



Logistiikan vaikutus talonrakennushankkeen kustannuksiin

Panu Härmä

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2025

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Rakennustuotanto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Rakennustuotanto

HÄRMÄ, PANU:

Logistiikan vaikutus talonrakennushankkeen kustannuksiin

Opinnäytetyö 70 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Toukokuu 2025

Talonrakennushankkeen logistiikalla on merkittävä vaikutus hankkeen kustannuksiin. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin rakennustyömaiden logistiikkaa ja sen osa-alueiden aiheuttamia kustannuksia sekä mahdollista säästöpotentiaalia. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, jonka pohjalta analysoitiin logistiikan nykykäytäntöjä rakennusalalla ja tunnistettiin kehityskohteita.

Työssä kartoitettiin rakennuslogistiikan peruskäsitteitä ja erityispiirteitä, kuten materiaalivirtojen ja tietovirtojen hallintaa sekä logistiikan kustannusrakennetta. Lean-ajattelun periaatteita sovellettiin logistiikan tehostamiseen: tunnistettiin hukan tyyppejä ja lean-tekniikoita ja arvioitiin niiden soveltuvuutta rakennustyömaiden logistiikkaan. Hankintavaiheen vaikutuksia logistiikkaan tarkasteltiin erikseen ja hankinnan ajoituksen, toimitusvarmuuden ja toimittajayhteistyön merkitys nostettiin esiin logistisen tehokkuuden kannalta. Suunnitteluvaiheessa korostettiin työmaasuunnitelmien ja tietomallien hyödyntämistä logististen toimintojen ennakoinnissa. Lisäksi perehdyttiin työmaan aikaisiin logistisiin toimintoihin, kuten vastaanotto-, sisä- ja lähtölogistiikkaan, varastointiin sekä jatkuvan parantamisen kulttuuriin työmaalla.

Herkkyystarkastelun avulla arvioitiin logistiikan kustannusosuuden vaihtelun vaikutusta hankkeen kokonaiskustannuksiin. Tutkimuksen tuloksen mukaan logistiikan osuus talonrakennushankkeen kuluista on tyypillisesti 15–30 %, mutta voi nousta jopa 40 %:iin. Pienilläkin parannuksilla logistiikan tehokkuudessa voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä. Logistiikan kokonaisvaltainen suunnittelu ja hallinta onkin keskeisessä roolissa hankkeen kustannustehokkuuden parantamisessa.

Rakennusalalla logistiikkaa ei ole vielä hyödynnetty täysimääräisesti tuottavuuden parantamisessa. Logistiikan kehittämisellä on huomattava säästöpotentiaali, ja suositeltavaa onkin kiinnittää huomiota logistiseen suunnitteluun jo hankkeen alkuvaiheista lähtien. Lean-ajattelun menetelmät tarjoavat hyviä työkaluja logistiikan tehostamiseen vähentämällä hukkaa ja optimoimalla materiaalivirtoja. Jatkuva parantaminen, digitaalisten työkalujen hyödyntäminen, sekä eri sidosryhmien yhteistyö ovat avainasemassa logistiikan onnistumiseksi. Panostamalla logistiikkaan talonrakennushankkeet voivat saavuttaa säästöjä kustannuksissa, lyhentää läpimenoaikoja sekä parantaa työmaan tuottavuutta ja turvallisuutta.

Asiasanat: rakentaminen, lean, kustannus, hanke, logistiikka

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Construction

Härmä, Panu:
The Impact of Logistics on the Costs of a Building Construction Project

Bachelor's thesis 70 pages, appendices 1 pages
May 2025

Logistics plays a critical role in the total costs of building construction projects. This thesis focuses on construction site logistics, examining how material and information flows affect expenses and how logistical operations can be improved to achieve savings. The research is based on a literature review that evaluates current practices and identifies areas in need of development.

The theoretical part outlines key aspects of construction logistics, including cost structures and the management of material and information flows. Lean thinking principles are applied by identifying types of waste and using its methods. In addition, the influence of procurement on logistics is discussed, emphasizing the importance of timing, delivery reliability, and collaboration with suppliers.

Planning is examined through tools like site layout plans, logistics plans, and safety plans, alongside the use of Building Information Modeling (BIM). The study also looks at operational logistics during the construction phase, including deliveries, internal logistics, storage, and waste management, with a focus on promoting continuous improvement on site.

A sensitivity analysis indicates that logistics typically account for 15 to 30 percent of a project's costs, but in some cases can rise to 40 percent. Even minor improvements in efficiency, such as a five percent reduction, can lead to notable savings. In large projects, optimizing logistics can result in major savings. The findings show that construction projects benefit greatly from systematic planning and management. Early integration of logistics, use of lean methods, digital tools, and active cooperation between different stakeholders are key factors in improving cost-efficiency and productivity on construction sites.

Key words: logistics, lean, cost structure, efficiency, construction, building

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Tutkimuskysymykset	7
2	LOGISTIIKKA JA RAKENNUSLOGISTIIKKA YLEISESTI	8
2.1	Logistiikka yleiskäsitteenä	8
2.2	Rakennuslogistiikan erityispiirteet	8
2.2.1	Keskeiset osa-alueet	9
2.2.2	Toimitusketjun rakenne	9
2.2.3	Materiaalivirta	10
2.2.4	Tietovirrat	10
2.2.5	Kustannusrakenne	11
2.2.6	Digitaaliset työkalut ja järjestelmät	13
2.2.7	Tekoäly	14
2.2.8	Turvallisuus	14
3	LEAN JA LOGISTIIKKA	16
3.1	Lean-ajattelun periaatteet ja yhteys logistiikkaan	16
3.2	Hukan tyypit ja hallinta	17
3.3	Leanin tekniikat	18
3.3.1	5S	18
3.3.2	Just In Time (JIT)	20
3.3.3	Imuohjaus	21
3.3.4	Kanban	21
3.3.5	Kapeikkoajattelu	22
3.3.6	Arvovirta-analyysi	23
3.3.7	Kaizen	24
3.3.8	Ongelmien juurisyyt	25
4	HANKINTA	26
4.1	Hankintaa edeltävät vaiheet	26
4.2	Hankinta yleisesti	27
4.3	Hankintatyypit	28
4.4	Volyymihankinta ja sen logistiset vaikutukset	30
4.5	Toimitusten suunnittelu hankintavaiheessa	30
4.6	Hankintavastuu	32
4.7	Toimittajayhteistyö ja toimitusvarmuus	32
4.8	Hankinnan vaikutus logistiseen kokonaiskuvaan	33
5	SUUNNITELMAT	34
5.1	Suunnittelu	34

5.2	Rakennuksen tietomalli	34
5.2.1	SimBauLog ja Tecnomatix Plant Simulation	35
5.3	Työmaasuunnitelmat ja logistinen tilankäyttö	35
5.3.1	Aluesuunnitelma	36
5.3.2	Logistiikkasuunnitelma	38
5.3.3	Turvallisuussuunnitelma	39
5.4	Logistiikan aikataulusuunnittelu.....	39
5.4.1	Aikataulumuutosten ja riskien ennakointi.....	40
5.5	Materiaalivirran suunnittelu	41
5.6	Suunnitelmien kustannusvaikutukset	42
6	TYÖMAALOGISTIIKKA	44
6.1	Logistisen kokonaisuuden johtaminen	44
6.1.1	Syy-seuraussuhteet.....	45
6.1.2	KPI-mittarit.....	46
6.1.3	Miehistörakenteen vaikutukset	47
6.2	Tulo- ja vastaanottologistiikka	47
6.3	Sisälogistiikka.....	49
6.3.1	Varausjärjestelmät ja resurssien hallinta	50
6.3.2	Materiaalin seuranta	51
6.4	Varastointi	51
6.4.1	Varaston hallintajärjestelmät	52
6.5	Lähtölogistiikka ja jätehuolto	53
6.5.1	Jätehuollon hallintajärjestelmät	54
6.6	Työmaaolosuhteiden vaikutus.....	54
6.7	Työmaan suorituskyky	55
6.7.1	Hukan muotojen vaikutus tuottavuuteen.....	56
6.8	Jatkuva parantaminen ja kehityskulttuuri	57
6.8.1	Kaizen käytännössä	58
6.9	Logistiikkakokonaisuuksien vaikutukset hankkeen kustannuksiin	59
7	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	61
7.1	Herkkyystarkastelu.....	63
7.2	Tulokset	64
	LÄHTEET	66
	LIITTEET	70

1 JOHDANTO

Rakennustyömaan aikainen logistiikka on keskeinen, mutta usein aliarvioitu osa rakennushankkeen toteutusta. Vaikka hankkeen suunnitteluvaiheessa panostetaan huomattavia resursseja tuotannon aikataulutukseen ja kustannusten hallintaan, jäävät logistiset toiminnot usein taka-alalle. Logistiikka on rakennushankkeelle välttämätön, ja sen johdannaisvaikutukset ulottuvat suoraan rakentamisen tehokkuuteen, aikatauluihin, työolosuhteisiin ja hankkeen taloudelliseen lopputulokseen. Logistiikkatietoisuus on viime vuosina noussut, ja erityisesti Aalto-yliopiston toteuttama Building 2030 -hanke ja useat lehtiartikkelit ovat painottaneet logistiikan kehitystarpeita. Building 2030 -konsortion raportissa (2019) korostetaan tutkimuksen taustan kannalta oleellista huomiota: ”Huolimatta monista kehitysaskelista materiaalilogistiikan rooli työmaiden tuottavuuden ja tuotannon sujuvuuden parantamisessa on jäänyt vähemmälle huomiolle. Pääpaino on ollut enemmän materiaalitoimitusprosessin tehokkuudessa kuin prosessin asiakkaan eli asentajan tehokkuudessa.” (Building 2030.) Raportin taustoissa alleviivataan myös tuotantomenetelmien ja ahtaiden kaupunkialueiden asettamia vaatimuksia.

Rakentamiskirjallisuus, määräykset ja oppaat muodostavat monimuotoisen kokonaisuuden. Silti logistiikkaa käsittelevää kirjallisuutta on erittäin vähän ja sitä tarkastellaan pääosin avustavana työläjina, aputoinä tai vain yksinkertaisesti materiaalisiirtoina. Selkeitä normeja tai standardeja logistiikan toteutukseen ei ole selkeästi määritelty. Ongelmana on myös alan hidas reagointi muutostarpeisiin, ja vaikka ongelmia tiedostetaan, niiden korjaaminen on hidas ja monimutkainen prosessi.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia talonrakennustyömaan logistiikan vaikutuksia rakennushankkeen kustannuksiin. Työssä tutkitaan eri logististen osakokonaisuuksien vaikutusta hankkeen toteutukseen ja selvitetään kehityskohteita logistiikan näkökulmasta. Työn päämääränä ei ole esittää ratkaisua työmaalogistiikan hallintaan, vaan tarkoituksena on tarkastella logistiikan kustannusvaikutuksia ja säästöpotentiaalia osakokonaisuuksien kautta. Lisäksi tarkoituksena on tuottaa helposti sovellettavaa tietoa työmaan logistiikan kehittämiseksi sekä tunnistaa eri keinoja logistiikkakustannusten vähentämiseen ja tuotannon tehostamiseen.

1.1 Tutkimuskysymykset

Työ toteutetaan soveltavana tutkimuksena perustuen kirjallisuuskatsaukseen ja sen analyttiseen tarkasteluun. Tutkimus painottuu rakennuslogistiikan taloudellisiin vaikutuksiin.

Tutkimuskysymyksinä toimivat:

- 1) Kuinka paljon talonrakennushankkeen logistiikkakuluista on mahdollista säästää ja minkälaiset rahalliset vaikutukset säästöillä on.
- 2) Minkälainen osuus logistiikalla on talonrakennushankkeen kuluista.
- 3) Minkälaiset osakokonaisuudet logistiikan kulurakenteeseen vaikuttavat.

2 LOGISTIIKKA JA RAKENNUSLOGISTIIKKA YLEISESTI

2.1 Logistiikka yleiskäsitteenä

Logistiikka on monimutkainen ja laaja-alainen kokonaisuus, jonka määritelmä riippuu lähteestä ja käyttökontekstista. Yleisimmillään logistiikalla tarkoitetaan järjestelmää, joka ohjaa materiaali-, tieto- ja resurssivirtaa toimitusketjun eri vaiheissa. Logistiikan Maailma -verkkopalvelu määrittelee logistiikan laaja-alaisesti: ”Logistiikka on paitsi varastointia ja kuljetuksia, myös kokonaisten toimitusketjujen ja toimintojen teknistä ja taloudellista hallintaa ja logistiikka merkitsee materiaali- ja tietovirtojen, tuotannon ja jakelun, hankinta-, huolto- ja kuljetuspalvelujen, palvelutoiminnan sekä asiakassuhteiden kokonaisvaltaista johtamista ja kehittämistä.” (Logistiikan Maailma.)

