merkitty sen määränpää. Tietoina olivat osoite, toimituserän nimi, kerros, asunto ja toimitusajankohta. Merkitsemisellä mahdollistettiin tavaroiden päätyminen oikeaan paikkaan työmaalla. Kuvassa 5 on kahden toimituserän materiaaleja. A4 paperilla näkyy paikkatiedot, johon erät ovat menossa.

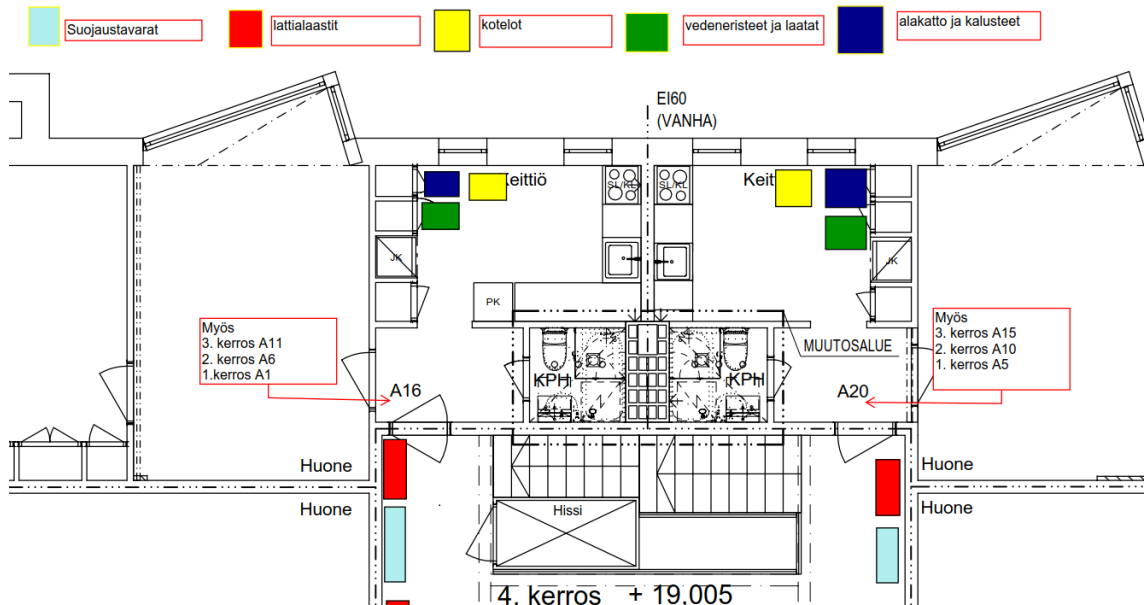


***Kuva 5. Oikealla olevassa rullakossa on osa yhden kerroksen suojausmateriaaleista ja vasemmalla lavalla yhden asunnon toinen toimituserä. Kuva on otettu tavarantoimitajan varastolta noin kaksi viikko ennen ensimmäisen erän toimitusta. (kuva: Juho Tilli)***

Logistiikan parannusprojektin tavoitteena oli nostaa esivalmistusastetta. Tämä tapahtui kirvesmiehen valmistelevilla töillä logistiikkakeskuksessa, tilaamalla tuotteita erikoismitoilla ja tilaamalla pidemmälle jalostettuja tuotteita toimittajilta. Esimerkiksi alakaton paneelit ja runkopuut sahattiin valmiiksi määrämittäiseksi ennen työmaalle toimitusta. Lisäksi rautakauppa tilasi rauditusverkot kunkin kylpyhuoneen mitoilla ja kuivissa tiloissa käytettävät putkikotelot tilattiin valmiina. Valmiskoteloiden käyttö vähensi kipsilevyn leikkaamista, kotelon rakentamista ja kittaus- ja maalaustöitä.

Toimitukset saapuivat työmaalle täsmätoimituksina. Samaan aikaan saapui ”logistiikkahenkilökunta”, jonka tehtävänä oli siirtää materiaalit kuorma-autosta asuntoihin. Siirtohenkilöitä tarvittiin yksi, kaksi tai kolme henkilöä kuskin lisäksi toimituserästä riippuen. Painavia laastisäkkejä varten tarvittiin useampi kantaja kuin kevyiden suojausmateriaalien toimituksessa. Heidän työnsä helpottamiseksi suurin osa tavaroista pakattiin rulla-

koihin. Tämä nopeutti siirtoprosessia. Kantajilla oli käytössään myös pumppu- ja nokka-kärryt. Talossa oli hissi, jota oli mahdollista käyttää materiaalien siirtämiseen. Kantajilla oli käytössään aluesuunnitelma, jotta he osasivat kantaa tavarat suunnitelluille paikoille. Kantajat kävivät ennakkoon tutustumassa kohteeseen. Samaan aikaan mitattiin hissien mitat ja kantavuus. Näin välttyttiin hissien rikkoutumiselta siirtoprosessin aikana. Kuvassa 6 on osa talon sisäpuolista aluesuunnitelmaa.



**Kuva 6. Rakennuksen sisäpuoliseen aluesuunnitelmaan on merkitty, missä toimituserät varastoidaan. Suunnitelmaa tehtiin, jotta logistiikkahenkilökunta osasi kantaa tavarat oikeille paikoille.**

Aluesuunnitelmia tehtiin kaksi kappaletta, toinen talon sisäpuolelle ja toinen ulkopuolelle. Logistiikan kannalta merkitykselliset asiat, kuten tavarankuljetuspaikka, merkittiin ulkopuoliseen aluesuunnitelmaan (Liite B). Suunnitelmat olivat näkyvillä koko työmaalla, jotta purkupaikka osattiin pitää vapaana. Sisäpuolen aluesuunnitelmaan merkittiin varastointipaikat huoneistoissa ja porraskäytävillä. Suojaustavarat varastoitiin porraskäytävälle, koska asunnoissa asuttiin vielä ensimmäisen kuljetuksen saapuessa. Varastopaikkoja suunniteltaessa ideana oli, että tavarat varastoidaan asuntojen keittiöihin. Yksinkertaisuuden kannalta oli järkevää, että materiaalit löytyvät samasta paikasta jokaisessa asunnossa. Keittiöt suojattiin automaattisesti joka asunnossa, sillä ne ovat aina työaluetta. Lattiaaastit päädyttiin varastoimaan porraskäytävään suuren määrän takia.

Hankkeessa ei käytetty VMI-periaatteella täydennettävää pientarvikekaappia. Pientarvikkeet varastoitiin sinne, missä niitä käytettiin. Kaappi olisi pitänyt varastoida katutasoon, josta olisi ollut pitkä matka työpisteeseen. Pientarvikkeet tilattiin työmaalle rautakauhasta. Ne varastoitiin ylimpään kerrokseen, josta ne kulkivat työntekijöiden mukana alas-päin.

## 4.4 Tapauskohteen kokemukset

Suunniteltujen logistiikkajärjestelyjen vaikutuksia työmaahan ja asentajiin selvitettiin haastattelujen avulla. Tuloksia varten haastateltiin vastaavaa mestaria ja viittä aliurakoitsijaa. Heistä neljä oli kirvesmiehiä ja yksi oli laatoittaja. Haastattelut suoritettiin hankkeen jälkeen aikavälillä 24.11.2016 – 9.12.2016. Haastattelut toteutettiin teemahaastatteluiluina. Työnjohtajaa haastateltiin kasvotusten ja muut haastattelut toteutettiin soittamalla. Työnjohdon haastattelussa kartoitettiin havaintoja logistiikkasuunnitelman pätevydestä ja kerättiin palautetta toimintatapojen jatkojalostamista varten. Haastattelun aiheet kattoivat koko logistiikkaprosessin ja pitivät sisällään seuraavat pääotsikot: määrälaskenta, eräkoot, toimitussisällöt, toiminta logistiikkakeskuksessa, toimitusajat, hankintavastuut, materiaalien loppuminen ja puuttuminen, hyödyt, palaute ja jätteiden hallinta. Työntekijäosapuolen haastatteluiden tarkoitus oli selvittää heidän kokemukset ja kerätä palautetta toimintatavoista, joilla oli heidän työhönsä suurin merkitys. Teemahaastattelurungot ovat liitteessä A. Kaikki haastattelut nauhoitettiin.

### 4.4.1 Tilaus ja toimitus

Asuntokohtaisen määrälaskennan seurauksena materiaalihukkaa pystyttiin pienentämään suurimmassa osassa tuotteita. Toisaalta joidenkin tuotteiden menekki oli epävarma rakenteellisista asioiden vuoksi. Esimerkiksi seinärappaus- ja lattiavalulaastien menekkien arviointi tuotti ongelmia, koska ne vaihtelivat suuresti. Materiaalihukkaa lisäsi koko talon tuotteiden tilaaminen kerralla. Menekkejä ei voitu muuttaa seuraavaa erää varten, koska yhden työvaiheen materiaalit tulivat pääosin yhdessä kuormassa. Kahden erän toimituksissa muutosta ei ehditty tekemään.

Eräkokojen valinta oli kompromissi. Työnjohdon näkemyksen mukaan vieläkin pienemmät eräkoot olisivat olleet parempi vaihtoehto, jotta varastot asunnoissa olisivat pysyneet pienempinä, koska tilat aiheuttivat rajoituksia. Tämä olisi kuitenkin aiheuttanut kaksi toimitusta päivässä, jolloin ainakin toinen toimituksista olisi tullut työaikana ja tätä haluttiin välttää.

Toimitussisällön täsmällisyyteen oltiin tyytyväisiä. Noin 150 tuotteen joukosta löytyi vain muutama poikkeus, jotka eivät vastanneet tilattua. Eräs tavara tuli erikokoisena kuin oli tilattu, sillä rautakauppa toimitti pyydettyä kokoa lähimpänä olevaan tuotteen ja yhdestä tuotteesta puuttui huoneistonumerointi, joka aiheutti tuotteen päätyminen väärään paikkaan.

Vastaavan mestarin mukaan toiminta logistiikkakeskuksessa oli suunnitelmien mukaista. Tuotteiden jatkojalostamisen onnistuminen näkyi määrämittaisina tuotteina työmaalla, jotka olivat nopeasti asennettavissa. Havaittiin vain pieniä poikkeamia. Rautakaupan ulkopuoliset toimittajat toimittavat osan materiaaleistaan myöhemmin kuin oli sovittu, mutta tarpeeksi ajoissa, jotta setit saatiin kasattua. Toinen poikkeus syntyi, kun laatat ja

kalusteet olivat samoilla lavoilla, vaikka niillä oli eri toimituspäivät. Tämä aiheutti hie-  
man valmistelevien töiden lisääntymistä logistiikkakeskuksessa.

Toimitusajankohtaan oltiin tyytyväisiä. Toimitukset tulivat sovitun aikaikkunan sisällä  
22.30-23.00, kun työt oltiin lopetettu ja rakennus ehditty siivota. Päivätoimitukset eivät  
olisi tulleet kyseeseen, sillä urakoitsijoita oli niin paljon töissä, että materiaalitoimitukset  
olisivat sotkeneet työmaan sisäisen liikenteen. Kaikki haastatellut työntekijät olivat tyy-  
tyväisiä huomaamattomiin materiaalien toimitusajankohtiin.

#### **4.4.2 Logistiikka työmaalla**

Kaikki haastateltavat olivat pääosin tyytyväisiä huoneistokohtaiseen varastointiin. Neljä  
viidestä aliurakoitsijasta koki, että varastot eivät missään vaiheessa kasvaneet liian suu-  
riksi, jotta ne olisivat häirinneet työtä. Asuntokohtainen varastointi toi monenlaisia hyö-  
tyjä. Jokainen työntekijä toi esille, että turha liikkuminen väheni huomattavasti. Lisäksi  
työntekijät olivat erittäin tyytyväisiä, ettei materiaaleja tarvinnut itse kantaa asuntoihin.  
Logistiikkahenkilöstö kuljetti materiaalit talon sisäisen aluesuunnitelman mukaisiin paik-  
koihin muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Neljä työntekijää viidestä koki, että etsi-  
minen väheni huomattavasti. Lisäksi kirvesmiehet toivat esille, että paneelialakaton mää-  
rämittaiset materiaalit toivat säästöjä sekä valmistelevan työn vähentämisenä, mutta myös  
käsittelemisen helppoutena. Asentajat kokivat, että heidän työtehokkuutensa parani hu-  
oneistokohtaisen varastoinnin seurauksena. Osa työntekijöistä arvioi ratkaisujen tuoneen 1  
- 2 tuntia lisää tehokasta työaika työpäivään. Kuvassa 7 ja 8 nähdään, että osa tavaroista  
sopivat hyvin varastoitavaksi asunnoissa ja porraskäytävässä niille varatuille paikoille.

Varastointi yksiöihin tuotti ongelmia. Haastatteluissa tuli ilmi, että kaikki yksiöihin kuu-  
luvat tavarat eivät mahtuneet suunniteltuun paikkaan, vaan ne jouduttiin varastoimaan  
muualle. Samalla hävisivät osa hyödyistä, sillä tämä aiheutti ylimääräistä etsimistä. Ke-  
hitysehdotuksena tuotiinkin esille, että suuremmat alueet asunnoista olisi pitänyt suojata,  
jotta ne olisi saatu varastointikäyttöön. Tämä korostui varsinkin yksiöiden osalta, jonka  
ainoan huoneeseen oli rakennettu suojaseinä keskelle huonetta. Tilanpuute kuitenkin  
konkretisoitui kaikkien asuntojen keittiöissä, sillä keittiökalusteet purettiin keittiöön ja  
säilytettiin siellä myöhempää kasaamista varten. Kuva 9 on erään asunnon keittiöstä.  
Siinä nähdään, että liian suurien varastojen pitäminen asunnossa aiheuttaa epäjärjestystä.