Selkeintä on ymmärtää logistiikka kokonaisvaltaisena toimintana, jossa oikeat tuotteet ja tiedot toimitetaan oikeaan paikkaan oikeaan aikaan. Kokonaisvaltaisuuden kuuluu myös kustannusten optimointi ja hallinta. Keskiössä on virtausten hallinta siten, että arvomuodostus on mahdollisimman tehokasta ja hävikki minimoitu. Logistiikka onkin tapa mahdollistaa tuotantoketjun tehokas toiminta ja arvontuotto.

2.2 Rakennuslogistiikan erityispiirteet

Rakennuslogistiikka on rakennushankkeessa toteutettavaa logistiikkaa. Rakentaminen on paikka- ja aikasidonnainen projekti, jossa logistiikan suorittamiselle on selkeät reunaehdot. Työmaan piirteisiin kuuluu kaiken tarvittavan rakentamiseen käytettävän materiaalin kuljettaminen työkohteeseen sekä jätteen kuljettaminen pois kohteelta. Logistiikan näkökulmasta tunnusomaista on työmaan dynaaminen luonne, jossa toteutusympäristö on jatkuvassa muutoksessa. Muita piirteitä ovat rajallinen tila, varastointitilojen puutteellisuus, käsin siirrettävän materiaalin suuri määrä, työskentely-ympäristön riskit ja säätilojen vaikutukset. Runkovaiheessa logistiikan kannalta merkittävimpänä tekijänä on torni- tai ajoneuvonosturi, koska siirrettävät materiaalit ovat kooltaan massiivisia. Sisätyövaiheissa puolestaan rakennusmateriaalien ja -tuotteiden hallinta ja siirrot ovat kes-

kiössä. Huomioitavaa on myös työmaiden ainutlaatuisuus, jossa projektiorganisaatio ja rakennettava kohde ovat aina ominaisuuksiltaan erilaisia. Työmaiden ainutkertaisuus rajoittaa yleispätevien toimintamallien luomista, mikä hankaloittaa logistiikan toteuttamista. Myös työmaiden mahdollisuudet vaikuttaa toimitusketjuun ovat rajalliset, jolloin ennalta suunniteltu hankinta korostuu. (VTT.)

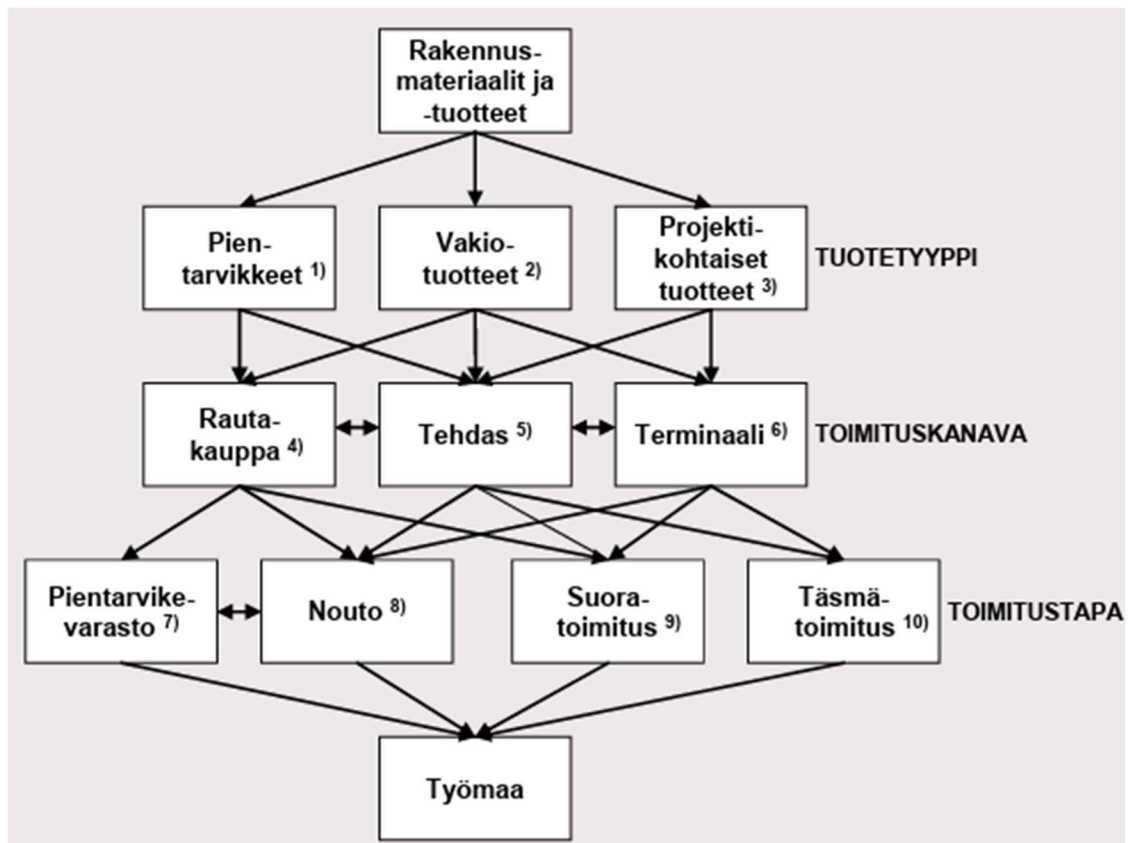
2.2.1 Keskeiset osa-alueet

Logistiikka muodostuu useista toisiinsa kytkeytyvistä osa-alueista, jotka yhdessä mahdollistavat materiaalien, tiedon ja resurssien tehokkaan liikkumisen. Keskeisiä logistiikan toimintoja ovat jakelu, toiminnanohjaus, kuljetukset, varastointi, ostotoiminta, toimitusketjun hallinta ja organisaation sisäinen logistiikka. (Logistiikan Maailma.)

Toimivan logistiikan kannalta tärkeä kokonaisuus on toimitusketju. Toimitusketju on organisaatioista, toiminnoista ja resursseista koostuva kokonaisuus, joka kattaa tuotteen tai palvelun matkan raaka-aineesta loppukäyttäjälle. Toimitusketjun suunnittelun tavoitteena on varmistaa tuotteiden saatavuus oikeaan aikaan ja paikkaan mahdollisimman pienin kokonaiskustannuksin. Hyvin toimiva toimitusketju edellyttää kokonaiskuvan hahmottamista ja eri toimintojen tehokasta yhteensovittamista. (Logistiikan Maailma.)

2.2.2 Toimitusketjun rakenne

Rakentamisen toimitusketjun (kuviokuva 1) rakenne on yleensä suoraviivainen. Materiaaleja tilataan valmistajilta, jälleenmyyjiltä ja urakoitsijoilta ja lähtökohtaisesti materiaalitoimittaja vastaa toimituksista. Usein rakennusmateriaaleja hankitaan myös elementteinä tai moduulirakenteina, jotka valmistetaan joko omilla tai sidosryhmien tehtailla. Osa tuotteista tilataan ja noudetaan rautakaupoista tai tukkuliikkeistä (VTT.) Logistiikan kannalta huomionarvoista on, ettei rakennuttaja tai pääurakoitsija juurikaan pysty vaikuttamaan materiaalihintoihin muutoin kuin hyvällä hankinnalla.



KUVIO 1. Rakennusmateriaalin toimitusketju (VTT, 2014).

2.2.3 Materiaalivirta

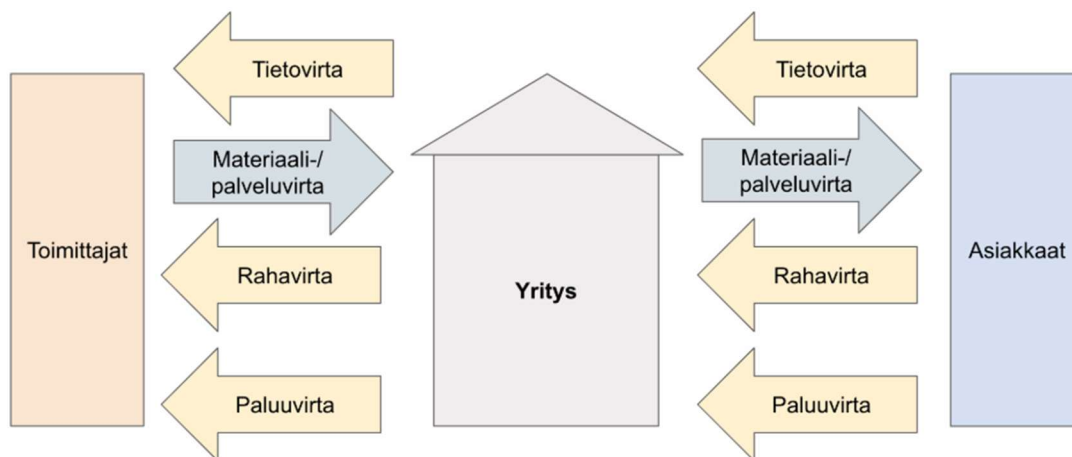
Materiaalivirta tarkoittaa materiaalin kuljettamista tai säilyttämistä ja on toimitusketjun yksi osakokonaisuus (Logistiikan Maailma.) Käytännössä samasta asiasta puhutaan joissain yhteyksissä myös materiaalilogistiikkana. Se määrittelee mitä konkreettisesti liikkuu, toimitusketjun vastatessa miten ja minne. Materiaalivirran hallinnalla on rakentamisessa keskeinen rooli, sillä koko rakennushankkeen tuotannon kulku perustuu siihen.

2.2.4 Tietovirrat

Tietovirta kattaa toimitusketjun sisäisen ja ulkoisen tiedonvaihdon, joka mahdollistaa logististen toimintojen toteutumisen (kuvio 2). Se alkaa asiakastarpeen enusteesta tai tilauksesta ja etenee ketjussa tuotantoon, hankintaan, varastointiin ja kuljetuksiin. Tietovirtaan sisältyvät varastotasot, tilaus- ja toimitustiedot, sopimusehdot, viranomaisilmoitukset ja muut muutos- ja vahvistusviestit. Tiedon on

kuljettava oikea-aikaisesti kaikille osapuolille, jotta toimitusketju toimii ennakoitusti ja ilman katkoksia. (Logistiikan Maailma.)

Tieto-, raha- ja materiaalivirrat

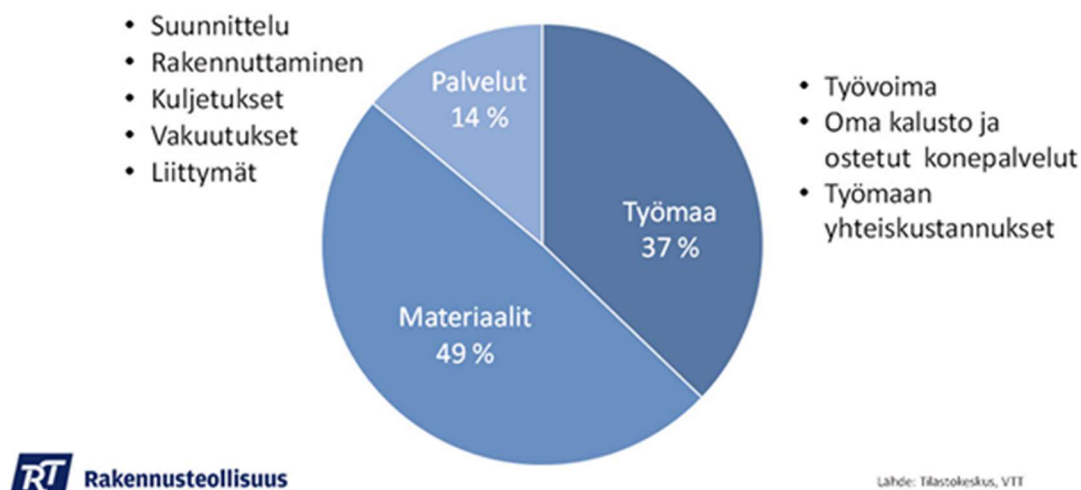


KUVIO 2. Tieto-, raha- ja materiaalivirrat (Logistiikan Maailma.)

2.2.5 Kustannusrakenne

Logistiikan kustannusrakenteen arviointiin vaikuttavat useat sisäiset ja ulkoiset tekijät, joista osa liittyy logistiikkaan vain välillisesti. Logistiikasta johtuvat aika-tiluvaikutukset saattavat heijastua useankin työvaiheen päähän. Esimerkiksi myöhästynyt kipsilevytoimitus vaikuttaa suoraan väliseinäurakkaan, mutta johdannaisvaikutukset saattavat vaikuttaa kumulatiivisesti koko sisävaiheen aika-tiluihin ja kuluihin. Kulut muodostuvat esimerkiksi lisätöistä ja aikataulupaineesta johtuvista virheistä toteutuksessa.