***Kuva 7. Asuntojen olo- ja makuuhuoneet olivat suojattu, jotta tavarat mahduttiin varastoimaan asuntoon. Kuvassa yhden asunnon allas- ja peilikaappi sekä LVI-kalusteet. (kuva: Mikko Jauhiainen)***



***Kuva 8. Porraskäytävä oli tavallista suurempi ja siinä varastoitiin toisen erän mukana tulleet rappauslaastit ja lattiamassat. (kuva: Fira Palvelut Oy)***



***Kuva 7. Keittiön käyttäminen varastona ei ollut mutkatonta, sillä puretut keittiökaapit, kodinkoneet ja uudet kylpyhuonekalusteet veivät paljon lattiapinta-alaa. Lisäksi asentajien työkaluja ja telineitä säilytettiin satunnaisissa paikoissa. (kuva: Mikko Jauhainen)***

Kehitysehdotuksia kysyttäessä jokainen haastateltava koki pientarvikkeiden järjestämisen ja varastoinnin huonona käytäntönä. Pientarvikkeet oli vaikea löytää, koska ne sijaitsivat muovipusseissa. Olisi kaivattu visuaalisuutta, jotta pientarvikkeet olisivat löytyneet helpommin. Osa haastatelluista kirvesmiehistä toi myös esille sen, että pientarvikkeet olisi parempi varastoida keskitetysti yhteiseen paikkaan ennemmin kuin kuhunkin asuntoon erikseen.

Rakennusjätteiden siivouksen ja ylijäämämateriaalien siirtämisen pois työkohteista voidaan laskea kuuluvaksi sisälogistiikkaan. Toimintatavat jakoivat mielipiteitä. Alkuperäisen suunnitelman mukaan rakennus piti siivota kaksi kertaa päivässä, mutta loppujen lopuksi se siivottiin vain iltaisin. Toisaalta haastatteluissa tuotiin esiin se, että aamulla oli hyvä aloittaa työt siivotussa ympäristössä. Nopean toteutuksen takia jätettä kertyi kuitenkin päivän mittaan niin paljon, että toisinaan sen koettiin olevan haitaksi työnteon kannalta. Työntekijät toivat myös esille, miten tärkeää oli käyttämättömien tavaroiden kuljettaminen pois asunnosta nopeasti sen jälkeen, kun työvaihe päättyi.

Tavaroiden loppumisilta tai puutteilta ei vältytty. Näille oli kolme pääsyytä. Materiaalia tilattiin liian vähän, tilattiin vääriä tuotteita ja rakenteelliset yllätykset lisäsivät menekkiä. Esimerkiksi lattiavalumassaa tilattiin liian vähän, koska laatan keskivahvuuden toteuma oli suurempi kuin oli laskettu. Osa pientarvikkeista oli vääränlaisia, koska asentajat olivat

tottuneet käyttämään toisenlaisia kiinnikkeitä kuin oli tilattu. Lisäksi erilaisten pientarvikkeiden suuri lukumäärä hankaloitti tarpeen hahmottamista ja pieni osa jäi tilaamatta. Rakenteelliset yllätykset, kuten viemärin kulkeminen seinän sisässä johtivat siihen, että koko seinä purettiin ja rakennettiin uudestaan. Uutta työvaihetta varten materiaalit piti hankkia erikseen.

Yhteenvedona hyödyistä voidaan mainita, että materiaalien varastointi huoneistoissa oli suurin yksittäinen tekijä, josta annettiin positiivista palautetta. Se aiheutti hukan vähene- mistä, joka koostui kulkemisen ja etsimisen vähenemisestä.

## 4.5 Työmaiden ostokäyttäytyminen

Syventääkseen kuvaa logistiikkasuunnitelman vaikutuksesta työmaahan analysoitiin ostokäyttäytymistä. Ostolaskujen tiedot tuotiin taloushallintajärjestelmästä Exceliin toimit- tajaakohtaisesti, jossa ne analysoitiin. Analyysissa ei eritelty hankintapaikkoja eikä osto- ajankohtia. Ostolaskujen analyysissä laskettiin työmaakohtaiset tunnusluvut ja hankkei- den kokoa verrattiin syntyneiden ostolaskujen määrään. Koon mittareiksi valittiin korjat- tujen asuntojen lukumäärä, sillä se kuvastaa parhaiten hankkeen kokoa. Hankkeet olivat pääasiassa 2016 aloitettuja ja valmistuneita hankkeita. Taulukkoon 3 on koottu yhteen- veto ostolaskujen tuloksista.

**Taulukko 3. Työmaiden tunnusluvut koottuna taulukkoon.**

Työmaat	asunto- jen lkm	laskujen määrä	laskujen lkm/asunto- jen lkm	laskujen kes- kiarvo	alakvar- tiili 25%	laskujen medi- aani	yläkvar- tiili 75%
Case-työmaa	20	76	3,8	1748	83	339	871
Vertailutyömaa 1	92	469	5,1	930	160	431	1299
Vertailutyömaa 2	44	294	6,7	1301	110	463	1538
Vertailutyömaa 3	62	276	4,5	1240	121	436	1357
Vertailutyömaa 4	200	488	2,4	1536	154	612	1974
Vertailutyömaa 5	83	214	2,6	1256	126	468	2156
Vertailutyömaa 6	31	178	5,7	593	97	231	451
Vertailutyömaa 7	48	332	6,9	876	136	338	914

Taulukosta nähdään, että hankkeiden koot vaihtelivat 20 ja 200 asunnon välillä, laskujen määrän vaihdellessa 76 ja 488 välillä. Oleellinen tunnusluku, laskujen lukumäärä asuntoa kohti, vaihteli 2,4 ja 6,9 välillä. Tapauskohteessa luku oli 3,8 ja se oli vertailun kolman- neksi pienin. Laskujen keskiarvoissa oli työmaiden välillä eroja ja suurin arvo oli 1802 ja pienin arvo 593 euroa. Alakvartiili, pienin neljännes, vaihteli 83 ja 177 euron välillä. Me- diaani, joka on laskujen suurusjärjestyksessä keskimäinen luku, vaihteli 339 ja 612 eu- ron välillä. Yläkvartiili, suurin neljännes, vaihteli 451 ja 2156 euron välillä.



## 4.6 Tulosten tarkastelu

Nykytila-haastattelut antoivat paljon arvokasta tietoa työmaiden tilanteesta. Kävi selväksi, että tutkittujen rakennustyömaiden varastohallinta ei vastannut täydellisesti mitään teoreettista mallia. Työmaan varastohallinta muistutti osittain vakiomäärien tilaus jatkuvan seurannan avulla. Varastojen seuranta perustui työntekijöiden havainnointiin. Materiaalia tilattiin lisää, kun työntekijät huomasivat varastotason laskeneen alarajalle. Aina ei kuitenkaan tilattu vakiomäärää lisää, sillä haastatteluissa ilmeni, että hankkeen alussa tilataan suurempia eriä kuin hankkeen lopussa. Toisaalta, jos työnjohtaja seurasi varastotilannetta, se muistutti enemmän vakioaikavälein tehtävää seuranta ja tilaamista. Tällöin kaikkia varastoja ei kuitenkaan täydennetty ylärajalle yhdellä kerralla, niin kuin malli olisi edellyttänyt. Ylärajalle täydennettiin ainoastaan alarajalle laskeneet tuotteet. Edellä mainitut kaksi mallia eivät kattaneet kaikkia tuotteita. Toimistolta tehtäviin hankintoihin käytettiin vakiokysynnän menetelmää, koska kylpyhuonekalusteiden määrä hankkeessa on sama kuin asuntojen määrä. Rakennustyömaille on siis tyypillistä, että varastojen täydennys on sekalainen kombinaatio erilaisia malleja. Mainittakoon, että työmaat tuskin olivat määrittäneet varastojen ylä- ja alarajoja. Kyseessä on teoriassa esiintyvä termi.

Mullerin (2002) varastojen järjestelysteemeistä ensimmäinen perussysteemi, muistinvarainen systeemi, vaikutti olevan hyvin lähellä rakennustyömaan nykytilannetta. Alue suunnitelman puuttuessa tavarat varastoitiin satunnaisiin, vastaanottajan parhaaksi katsomiin, paikkoihin. Lisäksi asentajien ilmoitusvelvollisuus varastotasojen laskiessa kertoi siitä, että varaston seuranta perustui muistiin. Muistinvaraisen systeemin soveltuvuudesta rakentamiseen voi olla montaa mieltä. Se edellyttää, että varastojen määrä, koko ja varastoitavien tuotteiden lukumäärä on rajattu. Varastotilojen koko ja määrä ovat varmasti tarpeeksi rajoitettu työmaalla, jotta muistinvarainen systeemi on perusteltu. Lisäksi varaston sisältö ei juurikaan muutu projektin edetessä ja varastoilla ei ole liikettä. Nämä asiat puoltavat muistinvaraisen systeemin toimivuutta. Arvioni mukaan linjasaneerauksessa käytettävien erilaisten tuotteiden lukumäärä on noin 200. Luku vaikuttaa liian suurelta ihmis mielellä hallittavaksi. Lisäksi muistamista vaikeuttaa se, että varastot ovat useassa paikassa. Seuraavatkaan systeemin edellyttämät ehdot eivät täyty, sillä varastoa käyttävät lähes kaikki työntekijät, varastolle ei ole nimetty erillistä henkilökuntaa ja määrän tarkistaminen visuaalisesti ei ole helppoa. Tutkimustulos (Tanskanen et al. 2009) vahvistaa, että työntekijöillä on suuria puutteita muistaa, mitä on missäkin ja kuinka paljon. Tällainen toiminta johtaa eittämättä hukkaan, sillä aikaa kuluu tavaroiden etsimiseen.

Tapauskohteen varastohallinta oli selkeästi luokiteltavissa vakiokysynnän malliin kaikkien muiden tuotteiden paitsi pientarvikkeiden osalta. Tämä oli seurasta ennakkoon tehtävästä materiaalilistasta, johon kirjattiin kaikki huoneistojen korjausvaiheessa tarvittavat materiaalit ja määrät. Tapauskohteessa materiaalit varastoitiin aluesysteemin mukaisesti. Alueet olivat ennalta määriteltä ja ne sijaitsivat sekä asunnoissa että porraskäytävillä.

Alueet olivat merkitty pohjakuvaan. Alueiden sisällä materiaalit saivat kuitenkin sijaita missä järjestyksessä tahansa, jolloin tuotteille ei ollut vakiopaikkoja.

Tapauskohteessa havaittiin osa hyödyistä, joita kirjallisuudessa tunnetaan. Varastotilan väheneminen oli yksi helpoiten tunnistettavista hyödyistä. Toisin kuin monella vertailutyömaalla, tapauskohteessa mitään materiaaleja ei varastoitu ulkona. Lisäksi varaston kiertonopeus parani, koska materiaalit tilattiin vain yksi tai kaksi päivää ennen kulutusta. Taulukossa 4 on vertailtu logistiikkaratkaisujen vaikutusta tapaustyömaan ja vertailutyömaiden välillä.

**Taulukko 4. Yhteenvedo logistiikkaratkaisujen vaikutuksesta työmaahan.**

Nykytilanne	Tapaus
useita tilauksia viikossa tarpeen mukaan	tilaukset suunniteltu ennakkoon
varastointipaikkoja ei ole suunniteltu	talon sisäinen aluesuunnitelma tehty
useat yleiset tilat varastoina	varastot asunnoissa
varastojen sisältö epäselvä	varastotilanne tiedetään
materiaalien etsimiseen ja kantamiseen kuluu aikaa	materiaalit kannetaan valmiiksi asuntoihin
työntekijä vastuussa materiaalin saatavuudesta	työnjohto vastuussa materiaalien riittäväydestä
saapuvat kuormat keskeyttävät työt	toimitukset tulevat työajan ulkopuolella
materiaalien prosessointi kaukana työkohteesta	määrämittaiset ja pidemmälle prosessoidut tuotteet sijaitsevat työkohteessa

Tapauskohteeseen antoi selviä viitteitä, että seitsemästä JIT-periaatteesta hukkaa pystyttiin vähentämään. Tämä kävi ilmi etsimisen ja kulkemisen vähenemisenä sekä määrämittaisten ja esivalmistettujen tuotteiden käyttönä. Imuohjausta käytettiin materiaalitoimitusten aikataulutuksessa, sillä materiaalit saapuivat tyydyttämään rakennustyön aiheuttamaa kysyntää. Häiriötön työnkulku on osittain yhteydessä hukan vähentämiseen. Tämäkin JIT-periaate toteutui ainakin osittain, sillä rakennusvaihe valmistui äärimmäisen kireässä kahden viikon aikataulussa. Neljäs JIT-periaate, jota noudatettiin, oli yhteistyö toimittajien kanssa. Rautakaupan kanssa tehtiin alusta asti yhteistyötä, jotta päivittäiset toimitukset toteutuivat suunnitellusti. Kolmea muuta periaatetta, jotka olivat TQC, työntekijöiden osallistuminen ja jatkuva parantaminen, ei juurikaan sovellettu.

Kvantitatiivinen analyysi antoi ristiriitaisia tuloksia. Tapauskohteen laskujen määrä suhteessa asuntojen määrään oli 3,8 ja se oli kahdeksasta kohteesta kolmanneksi pienin. Tapauskohteessa laskun euromääräinen keksiarvo oli 1802 euroa, ollen kaikista vertailutyömaista suurin. Toisaalta kaikkien vertailutyömaiden mediaaniarvot olivat suurempia kuin tapauskohteen. Vaikuttaisi siltä, että tapauskohteessa oli paljon suuria ja paljon pieniä hankintoja. Kun otetaan huomioon, että tapauskohteen alakvartiili oli 83 euroa, voidaan päätellä, että silläkään työmaalla ei noudoilta voitu kokonaan välttyä. Euromääräisesti

pienien hankintojen voi päätellä olevan noutoja, koska rahdin osuus kuljetuksesta on 100 euroa. Alakvartiili kertoo, että kaikilla työmailla tehdään paljon noutoja. Jos 200 laskusta 25% on noutoja, se tarkoittaa, että työmaan aikana noutoja tehtiin 50 kappaletta. Jos yksi nouto kestää tunnin, niin noutaja kuluttaa yli viikon työtunnit noutoihin yhden työmaan aikana. Tästä voidaan päätellä, että noudot aiheuttavat paljon hukkaa myös työn johtamisessa.