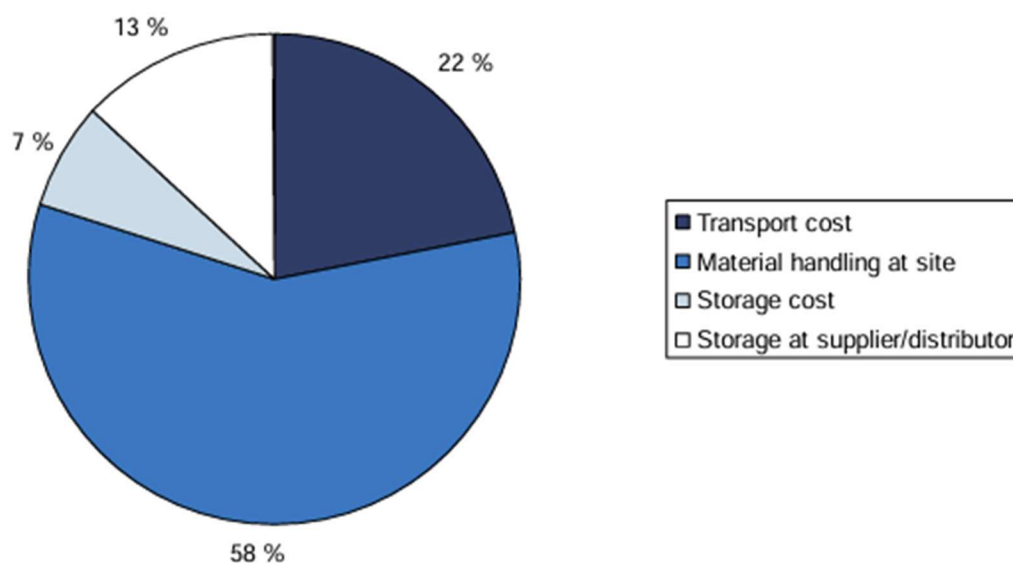
Usein on selkeintä käsitellä logistiikan osuutta koko hankkeen kustannuksista, jolloin yksittäiset viivästykset tai virheet eivät ylikorostu. VTT:n toteuttamalla Terttu Vainion ja Eero Nippalan: Rakentamisen yhteiskunnalliset vaikutukset (2021), kalvosarjalla kuvataan talonrakentamisen kustannusjakaumia. Materiaalin osuus talonrakennuksen kustannuksista on suurin (kuvio 3), palveluiden ollessa pienin kokonaisuus. Huomattavaa on logistiikan osuuden jakaantuminen kaikkiin rakentamisen osuuksiin.



KUVIO 3. Rakentamisen kustannusjakauma (T. Vainio, E. Nippala, 2021.)

Rakennustaito käsittelee logistiikan kustannuksia artikkelissaan ulkoistetun logistiikan hyödyistä: ”Logistiikan kustannukset ovat keskimäärin noin 15 prosenttia kohteen koko urakkasummasta, mutta esimerkiksi asennetulle kipsilevyllä ei ole voitu laskea tai olettaa selkeätä hintaa neliometriä kohden, koska kuljetusten ja varastoinnin osuus on puuttunut kokonaislaskelmasta”. (Rakennustaito, 2023.) Artikkelissa mainittu puuttuvista osuuksista koostuva vääristymä toimii esimerkkinä laskelmien vaikeudesta. Jan A. Elfingin, Glenn Ballardin ja Ulla Talvitien julkaisemassa tutkimuksessa (2010) käsitellään mahdollisuuksia parantaa logistiikkaa leanin keinoilla. Tutkimus esittää logistiikkakustannusten suuruusluokaksi 10–30 % koko hankkeen kuluista. (J. Elfing, G. Ballard & U. Talvitie, 2010.) Tutkimuksessa esitellään selkeästi logistiikan kulurakenteita (kuvio 4), ja tutkitaan logistiikan kehittämisen vaikutuksia.

Ongelmalliseksi logistiikan kannalta on rakennushankkeen kustannusten mittaamiseen käytetyt keinot. Suomessa rakentamisen kustannuksia ja niiden kehitystä seurataan pääosin indeksipohjaisesti (Tilastokeskus.) Indeksit ovat toimiva tapa kuvata kehitystä mutta euromääräinen tarkastelu toisi alalle selkeää konkretiaa ja vertailua. Ruotsin tilastokeskuksen tietokannasta löytyy euromääräisiä tuloksia rakentamisen kustannukselle €/brm (SCB.) Tietokannan hakutyökalulla voidaan tarkastella aluesidonnaisia rakentamiskustannuksia Ruotsissa, jossa kustannukset vaihtelevat välillä 2700–3500 € (LIITE 1.) Tietokantaa hyödyntäessä tulee kuitenkin huomioida markkinakohtaiset erot. Palvelua tuleekin tarkastella Suomessa suuntaa antavana työkaluna.



KUVIO 4. Logistiikan kulurakenne työmaaympäristössä (J. Elfing, G.Ballard & U.Talvitie, 2010.)

2.2.6 Digitaaliset työkalut ja järjestelmät

Digitaaliset työkalut ovat nousseet keskeiseen asemaan rakennuslogistiikan suunnittelussa ja toteutuksessa. Työmaan logistiikassa ne mahdollistavat materiaalivirran hallinnan tarkemmin, tehokkaammin ja ennakoivammin kuin perinteiset paperiset menetelmät. Sähköinen rahtikirjajärjestelmä korvaa tulevaisuudessa täysin paperidokumentit, vähentää virheitä ja tuo toimitusketjun näkyväksi reaaliajassa (Sitra.) Toiminnanohjausjärjestelmällä (ERP) voidaan puolestaan koota hankintatiedot, resurssitarpeet ja aikataulut yhteen alustaan, jolloin suunnittelu ja seuranta tapahtuvat yhtenäisesti koko organisaatiossa (Logistiikan Maailma.) Digitaalisuus ei ole pelkkä teknologinen parannus, vaan se muuttaa koko logistista ajattelua: järjestelmien avulla voidaan kohdistaa resursseja paremmin, minimoida varastointitarve ja hallita riskejä. Parannukset pienentävät hukkaa ja parantavat työmaan kustannustehokkuutta.

Rakennusalalla on yleisesti käytössä useita rinnakkaisia ja päällekkäisiä järjestelmiä, joilla hallitaan rakentamisen riskejä ja tilankäyttöä sekä dokumentoidaan

tuotantoa. Esimerkki tällaisesta järjestelmästä on Congrid, joka mahdollistaa laadunvalvonnan ja tehtävienhallinnan digitaalisesti työmaalla. Järjestelmä mahdollistaa havaintojen ja tehtävien dokumentoinnin puhelimella suoraan työkohteessa, jolloin tieto on välittömästi kaikkien osapuolten saatavilla. Tämä vähentää työmaan virheitä, nopeuttaa reagointia ja parantaa koko toimitusketjun toimivuutta. (Hämeenlinnan kaupunki, 2022.)

2.2.7 Tekoäly

Tekoäly on nykyaikainen tekniikka, jolla on kyky jäljitellä ihmismäisiä taitoja (Euroopan parlamentti, 2023.) Euroopan parlamentti määrittelee miten tekoälyn vaikuttaa teknisissä järjestelmissä: ”Tekoälyn ansiosta tekniset järjestelmät voivat havainnoida ympäristöään, käsitellä havaintojaan ja ratkaista ongelmia saavuttaakseen tietyn päämäärän” (Euroopan parlamentti, 2023.) Harvard Business School tutki keväällä 2025 tekoälyn vaikutuksia projekti- ja tiimityöhön. Tutkimuksen tuloksena oli tekoälyn parantavan yksilön ja tiimin suoriutumista projektityöympäristössä helpottaen kommunikointia ja viestintää: tiimien suoriutuminen ja kyky tuottaa parhaita ideoita parani merkittävästi. Asiantuntijuus ja työssä suoriutuminen parani merkittävästi ja tekoälyn vaikutus oli selkein tiedonhaussa, analysoinnissa ja kirjoittamisessa. (Harvard Business School, 2025.)

Tekoälyn yleistyminen tuo huomattavia etuja rakennushankkeen ja logistiikan toteutukseen: mahdollisuus analysoida monimutkaisia kokonaisuuksia pienessä ajassa ja parannukset työmaan seurattavuuteen helpottavat työmaan arkea. Logistisesti toimitusketjujen heikkoudet, kriittiset pisteet ja aikataulun ongelmat voidaan löytää helpommin. Käytettäessä tekoälyä analysointityökaluna riippuvuussuhteiden tunnistaminen voi olla keskeisenä osana työmaiden kehitystä.

2.2.8 Turvallisuus

Rakennustyömaa on erittäin riskialtis ympäristö, sillä rajatulla alueella liikkuu monta toimijaa ja rakennustarvikkeita työstetään, leikataan, nostetaan ja siirretään. Tämän kaltaisessa ympäristössä riskien hallinnalla on merkittävä rooli, mikä asettaa logistiikan toteutukselle omat vaatimuksensa. Materiaalisiirtoja voidaan toteuttaa vain, jos se on turvallista ja esimerkiksi nostot on suunniteltava huolella

etukäteen. Turvallisuustekijät menevät aina kaiken edelle ja logistiikassa on kiinnitettävä erityistä huomiota turvallisuuskäytäntöihin (Ratu KI-6034.) Turvallisuus onkin logistisesti ajateltuna tehokkuutta ja nopeutta rajoittava tekijä erityisesti elementti- tai moduuliasennuksissa. Toisaalta hyvin toteutettu turvallisuus lisää työmaan tehokkuutta, sillä rakennusmateriaalit ovat järjestyksessä ja työmaan yleisilme on siisti, mikä vähentää materiaalin etsimiseen menevää aikaa (Ratu KI-6034.)

3 LEAN JA LOGISTIIKKA

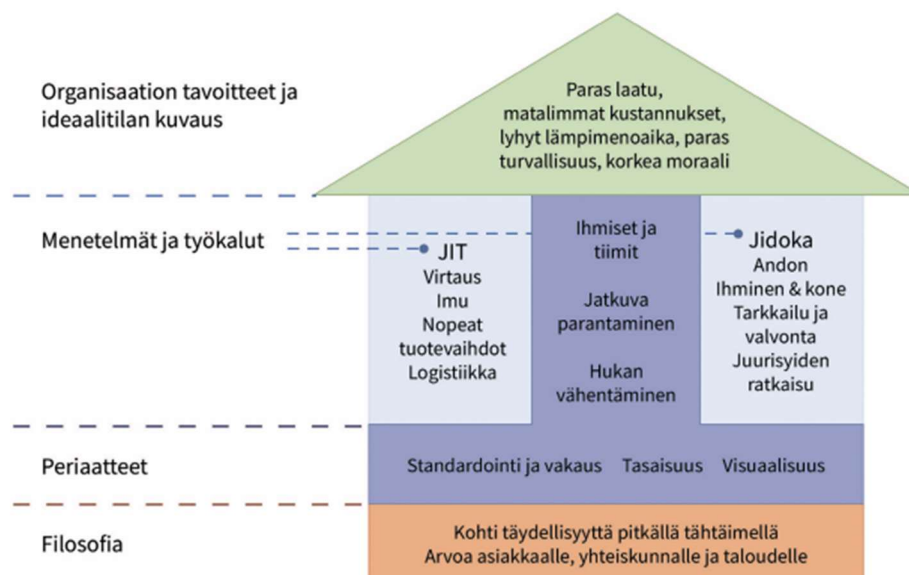
3.1 Lean-ajattelun periaatteet ja yhteys logistiikkaan

Lean on Toyotan 1950-luvulla kehittämän Toyota Production System (TPS) pohjalta jatkokehitetty johtamisjärjestelmä, joka perustuu japanilaiseen tuotantofilosofiaan ja ajattelutapaan. Lean kehittyi nykyisin käsittämällemme tasolle 1980- ja 1990-luvuilla Yhdysvalloissa ja lean-termin alle on integroitunut vaikutteita useista muistakin johtamisjärjestelmistä. (Lean with passion 2020, 6.) Lean on kuitenkin onnistunut säilyttämään alkuperäisen japanilaisen filosofiansa, jossa pyritään selkeillä menetelmillä optimoimaan tuotantojärjestelmän tuotantokykyä. Juha Salminen kuvaa kirjassaan Lean Rakentamisessa leanin olemusta: ”Lean on systemaattinen tapa kehittää. Siihen liittyy asioihin perehtyminen syvällä käytännön tasolla, menetelmien käyttöönotto ja dokumentointi niin, että muut voivat jatkaa siitä, mihin jäätiin” (Salminen 2021, 24.) Keskeistä järjestelmälle on rakentaa kestäviä muutoksia vähän kerrallaan ja luoda menetelmistä ja periaatteista osa tuotantoprosessin identiteettiä.

Lean-filosofian esittämiseen käytetään usein rakennusta, niin sanottua Lean-taloa. Talossa määritellään leanin kannalta keskeisimmät osa-alueet, joiden toteuttamiseen filosofia nojaa. Talon katto kuvaa niin sanottua ideaalitalaa, jossa tavoite on olla paras laadussa ja kustannuksissa, samalla tuotannon läpimenoaikoja lyhentäen. Salminen esittää ideaalitalasta Toyotan näkemyksen kirjassaan: Toyota kuvaa lean-toiminnan ideaalitalaa tämän perusteella seuraavasti: paras laatu, matalimmat kustannukset, lyhyt läpimenoaika, paras turvallisuus ja korkea moraalit. (Salminen 2021, 18.)