Kvantitatiiviseen analyysiin liittyy paljon epäluotettavuutta. On mahdollista, että laskutietoihin jäi koontilaskuja, vaikka koontilaskuja käyttävän yrityksen jokainen lasku käytiin läpi ja korjattiin useammaksi eräksi. Toinen epävarmuus liittyy aliurakkasopimuksiin. Osassa sopimuksia on voitu sopia, että aliurakoitsija toimittaa materiaalit. Silloin materiaalihankintojen osuus ei ole täysin vertailukelpoinen työmaiden välillä. Myös yritysten laskukäytännöt vaihtelevat. Eräs toimittaja, joka setittää tuotteet huoneistokohtaisesti, lähettää myös laskut huoneistokohtaisina erinä. Tällöin samana päivänä saapunut kuorma on saattanut aiheuttaa jopa kahdeksan laskun saapumisen. Yhden toimittajan useat samana päivänä tulleet laskut niputettiin yhteen, mutta on mahdollista, että kaikkia ei huomattu. Materiaalilaskut ovat voineet sisältää myös työtä. Tuloksissa esiin tullut laattojen kantopalvelu oli toimittajan järjestämä, joten palvelun osuus on toimittajan laskussa. Tätä ei huomioitu. Toisaalta sen merkitys ei ole suuri, koska kyseessä on yleensä alle 10 laskua per työmaa. Yhteenvetona voidaan todeta, että kvantitatiivisen analyysin tuloksia ei voi pitää erityisen luotettavina monen epävarmuutta aiheuttavan seikan vuoksi, mutta niitä voidaan pitää suuntaa antavina.

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimustyön tarkoituksena oli selvittää miten logistiikkaa pitäisi hallita, jotta asentajalla olisi oikea määrä oikeita tavaroita oikeaan aikaan oikeassa paikassa. Kysymykseen pyrittiin vastaamaan kirjallisuuden, osallistuvan havainnoinnin ja haastatteluiden avulla. Lisäksi analysoitiin tapauskohteen suunnitteluratkaisujen vaikutuksia ostokäyttäytymiseen kvantitatiivisesti.

Tutkimusongelman ratkaisemiseksi asetettiin tavoitteet, jotka pyrittiin saavuttamaan. Ensimmäisenä tavoitteena oli etsiä tunnetut logistiikkakäytännöt, joilla työmaatoteutus tapahtuu suunnitellusti. Kirjallisuudesta löytyi monia eri ratkaisuja kuhunkin logistiikan osa-alueeseen, kuten varastointiin, tilausten suunnitteluun ja tilausten aikataulutukseen. Ratkaisut ovat esiteltä toisessa ja kolmannessa kappaleessa. Parhaat käytännöt löydettiin Bertelsen & Nielsenin (1997) tutkimuksesta. Toisena tavoitteena oli soveltaa löydettyjä ratkaisuja tapauskohtaisissa. JIT-toimitusten pienet eräkoot ja työpistekohtainen varastointi olivat merkittävimmät ratkaisut, joita hankkeeseen sovellettiin. Kolmas tavoite, logistiikkaratkaisujen vaikutusten arviointi, selvitettiin haastattelemalla ja analysoimalla ostokäyttäytymistä. Haastatteluissa selvisi, että huoneistokohtainen varastointi ja huolellinen materiaalitarpoiden esisuunnittelu takasivat sen, että oikeat materiaalit olivat helposti saatavilla. Ylimääräinen liikkuminen ja etsiminen vähenivät. Pientarvikkeiden järjestäminen asuntokohtaisesti oli epäonnistunut ratkaisu ja liian vähäinen asuntojen suojaus varsinkin yksioissa keräsi kriittistä palautetta. Logistiikkaratkaisun merkitys ei käynyt yksiselitteisesti ilmi kvantitatiivisen analyysin tuloksista. Ostolaskujen määrä asuntoa kohti oli kolmanneksi pienin kahdeksan hankkeen vertailussa. Tulos kuitenkin kertoi, että materiaalihankintoja ei saatu suunniteltua niin yksityiskohtaisesti, että rautakauppanoudoilta olisi välttytty.

Yhteenvedon voi todeta, että tutkimusongelma pystyttiin ratkaisemaan. Tutkimuksessa käy ilmi, mitä mahdollisuuksia logistiikan järjestämiseen on ja mitä vaikutuksia ratkaisuilla on toteutukseen. Tutkimuksen perusteella tiettyjä toimenpiteitä voidaan suositella otettavaksi käyttöön linjasaneeraushankkeissa. Materiaalilistan teko osana rakennustyömaan esisuunnittelua on ensimmäinen suositeltava asia. Huolellinen suunnittelu takaa, että minimoidaan materiaalipuutteet. Materiaalilistan teko luo järjestelmällisyyttä koko materiaalinhallintaprosessiin. Työvaiheiden listaaminen, materiaalivalinnoista päättäminen, toimituserien aikataulut ja eräkokojen määrittäminen vaativat huolellista perehtymistä kohteeseen ja sitovat materiaalisuunnittelun osaksi aikataulusuunnittelua. Toinen suositeltava asia on huoneistokohtainen varastointi. Se vaatii toteutuakseen kaksi asiaa. Materiaalien siirto purkupaikalta huoneistoihin on suunniteltava ja asunnoista on varattava tilaa materiaalien varastointia varten. Linjasaneeraustyömaalla asuntokohtainen varastointi tarkoittaa kantamista. Lisäksi on suositeltavaa suojata tavallista suurempi osa

lattiaa, jotta materiaalien varastointi ei vahingoita asuntoa. Kolmas suositus on pienten eräkokojen käyttäminen. Huoneistojen tilat ovat erittäin rajalliset ja pienet eräkoot pitävät asunnon työalueen järjestyksessä.