Logistiikka esitetään lean ajattelussa menetelmänä tai työkaluna, mikä ei sulje pois logistiikan toteuttamista muilla lean-menetelmillä (kuvio 5). Kuvaus ideaalitalasta vastaa täysin hyvin hoidetun logistiikan pyrkimyksiä ja leanin-menetelmiä hyödyntämällä voidaan logistiikan toteutusta optimoida. Logistiikan toteuttaminen kyseisillä menetelmillä antaakin valmiudet siirtyä sen kokonaisvaltaisempaan käyttöön alalla ja esimerkiksi tahtituotanto perustuu suurelta osin lean-ideologi-

aan. Logistiikan kehittämisellä on vaikutuksia koko rakennushankkeen toteutukseen, jolloin menetelmät myös integroituvat helposti osaksi myös muita työlajeja. Lean painottaa jalkautumista työkohteeseen, sekä toimintojen mittaamista ja vertaamista, mikä puolestaan edesauttaa jatkuvaa oppimista ja virheiden välttämistä tulevaisuudessa.



KUVIO 5. Lean-talo (Salminen 2021, 19.)

3.2 Hukan tyypit ja hallinta

Yksi keskeisimmistä Leanin periaatteista on hukan vähentäminen. Hukka (Muda) on prosessissa tai tuotantoketjussa esiintyvän vaihtelun (Mura) aiheuttaman ylikuormituksen (Muri) tai ongelman oire. Lean käsittelee hukkaa kustannustekijänä, joka ei synnytä arvoa asiakkaalle (Lean with passion 2020, 16.) Yksinkertaisesti ilmaistuna hukka on arvonluonnin vastakohta. Hukan ehkäisemiseksi tuotannon tulisi päästä mahdollisimman tasapainoiseen tilaan. Logistiikan kannalta tulee pyrkiä tilaan, jossa hukka tunnistetaan ajoissa siten, että tuotannon muut toimijat pystyvät toimimaan mahdollisimman tehokkaasti ja hukka minimoiden. Materiaalihallinnalla voidaan hukkatyypit tunnistamalla ehkäistä jo ennalta mahdollisia ongelmia ja siten taata tasaisempi tuotantovirta. Yleisesti hukan muodot kuvataan seitsemänä lajina (kuva 1). Usein lajeihin lisätään myös kahdeksas laji: Ihmisen henkisen pääoman käyttämättä jättäminen. (Logistiikan Maailma.)



KUVA 1. Hukkatyyppit (Logistiikan Maailma.)

3.3 Leanin tekniikat

Logistiikkaa ja leania yhdistävä seikka on samankaltaisten päämäärien ohella käsitteen laajuus. Tekniikoita hyödyntääkseen tulee ymmärtää leanin ideologiaa ja sitä, minkälaista kokonaisuutta mikäkin tekniikka tosiasiallisesti palvelee. Rakennusala poikkeaa leanin lähtökohdista huomattavasti. Siinä missä leanin lähtökohdat ovat ympäristöltään muuttumattomassa tuotantolaitoksessa, rakentaminen on jo lähtökohdiltaan dynaaminen ja viriheherkkä ympäristö. Toisaalta lean on kehittynyt universaaliksi johtamisjärjestelmäksi, joka on sovellettavissa lähes jokaiseen ympäristöön. Kaikki leanin tekniikat eivät kuitenkaan palvele rakentamista, eivätkä sovellu ainakaan sellaisenaan rakennustyömaaympäristöön. Osa tekniikoista palvelee kuitenkin suoraan logistiikkatoteutusta ja sen roolia rakentamisen mahdollistajana.

3.3.1 5S

5S on leanissa käytettävä tekniikka tai työkalu, jonka tavoitteena on siistin ja organisoidun työympäristön luominen. 5S käsitetään usein siivoamiseksi, mutta tekniikan pääasiallinen tarkoitus ei ole siivous, vaan luoda puitteet järjestelmälliselle ja turvalliselle työskentelylle, ja vaikuttaa sitä kautta hukkaan. Nimi tulee viidestä japaninkielisestä sanasta:

- 1) Seiri (lajittele): poistetaan työpisteeltä, varastointitilasta tai työpaikalta kaikki tarpeettomat tavarat tai työvälineet. Tavarat lajitellaan käytön mukaan ja vain työn kannalta tarpeelliset pidetään helposti saatavilla. Mikäli tavaraa ei tarvita se voidaan sijoittaa siten, että se tarvittaessa löytyy enakkoon määrättyltä paikalta tai heittää pois. (Lean with Passion 2020, 12; Salminen 2021, 129.)
- 2) Seiton (järjestä): kaikelle materiaalille tai tavaroille määritellään oma paikka, joka merkitään yrityksessä tai hankkeessa määritellyllä tavalla. Ajatuksena on, että tarvittaessa materiaali löytyy aina etsimättä omalta asianmukaiselta paikaltaan. (Lean with Passion 2020, 12; Salminen 2021, 129.)
- 3) Seiso (puhdistista): puhdistamisella tai vaihtoehtoisesti siivouksella tarkoitetaan oman työympäristön päivittäistä siivousta ja tarkastamista. Siivoamalla työssä käytetyt tarvikkeet ja ympäristö voidaan havaita mahdolliset virheet ja huoltotarpeet ajoissa. Siivouksella myös varmistetaan työskentelyalueen turvallisuus. (Lean with Passion 2020, 12; Salminen 2021, 129.)
- 4) Seiketsu (standardoi): kolmen ensimmäisen S:n parhaat kokemukset kootaan yhteen ja niistä muodostetaan käytännöt, joilla pystytään ylläpitämään saavutettuja parannuksia. Voidaan muodostaa muistilistoja, tarkastuslomakkeita tai valokuvata alueita, jotta ylläpito helpottuu. (Lean with Passion 2020, 12; Salminen 2021, 129.)
- 5) Shitsuke (ylläpidä): sitoutetaan henkilöstö toteuttamaan toteutettuja toimenpiteitä, ja valvotaan järjestyksen ylläpitoa tarkastuksilla. Kehitetään saavutettua tasoa ehdotusten ja kokemusten perusteella, sillä ylläpito käsittelee vain minimitasoa ei estä kehitystä. (Lean with Passion 2020, 12; Salminen 2021, 129.)

3.3.2 Just In Time (JIT)

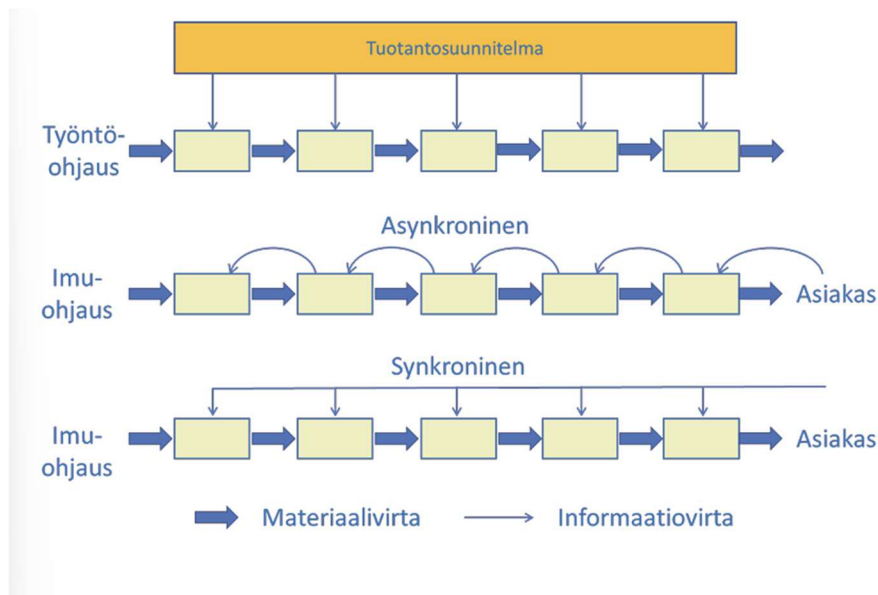
Just In Time (JIT) on materiaalinhallintakeino, jonka päämääränä on toimittaa tarvittava materiaali oikeaan paikkaan oikeana ajanhetkenä, jotta tuotantovirta saataisiin optimoitua pienimmillä mahdollisilla varastointikuluilla. Suomalaisessa kirjallisuudessa samasta asiasta puhutaan myös täsmätoimituksina ja JOT:na (Juuri Oikeaan Tarpeeseen). JIT on lean-ajattelussa imuohjatun tuotannon mahdollistaja, ja sitä käytetään usein logistisena työvälteenä. (Salminen 2021, 160–161.) Tekniikan etuna on sen tuomat mahdollisuudet vaikuttaa työvaiheen suorittamiseen ja hukkan laatuihin. Vaikutusmahdollisuuksia ovat:

- 1) Vaikutus ympäristöön: materiaali on juuri silloin siellä, kun sitä tarvitaan ja työskentelytilassa ei varastoida ylimääräistä. Ympäristön havainnointi helpottuu ja työn kannalta oleellisemmat asiat on helpompi huomioida.
- 2) Vaikutus turvallisuuteen: siistimpi ympäristö, jossa on vain se materiaali, jota työskentelyssä tarvitaan helpottaa riskien havainnointia. Muutkin turvallisuustekijät paranevat, sillä tilassa liikkuminen on turvallisempaa ja esimerkiksi kompastuminen tilassa varastoituihin materiaaleihin estetään.
- 3) Vaikutus työtehoon: työssä suoritettavan tehtävän tekeminen helpottuu, kun materiaalia ei tarvitse etsiä ja työssä tehtävien materiaali siirtojen määrä pienenee.

Käytännössä JIT on huomattavasti hankalampi toteuttaa, sillä toimituksien epävarmuus ja hajanaisuus johtaa väistämättä materiaalivirran vaihteluun. Menetelmä vaatii johdonmukaista yhteistoimintaa projektiorganisaatiolta, ja sen käytökelpoisuus riippuu hankinnan ja suunnittelun toteutuksesta. Salminen käsittelee JIT hyötyjen taustaa ja rakentamista: ”Taustalla on aivan relevantti havainto siitä, että rakentaminen on pohjimmiltaan massiivinen logistiikkaprojekti, missä haalitaan suuri määrä materiaaleja, tarvikkeita ja tuotantoresursseja samaan paikkaan ja niistä koostetaan toimiva rakennus” (Salminen 2021, 160.)

3.3.3 Imuohjaus

Imuohjauksella tarkoitetaan tuotantoprosessia, jonka perusteena toimii asiakkaan tilaus tai varastosaldon alenema. Imuohjauksen peruseriaate on, että tuotanto tehdään oikean kysynnän perusteella, eli tuotanto käynnistyy varastosaldon aleneman, toimituksen tai tilauksen ajamana. Imuohjausta voidaan toteuttaa asynkronisena eli seuraavan tuotantovaiheen ”vetämänä” tai synkronisena, jossa tilaus käynnistää koko tuotantoketjun samanaikaisesti (kuvio 6). Imuohjaus toimenpiteenä liittyy vahvasti hukan laatuihin, sillä koko prosessi käynnistyy vain aidosta tarpeesta. (Lean with Passion 2020, 32.)



KUVIO 6. Imuohjaus (Lean with Passion 2020, 33.)

Imuohjaus onkin oikein toteutettuna tehokkaimpia keinoja hukan eliminointiin, sillä sen luontainen piirre on pienin mahdollinen hukka. Toisaalta imuohjauksellakin on heikkoutensa, sillä markkinat eivät toimi aina tilauspohjaisesti, vaan yleensä tuotanto on sekoitus työntö- ja imuohjausta.

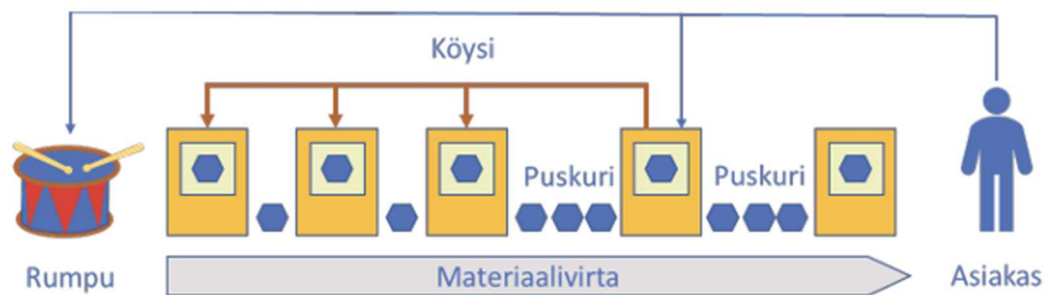
3.3.4 Kanban

Kanban on imuohjaukseen ja JIT:n liittyvä tekniikka, jolla hallitaan materiaalityläuksia ja -kulkua. Kanban-kortti on keino viestiä materiaali-, siirto- tai varastontäydennystarpeesta. Se voi olla laminoitu tilauslomake, post-it lapuista muodos-

tettu taulu tai nykyisin sähköisen viestintä- tai varastojärjestelmän osa, jolla seurataan ja viestitään materiaalien liikkeitä. Valmistuskortti on tilaus edelliselle työvaiheelle, siirtokortin kertoessa materiaalin olevan valmis seuraavaan tuotantovaiheeseen. (Lean with Passion 2020, 33.) Kanbanin tarkoitus on määrittää ja viestiä tuotannossa kysymykset mitä, milloin ja kuinka paljon.

3.3.5 Kapeikkoajattelu

Kapeikkoajattelun taustalla on löytää tuotantojärjestelmän tuotantokykyyä rajoittavia tekijöitä ja huomioida ne toteutuksen suunnittelussa. Kapeikosta puhutaan myös pullonkaulana, joka tarkoittaa täysin samaa asiaa: jokin tuotannon yksittäinen tai useampi tekijä toimii tuotantokapasiteetin rajoittavana tekijänä. Kapeikko on tuotannon kannalta erityisen huomionarvoinen, sillä se toimii sekä tuotantovirtaa että aikataulua rajoittavana tekijänä. Tuotanto ei pysty etenemään nopeammin kuin kapeikko pystyy käsittelemään materiaalia. (Lean with Passion 2020, 37.) Esimerkiksi rakennushankkeessa kapeikkona toimii torninosturi, joka ei pysty nostamaan enemmän kuin kapasiteettinsa verran kerralla. Kapeikko on siis yksinkertaisesti tuotantoa tahdistava tekijä (kuvio 7), joka tulee löytää, huomioida ja mahdollisuuksien mukaan avartaa. Kapeikon hallintaa voidaan toteuttaa kapeikkoa edeltävällä ja seuraavalla puskurilla ja alistamalla edeltävät työvaiheet kapeikon tahtiin. Tämän kaltaista tuotannonohjausta kutsutaan Rumpu-Puskuri-Köysi tuotannonohjaukseksi (Lean with Passion 2020, 37.)



KUVIO 7. Rumpu-Puskuri-Köysi tuotannonohjaus (Lean with Passion 2020, 37.)

Kapeikolle ominaista on, ettei sitä aina tunnisteta suunnitelmista. Usein kapeikko paljastuu vasta siellä missä työtä fyysisesti tehdään. Leanissa aihetta käsitellään

japanialaisella termillä ”Gemba”, jolla tarkoitetaan paikkaa missä arvo tuotetaan. (Salminen 2021, 215.) Olennaista kapeikkojen tunnistamisessa on jalkautua sinne, missä ongelmat paljastuvat konkreettisesti. Työntekijät tunnistavat usein mahdollisia ongelma-kohtia.

3.3.6 Arvovirta-analyysi

Arvovirta-analyysi (Value Stream Mapping, VSM) on visuaalinen esitystapa (ku-
vio 8) ja kehitysprosessi, jolla analysoidaan tuotanto- ja palveluprosessin kulkua,
vähennetään sen hukkaa ja kehitetään arvontuottoa (Salminen 2021, 106.) Ana-
lyysi voidaan jakaa yleensä viiteen vaiheeseen:

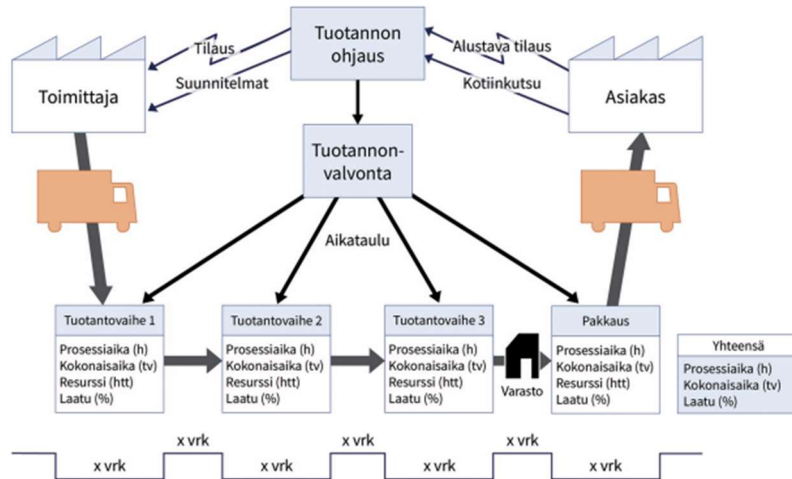
- 1) Valmistelu
 - 2) Nykytilan kuvaus
 - 3) Tavoitetilan suunnittelu
 - 4) Toimenpidesuunnitelma
 - 5) Parannusten toteutus
- (Salminen 2021, 106.)

Valmistelussa määritellään kehittämisen kohteena oleva arvovirta. Arvovirran määrittely tulee tehdä selkeästi ja oikein. Termillä tarkoitetaan prosessia, joka alkaa asiakastilauksesta ja päättyy palvelun tai tuotteen toimitukseen. Prosessia tarkastellaan mahdollisimman kokonaisvaltaisesti, jotta prosessiin liittyvät tekijät ja vaiheet selvitetään mahdollisimman kattavasti. On myös tärkeää rajata arvo-
virtaan kuuluvat asiat ja tahot. (Salminen 2021, 106.)

Nykytilan kuvaus määrittää sen, millainen arvovirta on. Kuvauksessa esitetään tuotannon ja prosessin vaiheet ja niiden liittyvä tieto, kuten läpimenoajat ja tehollinen työaika, ja tietovirrat. (Salminen 2021, 106.) Kuvauksen tärkein merkitys on kuvata arvovirrat sellaisena kuin ne ovat eikä kaunistella kokonaiskuvaa.

Tuotantoketjun nykytilan selvittyä suunnitellaan tavoitetila eli sitä, millainen arvovirran tulisi olla, jotta se palvelisi tuotantoketjua ja asiakasta mahdollisimman tehokkaasti. Tavoitteena on parannukset tuotannon virtaukseen ja prosessien yksinkertaistaminen. Tavoitetilalla luodaan puitteet seuraavaa vaihetta varten. Toi-

menpidesuunnitelma on suunnitelma, jossa määritetään vaadittavat toimenpiteet, niiden vastuuhenkilöt, aikataulut ja mahdolliset kehitysprojektit suurempien muutosten toteuttamiseen. Parannusten toteutusvaiheessa yksinkertaisesti toimeenpannaan suunnitellut toteutukset ja seurataan niiden täytäntöönpanoa. (Lean with Passion, 2020.)



KUVIO 8. Arvovirta-analyysin tulos (Salminen 2021, 107.)

Analyysin etuja on myös ylemmän johdon osallistaminen käytännön ongelmien ratkomiseen, luoden kuvaa missä osissa tuotantoketjua ongelmia mahdollisesti ilmenee. Ongelmat tunnistamalla voidaan keskittyä aina niihin asioihin, joilla on suurin vaikutus liiketoiminnalle tai tuotantojärjestelmään. Analyysin toteutukseen tulee osallistaa kaikki keskeiset tahot, jotta lopputulos on mahdollisimman informatiivinen. Kuviossa 8 käsitellään arvovirta-analyysin tulosta. Kuvan alaosassa näkyy aikajana, jossa korostetaan tuotantovaiheiden kehittämistoimia. Kuva myös havainnollistaa eri prosessien ja suunnitelmien paikkaa tuotantoketjussa. (Salminen 2021, 106–107.)

3.3.7 Kaizen

Kaizenilla tarkoitetaan sisäänrakennetun jatkuvan oppimisen kulttuuria, jossa organisaatiossa tehdään jatkuvasti pieniä parannuksia. Ideana on kehittää organisaation liiketoimintakykyä jatkuvana prosessina, jolloin pienillä parannuksilla saavutetaan pitkällä aikavälillä suuria muutoksia. Kaizenilla on tarkoitus osallistaa koko organisaatio kehityksen toteuttamiseen, jolloin kaikilla on mahdollisuus vaikuttaa omaan työskentely-ympäristöönsä. (Salminen 2021, 245.)

3.3.8 Ongelmien juurisyyt

Lean-ajattelussa juurisyyanalyysi on keskeinen menetelmä, jolla ongelmien perimmäisiä syitä pyritään tunnistamaan ja poistamaan. Ajattelun pohjana on ongelmat prosessissa ja se että ihminen ei tee virheitä tahallaan. (Salminen 2021, 132.) Ongelmien juurisyiden selvittäminen on erityisen hyödyllistä tilanteissa, joissa ongelma aiheuttaa monimutkaisia johdannaisvaikutuksia. Tärkeintä on tunnistaa ongelmien lähtökohdat ja perimmäinen luonne, jolloin ongelma voi olla seuraus eikä välttämättä syy. Juurisyyanalyysi mahdollistaa ongelmien tunnetta- vuutta ja helpottaa samojen virheiden toistamista. Käytännön tekniikkana juuri- syiden selvittämisessä on 5 x miksi (5W) menetelmä (kuva 2). Menetelmä toimii siten, että kysytään niin kauan kysymystä ”miksi”, kunnes ongelman perimmäi- nen luonne selviää. (Salminen 2021, 132.)

Esimerkki 5 x miksi -analyysistä

Ongelma on myöhässä oleva aikataulu.

1. Miksi? Koska aliurakoitsija on myöhässä.
2. Miksi? Koska aliurakoitsijalla on resurssipulaa.
3. Miksi? Koska työntekijät menivät toiselle työmaalle.
4. Miksi? Koska tuotanto ei päässyt jatkumaan yhtäjaksoisesti.
5. Miksi? Koska työmaan tuotannon aikataulutuksessa ei oltu riittävästi huomioitu aliurakoitsijan resurssien tasaamista.

Tässä päästiin asian ytimeen viidennen kysymyksen jälkeen: ymmärrettiin, että jatkossa pitää panostaa enemmän töiden suunnitteluun ja tuotannon tasaisuuteen myös aliurakoitsijoiden näkökulmasta. Työt etenevät silloin katkotta, eikä aliurakoitsijan työntekijöille tule tarvetta siirtyä muille työmaille.

KUVA 2. Juurisyyanalyysi 5W (Salminen 2021, 132.)

4 HANKINTA

4.1 Hankintaa edeltävät vaiheet

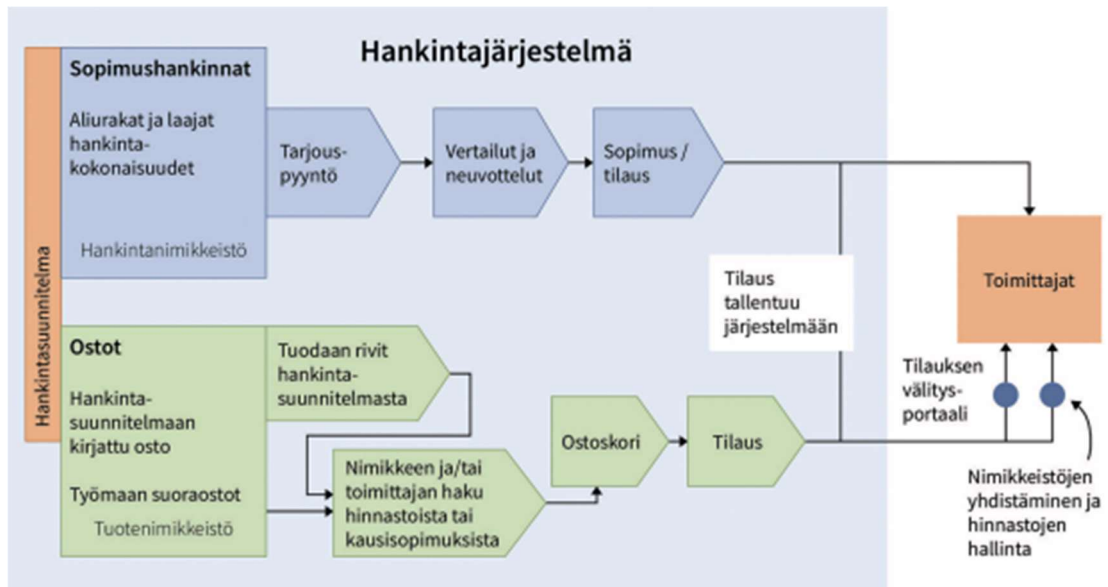
Rakennushanke perustuu aina rakennus- ja maankäyttölain määräämiin edellytyksiin ja laissa määritellään vastuut rakennushankkeeseen ryhtyvälle. Jotkin laissa määritellyt seikat asettavat rajoituksia ja määräyksiä hankkeen toteutukselle (Rakennus- ja maankäyttölaki, 1999.) Rakennushankkeen taloudelliset puitteet luodaan hankkeen alussa (kuvio 9). Tarveselvityksessä luodaan rakennushankkeen taloudellinen pohja ja selvitetään tilantarpeet, sekä rakennuttajan tavoitteet. Näistä muodostetaan hankkeen kuva hankkeen kustannusvaikutuksista ja määritellään alustavasti, miten hanke vastaa näihin tarpeisiin. (RT 10-11226.)