Tapaustutkimuksen lyhyestä kestosta johtuen esitetyt ratkaisut eivät välttämättä sovi sellaisenaan linjasaneerauskohteisiin. Kahden viikon aikataulu oli normaalitilanteesta hyvin poikkeava. Esimerkiksi eräkoot on aikataulutettava eri tavalla kuin tapauskohteessa. Tapauskohteessa yhden työvaiheen materiaalit tulivat koko rakennukseen kerralla. Pidempikestoissa ja suuremmissa hankkeissa toimituserät on jaettava pienempiin osiin, jotta varastot pysyvät pieninä koko rakentamisvaiheen ajan. Kuitenkin periaatteet ratkaisujen taustalla ovat sovellettavissa pidempikestoisiin ja suurempiin linjasaneerushankkeisiin ja jopa uudisrakentamiseen. Toimituserien sitominen aikatauluun ennakkoon on helposti sovellettavissa kaikkialle. Lisäksi varastopaikkojen valitseminen mahdollisimman läheltä työpistettä on myös sovellettavissa kaikkiin rakennushankkeisiin. Uudisrakentamisessa kuitenkin moni asia on toisin. Toimittajien ja työvaiheiden määrä on suurempi, toistuvuus pienempää verrattuna linjasaneerushankkeeseen ja materiaalien käsittelyyn on olemassa enemmän laitteita. Nämä kaikki asiat tulee ottaa huomioon logistiikkaratkaisujen soveltamisessa uudisrakennustuotantoon. Kaiken kaikkiaan työssä esitetty toimintatapa tuo materiaalinhallintaprosessiin järjestelmällisyyttä. Se auttaa suunnittelemaan logistiikkaa ja takaa, että kaikki logistiikan kannalta oleelliset asiat otetaan huomioon suunnitteluvaiheessa.

Tieteen tekemisen suuressa kuvassa työ tutkimus antaa viitteitä siitä, että JIT-periaatteet ovat sovellettavissa myös korjausrakentamisen logistiikkaan. Tulosten hyödyllisyyttä ei tutkimuksessa mitattu kvantitatiivisesti, mutta se antoi viitteitä tuottavuuden parantamisesta. Työn tieteellinen merkittävyys on pienemmässä osassa ja opinnäytetyön hyödyntämispotentialiaali on käytännön sovelluksissa.

## 5.1 Jatkotutkimusehdotukset

Yksi tapa syventyä aiheeseen olisi mitata työssä esitettyjen periaatteiden tuottavuusvaikutuksia rakennus-, Lvi- ja sähkötoiden kannalta. Tähän osa-alueeseen voisi yhdistää myös kustannus-hyötyanalyysin. Tutkimuksessa tulisi esille rahan määräämät reunaehdot, sillä JIT-logistiikan järjestäminen aiheuttanee enemmän välittömiä kustannuksia verrattuna suunnittelemaan logistiikkaan.

Toisena jatkotutkimusaiheena voisi syventyä johonkin logistiikan osa-alueeseen. Esimerkiksi varastointikäytännöt tarjoaisivat monenlaisia mahdollisuuksia. Varastoinnin kannalta voisi pohtia täydennys ja järjestelytapoja. Materiaalit voisi tilata valmiiksi setitetyinä tai ne voisi setittää työmaalla ja toimittaa sen jälkeen työkohteeseen. Tutkimuksessa kannattaisi sivuta myös pakkausmahdollisuuksia. Mihin tuotteet olisivatärkevin pakata,

jotta asentajan työ sujuisi tehokkaasti työpisteessä? Oleellisena osana voisi olla imuohjauksen soveltaminen materiaalien syöttöön. Tapa, jossa asentaja tilaisi materiaalit työmaavarastolta, voisi olla yksi vaihtoehto.

Viimeinen jatkotutkimusaihe koskee, logistiikan suunnitteluprosessin integrointia muuhun valmisteluvaiheen toimintaan. Toteutussuunnittelu, tietomallinnus, tarjouslaskenta, budjetointi ja materiaalihankintojen suunnittelu ovat yhteydessä toisiinsa. Digitalisaation ja teknologian aikakaudella edellä mainitut prosessit olisi mahdollista liittää toisiinsa. Automatisoinnin avulla saataisiin luotettavimmat, tarkemmat ja pidemmälle jalostetut lähtötiedot pienemmällä vaivalla. Näin suuri integraatio ei varmasti olisi halpa, eikä välttämättä ratkaistavissa yhdellä opinnäytetyöllä. Merkitysten pohtiminen voisi olla hedelmällistä.

## LÄHTEET

Akintoye, A. (1995) Just-in-time application and implementation for building material management, *Construction Management and Economics*. Vol. 13(2) s.105-113

Battini, D., Faccio, M., Persona, A. and Sgarbossa, F. (2009) Design of the optimal feeding policy in an assembly system, *International Journal of Production Economics* Vol. 121(1) s. 233-254

Bertelsen, S. (1994) *Building logistics - Material Management in the Building Process*. The Danish Ministry of Housing and Building s. 63

Bertelsen, S., Nielsen, J. (1997) Just-In-Time logistics in the supply of building materials, 1st International Conference on Construction Industry Development: Building the Future Together. Singapore. December 9-11, 1997, s. 9

Bozer, Y. A., McGinnis, L. F. (1992) Kitting versus line stocking: A conceptual framework and a descriptive model. *International Journal of Production Economics* Vol. 28(1), s. 1-19

Brown, S., Blackmon, K., Cousins, P., Maylor, H. (2001) *Operations management – Policy, Practice and Performance Improvement*. Butterworth-Heinemann. Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, England. 1<sup>st</sup> edition. s. 439

Brynjolfsson, O., Karathodoros, G., Skogsäter, N., Spångby, J., Thun V. (2012). *Material Planning in Construction Projects*. s. 1-5

Christopheher, M. (1992). *Logistics and supply chain management: Strategies for reducing costs and improving service*. Pitman Publishing, London. 1<sup>st</sup> edition, s. 294

Croom, S., Romano P., Giannakis, M. (2000) Supply chain management: an analytical framework for critical literature review. *European Journal of Purchase & Supply Management*. Vol. 6(1), s. 67-83.

Council of Logistics Management (CLM). (1998). *What it's all about*. Oak Brook, IL: Council of Logistics Management.

Davy, J., White R. E., Merritt, N. J., Gritzmacher, K. (1992) A derivation of the underlying constructs of just-in-time management systems. *Academy of Management Journal*. Vol 35(3), s. 653-670.

Eriksson, P., Koistinen, K. (2005) *Monenlainen tapaustutkimus*. Kuluttajatutkimuskeskus. s. 49. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/152279/Monenlainen\\_tapaustutkimus.pdf?sequence](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/152279/Monenlainen_tapaustutkimus.pdf?sequence)

Farahani, R., Z., Rezapour, S., Kardar, L. (2011) Logistics Operations and management. Elsevier Science, Saint Louis, USA. 1<sup>st</sup> edition, s. 486

Ferguson, B.R. (2000) Implementing supply chain management. Production and Inventory Management Journal. Vol 41(2), s. 64-67.

Goldratt, E. M., Cox, J. (1992) The Goal: A process of ongoing improvement. North River Press. Great Barrington, Massachusetts, USA. 2<sup>nd</sup> edition, s. 362.

Goldratt, E. M. (1997). Critical chain, North River Press, Great Barrington, Massachusetts, USA. 1<sup>st</sup> edition, s. 246.

Guedon, A. CP., Rakers, T.J., Wauben, L.S.G.L., Meeuwse, F.C., Hoeijmans, V., van der Elst, M., Dankelman, J., van den Dobbelsteen, J.J. (2016) Just-in-time delivery of sterilized surgical instruments. BMJ Innovations. Vol 2(2).