Tarveselvitystä seuraa hankesuunnittelu, jossa rakennushankkeelle muodostetaan rahalliset tavoitearvot ja määritellään laajuus sekä aikataulu. Mahdollisuudet vaikuttaa hankkeen kustannuksiin ovat korkeimmillaan, sillä se määrittelee hankkeen talouden, koon, aikataulun ja tavoitteet, joita suunnittelussa ja rakennustuotannossa noudatetaan. Suunnitteluvaiheessa määritellään millaisilla rakennustavoilla, tai osilla haluttu hanke toteutetaan ja luodaan suunnitelmat toteutukselle. Suunnitelmien jälkeen suunnitellaan hankkeen toteutus. Toteutus suunnittelussa määritellään tuotannon tavoitebudjetti, lasketaan työlajit, määrät ja menekit sekä suoritetaan hankinta. Hankinta jatkuu koko rakentamisvaiheen läpi, sillä erilaisia pientarvikkeita ja pienempiä urakkakokonaisuuksia ei ole yleensä järkevää hankkia ennalta. (RT 10-11226.)



KUVIO 9. Rakennushankkeen kulku (RT 10-11226.)

on jaettu kahteen kategoriaan, jonka polut kohtaavat toimitusvaiheessa. Tämän kaltaisen järjestelmän etuna on sopimusten ja ostotapahtumien erottaminen toisistaan, jolloin voidaan selkeämmin ymmärtää mitä ollaan hankkimassa.



KUVIO 10. Hankintajärjestelmä (Salminen 2021, 163.)

4.3 Hankintatyypit

Hankintaa voidaan jakaa erilaisiin hankintaryhmiin tai kategorioihin, riippuen rakennuskohteen laajuudesta ja ominaisuuksista. Hankintaryhmät helpottavat kokonaisuuden käsittelyä ja siten helpottavat hankintaprosessia. Hankintaa voidaan myös ohjata jakamalla hankinta tuotekategorioittain:

Pientarvikehankinnat:

Sisältävät työmaalla tarvittavia, pienikokoisia ja usein yleiskäyttöisiä tuotteita, kuten kiinnitystarvikkeita, työkaluja ja koneiden kulutusosia. Nämä hankitaan pääosin työmaan tarpeiden mukaan joko noutamalla tai sopimus pohjaisesti pientarvikevaraston kautta. (RT, Mittaviiva ja VTT.)

Vakiotuotehankinnat:

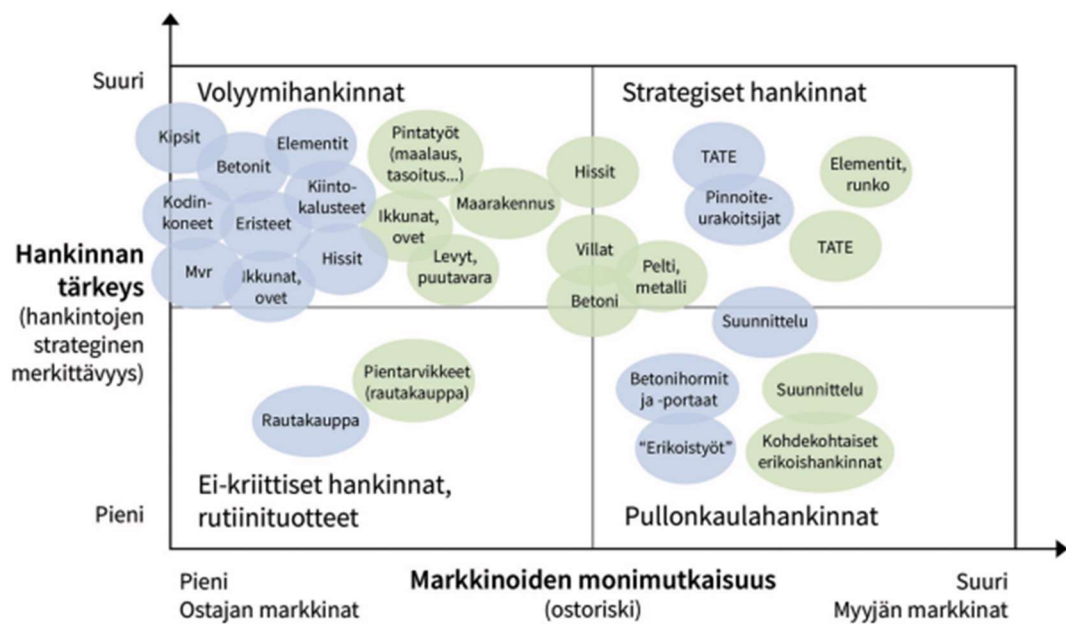
Vakiotuotteet ovat teollisesti valmistettuja rakennustarvikkeita, jotka eivät vaadi hankekohtaista suunnittelua. Esimerkkejä ovat puutavara, levyt, eristeet ja val-

misbetoni. Hankinnat perustuvat usein kausi- tai puitesopimukseen, joilla varmistetaan saatavuus ja hinta. Toimitukset voidaan tehdä suoratoimituksena, terminaalin kautta tai noutona. (RT, Mittaviiva ja VTT.)

Projektikohtaiset hankinnat:

Näihin kuuluvat tuotteet, jotka suunnitellaan ja valmistetaan nimenomaan tiettyyn rakennuskohteeseen. Esimerkiksi betonielementit, mittatilausikkunat ja erikoiskalusteet. Toimitusprosessiin liittyy usein suunnittelua, erillisiä hyväksyntävaiheita ja tarkkaa toimitusaikataulua. Projektikohtaiset hankinnat ovat usein sekä aikataulullisesti että taloudellisesti kriittisiä. (RT, Mittaviiva ja VTT.)

Toinen hankinnan keino on kuviossa 11. esitetty hankintaryhmittely, jossa ryhmitellään hankinnat tärkeys-, markkina- ja vaikuttavuusryhmiin. Kuvion mukaisella jaolla saadaan eri hankinta ryhmien eroja ja saatavuutta ennustettua ja voidaan siten vaikuttaa hankinnan onnistumiseen. Jaottelu on hyödyllistä myös vaikutusten huomioimisessa, jolloin voidaan vaikuttaa paremmin hankinnan riskeihin. Hankinta onkin myös riskienhallintaa, sillä ostetut palvelut ja tuotteet tulee hankkia luotettavilta toimijoilta, jotta tuotanto, materiaalivirta ja kuljetukset olisi mahdollisimman ennustettavia.



KUVIO 11. Rakennustyömaan hankinnat ryhmittäin (Salminen 2021, 161.)

4.4 Volyymihankinta ja sen logistiset vaikutukset

Volyymihankinnalla, jossain yhteyksissä massahankinnalla, tarkoitetaan suurten materiaalierien tai palveluiden keskitettyä hankintaa (VTT Technology.) Hankinta voidaan tehdä yhdellä kertaa tai vaiheittain projektin edetessä. Tavoitteena on hyödyntää määrän tuomaa etua: saada paremmat hinnat, varmistaa saatavuus ja yksinkertaistaa logistiikkaa. Volyymihankinta sopiikin parhaiten suuriin kohteisiin, hybridikohteisiin ja korttelihankkeisiin.

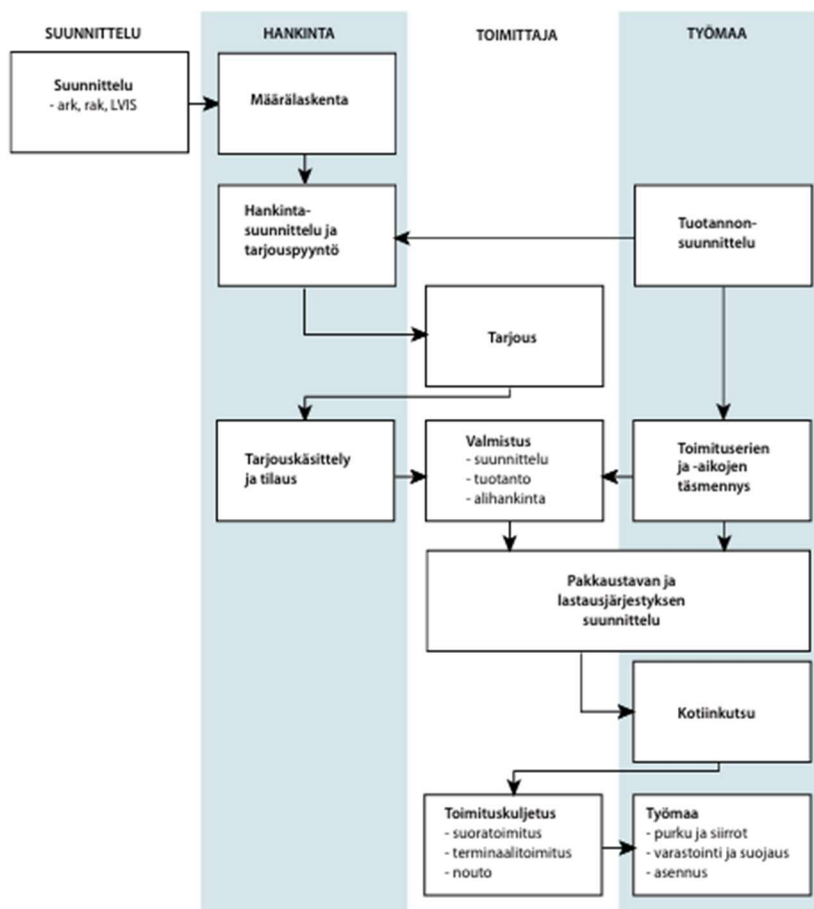
Logistisesti volyymihankinta vaatii ennakkointia. Työmaalla on oltava riittävät tilat varastointiin, purkuun ja siirtoihin. Ilman tarkkaa aluesuunnittelua ja logistiikkasuunnitelmaa suuret toimituserät voivat tukkia työmaan, aiheuttaa siirtotarvetta ja lisätä hukkaa. Volyymihankinta soveltuu erityisesti vakiotuotteisiin, mutta riskit kasvavat: jos suunnitelmat muuttuvat, valmiiksi hankitut tuotteet voivat mennä käyttökelvottomiksi. Volyymihankinnat lisäävät toimitusketjun riippuvuutta yksittäisestä toimittajasta, joten toimittajan kapasiteetti ja toimituskyky on varmistettava etukäteen (VTT Technology.) Hyvin suunniteltuna suurten erien hankinta tehostaa logistiikkaa ja pienentää kustannuksia. Huonosti hallittuna se kuormittaa työmaata ja kasvattaa riskejä. Volyymihankinnalla voidaan tuotteiden sisältämää logistiikkakulua pienentää, sillä tuotteiden kokonaishinta pienenee ja kuljetuskustannukset laskevat. Toisaalta logistiikkariskit nousevat ja materiaalivirran hallinta korostuu.

4.5 Toimitusten suunnittelu hankintavaiheessa

Hankinnalla on mahdollista suunnitella toimitusten aikataulua ja toteutusta jo ennen työmaan aloitusta. Käytännössä tämä tarkoittaa työmaahenkilöstön tai hankintaorganisaation tekemää esivalmistelua, jolloin työmaalla tarvittavaa suunnittelutyötä voidaan vähentää. Etupainotteisella suunnittelulla saavutetaan ensisijaisesti ajankäytöllisiä etuja: asioita on mietitty jo ennalta ja niiden toteuttaminen on yksinkertaisempaa. Toisaalta aikataulut ja suunnitelmat ovat arvioita tulevasta ja toimitusaikataulun onnistuneisuus riippuu tuotannon aikataulussa pysymisestä. Mahdollisia viivästyksiä tai aikataulun alituksia ei ennakkoon pystytä huomioimaan muulla kuin riskienhallintatyökaluilla ja puskureilla. Ratu kortissa ”Työ-

maan toimitusten suunnittelu ja ohjaus” kuvataan työmaaorganisaation merkitystä: ”Työmaaorganisaatiolle kuuluu normaalisti hankinnan tekninen valmistelu. Työmaaorganisaatio määrittelee työpiirustusten perusteella hankittavat materiaalit ja niiden määrät sekä ostettavan alihankintatyön laajuuden ja aikataulun” (RATU S-1227.) Usein työmaaorganisaatiolla tarkoitetaan työmaainsinööriä ja vastaavaa työnjohtajaa, mutta logistiikan toteutumisen kannalta olisi tärkeää nimetä koko hankkeelle logistiikasta täysin vastuussa oleva tahon.

Kuviossa 12 havainnollistetaan hankinnan kulkua ja etukäteissuunnittelua. Tuotantoa suunnitellaan erittäin aikaisessa vaiheessa, jolloin työmaan ja suunnitelmien välissä on vielä monta prosessia ja vaihetta. Jokainen vaihe täsmentää ja asettaa tarpeita toteutukselle, jolloin suunnitelmien kriittinen tarkastelu ja päivitys on tärkeä osa hankintaprosessia. Hankintojen ja niihin liittyvien alustavien suunnitelmien kannalta huomionarvoinen seikka on johdannaisvaikutukset: hankinnalla ja ennalta suunnittelulla on kulujenmuodostumisen kannalta keskeinen merkitys koko rakentamisprosessiin.



KUVIO 12. Hankintaprosessin kulku (RATU S-1227.)