Hamzeh, F., Tommelein, I., Ballard, G., Kaminsky, P.M., (2007). Logistics centers to support project-based production in the construction industry. 15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. East Lansing, Michigan, USA, s. 181-191.

Hanson, R., Brolin A. (2013) A comparison of kitting and continuous supply in in-plant materials supply. International Journal of Production Research. Vol 51(4), s. 979-992.

Ho, J. C., Chang, Y-L. (2001). An integrated MRP and JIT framework. Computers and Industrial Engineering Vol 41(2), s. 173-185.

Hopp, W.J., Spearman, M. L. (1995) Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management. Irwin/ McGraw-Hill. 2<sup>nd</sup> edition. s. 698.

Horman, M.J. (2000) Process Dynamics: Buffer Management in Building Project Operations. PhD dissertation. The University of Melbourne, s. 371

Horman, M.J., Thomas, H.R. (2005) Role of Inventory Buffers in Construction Labour Performance. Journal of Construction Engineering and Management. Vol 131(7), s. 834-843.

Imetieg, A., A., Lutovac, M. (2015) Project Scheduling Method with Time Using MRP System - A case study: Construction project in Libya. The European Journal of Applied Economics. Vol 12(1), s. 58-66.

Jomini, A. H. (1836) The Art of War. Arc Manor. Maryland, USA, s. 300.

Kalsaas, B. T., Skaar J., Thorstensen R. T. (2015) Pull vs. Push in Construction Work Informed by Last Planner. 23<sup>rd</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Perth, Australia, 29-31 July 2015, s. 103-112



- Kasim, N., Liwan, S. R., Shamsuddin, A., Zainal, R., Kamaruddin, N. C. (2012) Improving on-site Material Tracking for Inventory Management in Construction Projects. International Conference of Technology Management, Business and Entrepreneurship. Melaka, Malaysia 18-19 December 2012, s. 447-452.
- Kondratowicz, L. (2003). NeLoC- Work Package 1- Planning of Logistics Centres, Final Report, The Maritime Institute, Gdansk, Poland, s. 133.
- Koskela, L., Koskenvesa, A. (2003) Last Planner -tuotannonohjaus rakennustyömaalla. VTT tiedotteita 2197. Espoo, Suomi, s. 82.
- Lai, K., Cheng, T.C.E. (2009) Just-In-Time Logistics. Gower, Surrey GU9 7PT, England, s. 190.
- Liker, J. (2004). The Toyota Way. McGraw-Hill Education, New York, USA. 1<sup>st</sup> edition, s. 350
- Low, S.P., Mok S., H. (1999). The Application of JIT Philosophy to Construction: A Case Study in Site Layout. Construction Management and Economics Vol. 17(5), s.657-668.
- Low, S.P., Ang, G.K. (2003) Integrating Jit and 5-S Concepts for Construction Site Management: A Case Study. International Journal of Construction Management. Vol. 3(1), s. 31-47.
- Mabert, V. A. (2007) The Early Road to Material Requirements Planning. Journal of Operations Management. Vol 25(2), s. 346-356.
- Mackelprang, A.W., Nair, A. (2010) Relationship Between Just-in-Time Manufacturing Practices and Performance: A Meta-analytic Investigation. Journal of Operation Management. Vol. 28(4), s. 283-302.
- Mawdesley, M. J., Al-Jibouri, S. H., and Yang, H. (2002). Generic Algorithms for Construction Site Layout in Project Planning. Journal of Construction Engineering and Management Vol 128(5), s. 20-27.
- Muller, M. (2002) Essentials of Inventory Management. AMACOM Books. 2<sup>nd</sup> edition, s. 257.
- Niranjan, T.T. (2010) Prerequisites to Vendor-managed-inventory. International Journal of Production Research. Vol 50(4), s. 939-951.
- O'Brien, W.H. (1999) Construction Supply Chain Management: A Vision for Advanced Coordination, Costing and Control. NFS Berkley-Stanford Construction Research Workshop. Stanford, California, USA.

Oxford Dictionary of Business and Management. 2016. Oxford University Press. 6<sup>th</sup> edition.

Pheng, L.S., Arain, F.M., Fang, J.W.Y. (2011) Applying Just-in-Time Principles in the Delivery and Management of Airport Terminal Buildings. Built Environment Project and Asset Management. Vol 1(1), s. 104-121.

Pheng, S. P., Jayawickrama, T. S. (2012) Just-in-Time Management of a Building Project in the Middle-East. Just-in-Time Systems, Springer Optimization and Its Applications. Vol 60, s. 261-285.

Polat, G., Arditi, D. (2005) The JIT Materials Management System in Developing Countries, Construction management and economics Vol 23(7), s. 697-712.

Poshdar, M., Gonzalez, V.A., Raftery, G.M., Orozco, F., Romeo, J.S., Forcael, E. (2016) A Probabilistic-based Method to Determine Optimum Size of Project Buffer in Construction Schedules. Journal of Construction Engineering and Management. Vol 142(10).

Prakash, J., Feng, C. J. (2011) A Comparison of Push and Pull Production Controls Under Machine Breakdown. International Journal of Business Science and Applied Management. Vol 6(3). s. 58-70.

Isännöintiliitto. 2015. Putkiremonttibarometri 2015. Loppuraportti Saatavilla: <https://www.isannointiliitto.fi/attachements/2016-01-08T12-49-07111.pdf>

Sobotka, A., Czarnigowska, A. (2005.) Analysis of Supply System Models for Planning Construction Project Logistics. Journal of Civil Engineering and Management. Vol 6(1), s. 73-82.

Sobotka, A., Czarnigowska, A., Stefaniak, K. (2005). Logistics of construction projects. Foundation of Civil and Environmental Engineering, Lublin University of Technology, Lublin, Poland. No. 6, s. 203-216.

Sullivan, G., Barthorpe, S. (2010). Managing Construction Logistics. Wiley- Blackwell 1<sup>st</sup> edition, s. 304.

Sakakibara, S., Flynn, B.B., Schroeder, R.G. (1993) A Framework and Measurement Instrument for Just-in-Time Manufacturing. Production and Operations Management Vol 2(3), s. 177-194.

Sheldon, D. H. (2006) Lean Materials Planning and Execution - A guide to Internal and External Supply Management Excellence. J. Ross Publishing Inc, Plantation, Florida, USA, s. 272.

Suomen virallinen tilasto (SVT): Asunnot ja asuinolot [verkkajulkaisu]. 2015. ISSN=1798-6745. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/asas/2015/01/asas\\_2015\\_01\\_2016-10-13\\_kat\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/asas/2015/01/asas_2015_01_2016-10-13_kat_002_fi.html)

Stephan, K., Boysen, N. (2011) Cross-docking. *Journal of Management Control*. Vol 22(1), s. 129-137.

Sweis, G. J. (2000). Impact of Conversion Technology on Productivity in Masonry Construction. PhD dissertation. Northwestern University, Illinois, USA, s. 187.