4.6 Hankintavastuu

Tavallisimmassa tapauksessa hankintaa suorittaa yrityksen hankintaorganisaatio ja työmaahenkilöstö. Poikkeuksena pientalot, joiden hankinnasta vastaa usein rakennushankkeeseen ryhtyvä, talotoimittaja tai työmaan vastaava mestari. Yleisesti hankintaorganisaatio vastaa suuremmista kokonaisuuksista ja hankintoja tekemään voidaan nimittää erikseen hankintoja toteuttava ostaja (RATU S-1227.) Työmaaorganisaation rooli hankinnoissa on pientavaran, pienempien urakoiden ja hankinnan teknisten lähtökohtien valmistelu. Kuvio 12 havainnollistaa hankintavastuita: työmaaorganisaatio vastaa rutiinituotteista ja osasta ei-kriittisistä hankinnoista. Lisäksi työmaaorganisaatio vastaa tarjouspyyntöjen valmistelusta ja sisällöstä, hankintojen sisällön määrittelystä, toimittajavalinnoista ja sopimuksista (RATU S-1227.) Hankintaorganisaatio huolehtii strategisista ja pullonkaulahan- kinnnoista ja kaikista suuremmista kokonaisuuksista. Osasto myös vastaa toimittajarekisteristä, sopimusten arkistoinnista ja tarjouspyyntöjen lähettämisestä ja käsittelystä (RATU S-1227.) Hankintavastuissa on vaihtelua ja huomattavia organisaatiokohtaisia eroja ja hankintoja toteutetaan yrityksen strategian, käytän- töjen ja tavoitteiden mukaisesti. Kokonaisuuden kannalta hankintavastuiden määrittely on tärkeää. Selkeästi rajatut vastuut vähentävät päällekkäisyyksiä ja selkeyttävät hankinnan tavoitteita. Työmaan osallistaminen hankintaprosessiin antaa mahdollisuudet vaikuttaa ennalta työmaan kulkuun ja toteutukseen. Työ- maan tulisikin miettiä logistiikka työnjohtajan tai -koordinaattorin käyttöä varsinkin suuremmissa kohteissa, jolloin logistiikkavastuut olisi selkeämmin määritelty.

4.7 Toimittajayhteistyö ja toimitusvarmuus

Toimittajayhteistyöllä tarkoitetaan eri sidosryhmien kommunikointia ja viestintää. Yhteistyöllä on merkittävä rooli logistiikalle, sillä materiaalivirran toteutuminen pohjaa yhteistyön merkitykseen ja sopimuksissa pysymiseen. Yhteistyön merki- tys toimitusvarmuuteen on kriittinen, sillä sidosryhmien ja materiaalitoimittajien tulee olla tietoisia, mitä ja minne saapuu minäkin ajanhetkenä. Viestinnällä ja yh- teistoiminnalla on suora korrelaatio tavoitteiden toteutumiseen.

4.8 Hankinnan vaikutus logistiseen kokonaiskuvaan

Hankinnan merkitys materiaalivirran käynnistäjänä ja hankkeen ostojen toteuttajana on tuotannon kannalta kriittinen. Myös hankinnan vaikutukset hankkeen kuluihin ovat kriittisiä, sillä hankinnalla määritellään työn, materiaalin ja palveluiden hintataso ja niiden sujuvuus. Logistiikan laajemmassa merkityksessä hankinta voidaan ajatella olevan logistinen osakokonaisuus ja suurin osa hankintatyöstä tulisi ymmärtää logistiikkakuluna. Hankinnalla voidaan vaikuttaa toimitusketjun rakenteeseen, kuljetuskuluihin, työmaalogistiikan toteumaan ja aikatauluun. Sillä pystytään myös vaikuttamaan kappalemateriaalin hintaan, jolloin materiaalin sisältämät logistiikkakulut pienenevät.

Työn alkupuolella (kuvio 2) käsiteltiin rakentamisen kustannusjakaumaa, jossa materiaalin osuus on 49 % rakennushankkeen kuluista. Hongkongissa tehdyn tutkimuksen mukaan 20–30 % materiaalikustannuksesta muodostuu materiaalogistiikasta (Fang ym, 2011.) Tämä tarkoittaisi pelkän materiaalogistiikan osuuden olevan suomessa 9,8–14,7 % hankkeen kokonaiskustannuksista. Huomioitavaa on kuitenkin maantieteelliset ja kulttuurilliset erot, sekä rakennustapojen ja logistiikkatoteutuksen mahdolliset eroavaisuudet. Tutkimusta voidaan käyttääkin vain suuntaa antavana arviona. Määrä on kuitenkin kokonaisuuden kannalta erittäin merkittävä. Koska hankinta käynnistää materiaalivirran eli materiaalogistiikan, voidaan optimoinnilla vaikuttaa merkittävästi hankkeen kokonaiskustannuksiin. Hyvän tai huonon hankinnan johdannaisvaikutuksien arviointi on puolestaan erittäin haastavaa työmaan dynaamisen luonteen ja monimutkaisten riippuvuussuhteiden vuoksi.

5 SUUNNITELMAT

5.1 Suunnittelu

Rakennusalalla suunnittelulla tarkoitetaan prosessia, jonka päämääränä on tuottaa rakentamisessa käytettäviä suunnitelmia. Suunnittelu on kattotermi erityyppisille toimille, joilla määritellään tapaa toimia ja rakentaa eri periaatteiden ja reunaehtojen puitteissa. Kirjallisuudessa yleisin tapa käsitellä aihetta on lajitella se osa-alueisiin. Lean Logistiikassa kirjassa esiintyvä huomio suunnittelusta, jossa korostetaan: ”On huomattavaa, että suunnittelua lähestytään useissa tutkimuksissa pikemmin sosiaalisena vuorovaikutusprosessina kuin pelkkänä asiantuntijoiden teknisenä suorituksena”, (Salminen 2021, 52.) kuvataan suunnittelua laajana yhteistoiminta prosessina.

Suunnittelu voidaan jakaa karkeasti kolmeen osa-alueeseen, joilla määritellään, mikä on hankkeen tavoitehinta, miten se rakennetaan ja millaisilla toimilla se toteutetaan (RT 10-11226.) Osa-alueita sivuttiin kappaleessa 4, jossa määriteltiin suunnittelun merkitys hankinnalle. Suunnittelu on logistiikan kannalta erityisen merkityksellistä, koska se määrittelee hankkeen kokonaisuuden ja asettaa siten reunaehdot tilankäytölle, materiaalivirran toteuttamiselle ja aikataululle (RT 10-11224.) Logistiset tekijät tulee huomioida jo suunnitteluvaiheessa, sillä esimerkiksi suurien IV-koneiden, massiivielementtien ja sähkökeskusten siirtoon tarvittava tilantarve ja siirtokalusto tulee tietää jo hyvissä ajoin.

5.2 Rakennuksen tietomalli

Rakentamisen tietomallinnus eli BIM (Building Information Modeling) on digitaalinen prosessi, jossa rakennuksesta luodaan kolmiulotteinen tietomalli. Tämä malli sisältää rakennuksen fyysiset ja toiminnalliset ominaisuudet, kuten rakenteet, materiaalit, aikataulut ja kustannukset. Tietomallintamisen avulla eri osapuolet voivat tehdä yhteistyötä tehokkaammin ja vähentää virheitä suunnittelussa ja toteutuksessa. (Tekla, n.d; Helsingin yliopisto n.d.)

Logistisesta näkökulmasta tietomallinnus toimii tehokkaana työkaluna:

malli mahdollistaa rakennushankkeen simuloinnin, sillä malliin on mahdollista lisätä neljäs ajallinen ulottuvuus (Tekla, n.d.) Simuloinnin hyötynä ovat mahdollisuudet tarkastella erilaisia skenaarioita ennen varsinaisen toteutuksen alkua, jolloin logistiikan ongelmia ja pullonkauloja voidaan tunnistaa ajoissa. Myös tilankäytölliset piirteet ovat helpompia suunnitella, kun rakennuskohdetta voidaan tarkastella kokonaisuutena. Esimerkiksi nosturien sijoittelu, kulku- ja haalausreitit ja varastointipaikat voidaan määritellä malliin. (InnoBIM2, n.d.)

Tietomallin hyödyt korostuvat lisäksi kommunikoinnissa ja materiaalivirran hallinnassa: tietomallin avulla voidaan suunnitella materiaalien toimitukset tarkasti oikeaan aikaan ja paikkaan. Suunnittelulla voidaan vähentää varastointitarvetta ja minimoida hävikkiä. Kommunikointi helpottuu, kun voidaan käytännössä nähdä milloin ja missä materiaalia tarvitaan. (InnoBIM2, n.d.)

5.2.1 SimBauLog ja Tecnomatix Plant Simulation

Tietomallia voidaan hyödyntää myös logistiikan simuloinnissa yhdistämällä siihen ulkopuolisia työkaluja. SimBauLog on rakennustyömaan logistiikkaan kehitetty simulointikirjasto, joka toimii Siemensin Tecnomatix Plant Simulation -ohjelmistossa. (Simplan n.d; Siemens n.d.) Sen avulla voidaan mallintaa työmaan materiaalivirtoja, tilankäyttöä ja nosturien toimintaa jo ennen toteutusta. SimBauLogin ja tietomallin yhdistäminen mahdollistaa eri vaihtoehtojen vertaamisen, törmäystarkastelujen ja resurssien ajoituksen tarkentamisen. Näin logistiikan suunnittelussa voidaan tunnistaa ruuhkautumiset ja tarpeettomat siirrot jo suunnitteluvaiheessa. SimBauLogin hyötyjä on tutkittu pääosin Saksassa ja tulokset ovat lupaavia. Johdannaisvaikutusten ja aikatauluvaikutusten arviointi on parantunut ja riskien tunnistaminen on helpottunut. (Alexander Schlosser ym, 2024.)

5.3 Työmaasuunnitelmat ja logistinen tilankäyttö

Työmaalogistiikka vaatii useita huolellisia suunnitelmia, jotta materiaalien, työntekijöiden, nostojen ja kuljetusten virrat voidaan sovittaa yhteen turvallisesti ja kustannustehokkaasti. Logistiikan suunnitteleminen liittyy olennaisesti rakennushankkeen onnistumiseen, sillä sen avulla voidaan ehkäistä tuotannon keskeytyksiä, vähentää materiaalihukkaa sekä parantaa työmaan aikataulullista ja tilallista

hallintaa (RATU S-1227.) Logistiikan toteutus ei perustu yhteen suunnitelmaan, vaan vaatii useita toisiaan tukevia asiakirjoja, jotka kattavat niin tilankäytön, aika-
taulutuksen, turvallisuuden kuin käytännön toimet. Näiden suunnitelmien yhteis-
toiminta muodostaa työmaan logistisen perustan, joka vaikuttaa suoraan tuotan-
non jatkuvuuteen ja kustannusten hallintaan.

5.3.1 Aluesuunnitelma

Aluesuunnitelma on työmaan logistiikan kannalta keskeisimpiä suunnitelmia, sillä sen tehtävänä on varmistaa työmaa-alueen turvallinen, tehokas ja häiriötön käyttö rakentamisen eri vaiheissa. Aluesuunnitelman (kuva 5) avulla määritellään muun muassa materiaalien purku- ja varastointipaikat, nosturien ja koneiden sijoittelu, kulkuväylät, työmaatilojen sijainti sekä jätehuollon ja sähköistyksen järjestelyt. Suunnitelma toimii perustana myös työmaan liikenteen, nostojen ja tilankäytön hallinnalle. (Ratu C2-0454.)



KUVA 5. Aluesuunnitelman esimerkkikuva (Ratu C2-0454.)

Suunnitelmassa määritellään käytännön visualisoinnilla, missä mikäkin toiminto sijaitsee ja merkinnät ovat yleisesti alalla vakiintuneita symboleja (kuva 6). Visu-

alisoinnilla pyritään selkeyttämään työmaatoimintojen hahmottamista ja työmaalla liikkumista. Esimerkiksi työmaa-alueen rajausta, kulkureittejä, pysäköintialueita, ensiapu- ja jättepisteitä ja sammuttimien paikat löytyvät jokaisesta aluesuunnitelmasta. (Ratu C2-0454.)



KUVA 6. Esimerkki aluesuunnitelman merkinnöistä (Ratu C2-0454.)

Hyvin laadittu aluesuunnitelma ehkäisee vaaratilanteita ja tukee logistiikan sujuvuutta vähentämällä esimerkiksi turhaa materiaalien siirtelyä, odotusaikoja ja tilapäisiä muutoksia. Sen avulla voidaan myös hallita riskejä, jotka liittyvät työmaan vaikutusalueella liikkuvien ihmisten, ajoneuvojen ja koneiden yhteistoimintaan. Aluesuunnitelma on erityisen tärkeä viestintäväline työmaan eri osapuolille ja sen läpikäynti on keskeinen osa työntekijöiden perehdytystä. (Ratu C2-0454.)