Tanskanen, K., Holmström, J., Elfving, J., Talvitie, U. (2009) Vendor-Managed-Inventory (VMI) in Construction. *International Journal of Productivity and Performance Management*. Vol 58(1), s. 29-40.

Thomas, H. R., Sanvido, V. E., and Sanders, S. R. (1989). Impact of Material Management on Productivity — A case study.” *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol 115(3), s. 370-384.

Thomas, H., R., Sanvido, V., E. (2000) Role of Fabricator in Labor Productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol 126, (5), s. 358-365.

Thomas, H. R., Riley, D. R., Messner, J. I. (2005) Fundamental Principles of Site Material Management. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol 131(7), s. 808-815.

Tommelein, I.D. (1998) Scheduling for Pipe-Spool Installation: Simulation of a Lean Construction Technique. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol 124(4), s. 279-288.

Vuorio, V. (2016) Linjasaneerauksen pullonkaulat. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, s. 79. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/24292/vuorio.pdf?sequence=1>

Vrijhoef, R. Koskela, L. (2000) The Four Roles of Supply Chain Management in Construction. *European Journal of Purchasing & Supply Chain Management*. Vol 6, s. 169-178.

VTT (2009) Rakennustyömaan toimitusten ohjaus. Raportti. Rakennusteollisuus ry, Espoo, Finland, s. 29. Saatavissa: [http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/Rakennustyomaan\\_toimitusten\\_ohjaus\\_091116.pdf](http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/Rakennustyomaan_toimitusten_ohjaus_091116.pdf)

Waller, M., Johnson, M. E., Davis, T. (1999) Vendor-Managed-Inventory in the Retail Supply Chain. *Journal of Business Logistics*. Vol 20(1), s. 183-203.

Waters-Fuller, N. (1995) Just-in-Time Purchasing and Supply: a Review of the Literature. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol 15(9), s. 220-236.

Wegelius-Lehtonen, T., Pahkala, S. (1997). Developing Material Delivery Processes in Cooperation: An Application Example of the Construction Industry. *International Journal of Production Economics* 56-57, s 689-698.

Wegelius-Lehtonen, T. (2001) Performance Measurement in Construction Logistics. *International Journal of Production Economics*. Vol 69(1), s. 107-116.

Womack, J. P., Jones, D. T. (1996) *Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Productivity Press, Boca Raton, Florida, USA. 1<sup>st</sup> edition, s. 396.

## LIITE A - HAASTATTE- LURUNKO

### VERTAILUTYÖMAAT TYÖNJOHTO

Materiaalitarpeiden määrittely

Määrälaskenta

- Kuka, missä, milloin, tarkkuus

Tilaus

- ajankohdat ja tilaustiheys

Toimittajat

- toimittajien valinta
- toimitus rautakaupasta vs. suoraan tehtaalta
- yhteistyö toimittajan kanssa

Toimitukset

- sisällöt
- eräkoot
- lajittelu (huoneistokohtainen yms.)
- toimitusnopeus
- toimitustäsmällisyys

Logistiikka työmaalla eli miten toimitettava tavara päättyy purkupaikalta asentajalle

- aluesuunnitelma
- varastointi
- kalusto
- roolit
- roskat/ jätteet

Pientarvikkeet

- kaappi tms. ratkaisu

Roolit ja vastualueet

- työmaan hankinnat
- toimiston hankinnat

Muuta

- Asentajan vastuu
- tavaroiden loppuminen kesken

- rautakauppanoudot
- tavoitetila

### VERTAILUTYÖMAAT ASENTAJAT

Varasto

- Missä sijaitsee?
- Mitä on varastossa?
- Kuinka paljon?
- Täydentäminen?
- Järjestys?
- Etsiminen?
- Mitä mieltä kokonaisuudesta?

Logistiikka

- Vastaanottaminen?
- Kuka kantaa?
- Roskien siivoaminen?

Tavaran loppuminen

- Oma toimintasi kun näin tapahtuu?
- Kuinka usein tapahtuu?
- Kuinka nopeasti saadaan lisää?
- Kuinka paljon aikaa menee hukkaan, kun huomataan, että tavarat ovat loppussa?

Pientarvikekaappi

Esivalmistus

Mikä on työnjohdon rooli ja vastuu?

Mitkä asiat ovat hyvin materiaalinhallintaan liittyen?

Mitä työnjohto voisi tehdä paremmin?

Muita kehitysehdotuksia?

### CASE-TYÖMAA TYÖNJOHTO

Määrälaskenta

- toteutuma vs. tilatut

#### Tilaus

- ajankohdat ja eräkoot
- sisältö vastasi tilattua

#### Toimittajat

- yhteistyö toimittajan kanssa
- sujuiko logistiikkakeskuksen toiminta niin kuin piti?

#### Logistiikka työmaalla

- tavarankantaminen oikeaan paikkaan?
- varastojen koko?

#### Pientarvikkeet

- ratkaisun toimivuus

#### Roolit ja vastualueet

- työmaan hankinnat
- palveluinsinöörin hankinnat

#### Arvio työnkulusta

- Häiriöiden määrä? Tuliko vähemmän keskeytyksiä?
- Vaikuttivatko materiaalitoimitukset aikataulun pitävyyteen?
- Vaikuttivatko materiaalitoimitukset laatuun?
- Mihin muihin asioihin logistiikkaratkaisut vaikuttivat?
- Mikä oli suurin hyöty, joka logistiikkaratkaisuilla saatiin?

#### Havaitut materiaalipuutteet työn aikana

- Mikä aiheutti?
- Mitä toimenpiteitä seurasi?
- Kuinka paljon materiaalipuutteita havaittiin?

- Jos vertaat tätä työmaata edellisiin työmaihin, oliko materiaalipuutteita vähemmän?

#### Palaute asentajilta

Mitä olisit tehnyt eri tavalla?

Mitkä asiat vaativat tulevaisuudessa lisää suunnittelua?

Miten tästä saatuja kokemuksia voidaan hyödyntää muilla työmailla?

### CASE-TYÖMAA ASENTAJAT

Erot tapauskohteen ja aikaisempien työmaiden välillä?

Miten ratkaisut vaikuttivat tekemiisi työvaiheisiin?

#### Tavaroiden sijainti

- löytyivätkö helpolla?
- oliko oikeissa paikoissa?
- kerrottiinko sijainneista etukäteen?

#### Tavaroiden loppuminen

- Kuinka usein?

#### Pientarvikkeet

#### Hyödyt

- Aikasäästö, mitä muuta?

#### Työnjohto

- mitä olisit toivonut työnjohdolta enemmän materiaaleihin liittyen?

#### Toimitusajat

#### Lähtevä logistiikka

- Siivous ja jätteet
- Mitä ratkaisuja toivoisit tuleville työmaille?

Mitkä ratkaisut eivät toimineet ollenkaan?

## LIITE B - TAPAUSTYÖMAAN ALUESUUNNITELMA