Lainsäädäntö (VNa 205/2009, 11 §) edellyttää, että päätoteuttaja laatii kirjallisen suunnitelman työmaa-alueen käytöstä ja tunnistaa siihen liittyvät vaara- ja haittatekijät. Suunnitelma päivitetään hankkeen edetessä, ja se pidetään nähtävillä työmaan keskeisissä paikoissa, kuten toimistossa, taukutiloissa ja työmaan portilla. Laajoissa hankkeissa aluesuunnittelu voidaan toteuttaa osana tietomallia (BIM), jolloin se voi olla esimerkiksi 3D- muodossa. Suunnitelman laajuus ja yksityiskohdeisuus vaihtelevatkin hankkeen koon ja luonteen mukaan. Sen peruseriaate on

aina sama: luoda selkeä, turvallinen ja tehokas pohja työmaan logistiselle toiminnalle. (Ratu C2-0454.)

5.3.2 Logistiikkasuunnitelma

Logistiikkasuunnitelma on keskeinen työkalu rakennustyömaan materiaalivirtojen, kuljetusten ja tilankäytön hallinnassa. Sen tavoitteena on varmistaa, että oikeat materiaalit ja resurssit ovat oikeassa paikassa oikeaan aikaan, tukien työmaan sujuvaa etenemistä ja turvallisuutta. Suunnitelmassa eritellään logistiikan toteutuskeinot ja määritellään logistiikkaa toteuttava taho. Yleispätevää määritelmää sisällöstä ja esitystavoista ei kirjallisuuskatsauksen perusteella löydy, ja suunnitelmien sisältö vaihtelee. Sitowisen ohjeistuksessa Jätkäsaaren hankkeiden logistiikkasuunnitelmista (Jätkäsaari, 2021.) määritellään vähimmäisisällöksi seuraavat asiat:

- Työmaasuunnitelma: Kuvaus työmaan tilankäytöstä, mukaan lukien materiaalien purku- ja varastointipaikat, kulkureitit ja nostopaikat.
- Työmaarakennukset ja aitaukset: Työmaatilojen sijoittelu ja työmaa-alueen rajaukset.
- Kuljetusten järjestäminen: Toimitusaikataulut, purkualueet ja kuljetusreitit.
- Jätehuoltosuunnitelma: Jätteiden lajittelu, keräys ja poiskuljetus.
- Sosiaali- ja toimistotilat: Tilatarpeet yhteisille työmaan sosiaali- ja toimistotiloille.
- Materiaalien varastointi: Materiaalien varastointi tontilla ja mahdollisissa keskitetyissä varastotiloissa.
- Työmaapysäköinti ja kulunvalvonta: Henkilöstön ja ajoneuvojen pääsy työmaalle.
- Turvallisuus ja ympäristövaikutusten arviointi: Riskienhallinta ja ympäristövaikutusten huomiointi. (Jätkäsaari, 2021.)

Logistiikkasuunnitelma on siis eri logistiset toiminnot yhteen kokoava asiakirja, jolla voidaan kuvata koko työmaalla tehtävää logistiikkasuoritetta, materiaalilogistiikkaa ja riskejä. Arvon tuoton kannalta logistiikkasuunnitelmassa tulisi myös määritellä logistiikkaa toteuttava taho ja vastuukysymykset.

5.3.3 Turvallisuussuunnitelma

Turvallisuussuunnittelu on olennainen osa rakennushankkeen toteutusta. Turvallisuussuunnitelma koostuu kirjallisista asiakirjoista, joilla ohjataan ja valvotaan työmaan turvallisuutta. Suunnitelman keskiössä on riskien arviointi, jossa tunnistetaan hankekohtaiset vaaratekijät ja laaditaan toimenpiteet niiden ehkäisemiseksi. Arviointia tehdään hankkeen etenemisen mukaan: yritys-, hanke- ja tehtävätasolla. Erityistä painoarvoa annetaan tehtäväsuunnittelulle, jossa vaarat kiinnitetään aikaan ja paikkaan ja jonka pohjalta laaditaan tehtäväkohtaisia turvallisuussuunnitelmia: esimerkkinä nosto ja siirtosuunnitelmat (Ratu KI-6034.)

Turvallisuussuunnittelu liittyy suoraan logistiikkaan: logistiikan avulla varmistetaan turvallinen ja sujuva materiaalivirta sekä liikkuminen työmaalla. Työmaa-alueen suunnittelu: kulkureitit, varastoalueet ja nostopaikat ovat osa turvallisuussuunnitelmaa. Logististen järjestelyjen tulee mahdollistaa riskien hallinta erityisesti nostojen, siirtojen ja työskentelyalueiden osalta. Eri menettelyohjeissa kuvataan aliurakoinnin, työaikojen ja erityisten työmenetelmien turvallinen yhteensovittaminen. Suunnitelma on jatkuvasti päivitettävä dokumentti, jonka tulee ohjata työmaan turvallisuusjohtamista koko hankkeen ajan. (Ratu KI-6034.)

5.4 Logistiikan aikataulusuunnittelu

Logistiikan onnistuminen työmaalla rakentuu aikataulun varaan. Aikataulu ohjaa, milloin ja missä vaiheessa materiaalit, kalusto ja henkilöstö tarvitaan työmaalla. Jos aikataulut puuttuvat tai ovat epärealistisia, logistiikka ajautuu reaktiiviseksi. Seurauksena ovat ylimääräiset siirrot, varastoinnit, ruuhkat ja pahimmillaan työvaiheiden pysähtyminen.

Yleisaikataulu luo perusrhythmin, jota logistiikka tukee. Rakennusvaiheaikataulu ja viikkosuunnittelu puolestaan mahdollistavat toimitusten tarkemman tahdistuksen tuotantoon. Esimerkiksi elementtitoimitus vaatii, että purkupaikka on tyhjä, nosturi vapaa ja asennusryhmä valmiina. Näiden resurssien yhteensovittaminen aikataulun kanssa on logistiikan kannalta keskeistä (Ratu KI-6036.) Logistiikkaketjun

eteneminen perustuu siihen, että jokainen vaihe on kytketty aikatauluun. Toimitusketjussa ilmenevät viiveet voivat helposti moninkertaistua, jos aikataulua ei ole suunniteltu siten, että toimituserät toimitetaan ja vastaanotetaan vaiheittain tuotannon etenemisen mukaisesti. (Ratu S-1227.)

Aikataulun avulla voidaan hallita tuotannon ja toimitusten vastuut. Toimitusten ajoitus kirjataan usein aliurakkasopimukseen, jolloin osapuolet sitoutuvat toteuttamaan tehtävän tietyssä aikaikkunassa. Tämä tekee logistiikasta ennakoitavaa, ei hetkessä ohjattavaa. Sopimuksissa voidaan lisäksi määritellä sanktiot aikataulu-poikkeamista, mikä lisää toimitusten täsmällisyyttä. Työmaalla viikkoaikataulu toimii logistiikan ja aliurakoitsijoiden yhteensovituksen käytännön työkaluna. Sen avulla voidaan hallita esimerkiksi sitä, milloin materiaalierät saapuvat minnekin ja kuka vastaa niiden siirroista. Viikkoaikataulu on käyttökelpoinen nimenomaan suurien toimitusten ja niiden vaiheistuksen koordinointiin. (Ratu KI-6036).

5.4.1 Aikataulumuutosten ja riskien ennakointi

Logistiikan onnistuminen edellyttää, että aikataulut kestävät hallitusti muutoksia. Toimitusten viivästyminen tai aikaistukset on pystyttävä sovittamaan tuotannon etenemiseen ilman, että työvaiheet keskeytyvät tai resurssit jäävät odottamaan (Ratu S-1227.) Kriittiset toimitukset vaativat selkeän aikaikkunan, jonka puitteissa ne voidaan vastaanottaa turvallisesti ja ilman tuotantokatkoksia (Ratu KI-6036.) Tällaisten toimitusten kohdalla käytetään usein aikataulupuskureita, jotka mahdollistavat pienen liikkumavaran ilman, että koko työvaihe viivästyy. Puskureiden mitoitus riippuu toimituksen kriittisyydestä ja työmaan kyvystä sopeutua häiriöihin. Liian pieni puskuriaika altistaa tuotannon katkoksi, kun taas liian suuri lisää varastointitarvetta ja sitoo resursseja. Toimitusketjun hallinta edellyttää ennakoivaa suunnittelua, mutta myös kykyä päivittää aikataulua tilanteen muuttuessa ilman, että tuotantorytmi kärsii.

5.5 Materiaalivirran suunnittelu

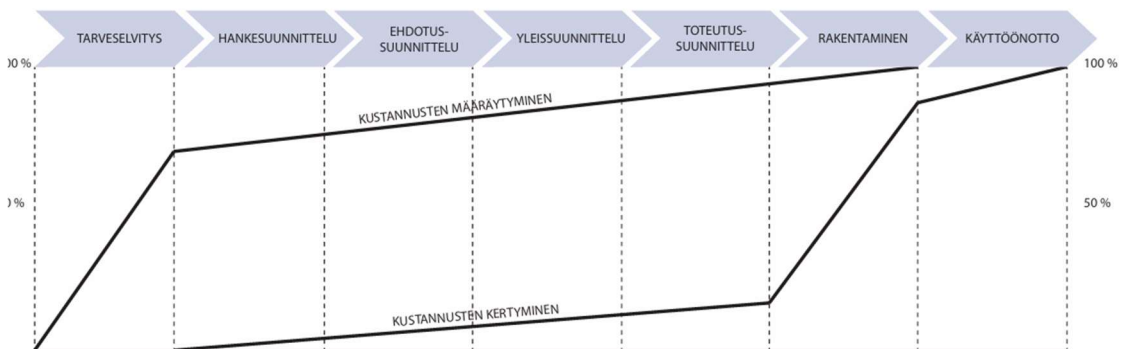
Materiaalivirran suunnittelu on rakennuslogistiikan keskeinen osa, jonka onnistuminen edellyttää tuotannon luotettavaa etenemistä. Materiaalit on toimitettava työmaalle mahdollisimman suoraan käyttöpaikalle, ilman välivarastointia tai ylimääräisiä siirtoja. Tämä edellyttää, että toimitukset rytmitetään täsmällisesti tuotantotahdin mukaan (Ratu S-1227.) Materiaalilogistiikan virtautuksen perustana on siten tuotannon oma ennustettavuus ilman sitä täsmätoimitukset eivät voi toimia (Salminen 2021, 161.)

Salminen tuo esiin, että täsmällinenkin toimitussuunnitelma on hyödytön, jos itse tuotanto on hajanaista ja epävarmaa. Rakennusalalla suunnitelmat muuttuvat usein viime hetkellä, mikä aiheuttaa epävarmuutta paitsi työmaalla myös toimittajien omilla prosesseissa. Tällöin joudutaan varautumaan puskurivarastoinnilla, mikä lisää kustannuksia ja sitoo tiloja (Salminen 2021, 161.) Ongelman ydin ei ole usein logistiikkaketjun osaamisessa, vaan tuotannon hallinnan puutteessa. Ennustettava ja virtautettu tuotanto ratkaisee ongelman. Kun tehtävien ajoitus on luotettava ja työvaiheet etenevät tasaisella rytmillä, on mahdollista rakentaa toimitussuunnitelma, jota voidaan myös toteuttaa (Salminen 2021, 163.) Materiaalit voidaan tällöin suunnitella saapuviksi suoraan oikeaan paikkaan, oikealla hetkellä.

Virtautus ei tarkoita vain aikataulutekniikkaa, vaan suunnitelmallista tuotannon valmistelua ja jatkuvaa oppimista. Toimitusten ja työnsuoritusten tarkkuus saavutetaan vain, jos suunnittelu, tuotanto ja toimitusketju toimivat saumattomasti yhteen. Tässä onnistuminen mahdollistaa sen, että materiaalivirta toimii ilman katkoja, hukkaa tai odotusaikoja ja että työmaalla keskitytään rakentamiseen, ei tavaran käsittelyyn ja etsimiseen. (Salminen 2021, 160–163.)

5.6 Suunnitelmien kustannusvaikutukset

Suunnittelun kustannusvaikutukset ovat vaikeasti mitattavissa. Työmaan dynaaminen luonne ja lukuisat liikkuvat osakokonaisuudet tekevät suunnitelmista eläviä, joita jatkuvasti täsmennetään ja tarkistetaan (Salminen 2021, 160–163.) Lisäksi puhtaan logistiikan suunnittelun määrä on koko hankkeen suunnitteluprosesseissa huomattavan vähäinen (Kuvio 13). Toisaalta hyvät suunnitelmat mahdollistavat logistiikan toimimisen turvallisesti, parhaalla mahdollisella teholla. Eriyisesti tietomallipohjaisten simulaatioiden potentiaali logistiikan tehokeinona voi olla merkittävä, sillä mahdollisuudet optimoida työmaaliikennettä ja materiaalsiirtoja kasvavat merkittävästi. Suunnittelun rooli ennalta määrittelevänä kokonaisuutena tulee huomioida logistiikan toteutuksessa.



KUVIO 13. Rakentamisen kustannusten muodostuminen. (RT 10-11226.)

Mahdollisia parannuskeinoja logistiikan suunnitteluun voi olla rinnakkaisaikataulun luominen logistiikkakokonaisuudelle, joka huomioisi toimitukset, varastoinnin ja siirtömäärät. Tällöin logistiikan rytmittäminen muihin työmaaprosesseihin muuttuisi hahmotettavammaksi. Toinen mahdollinen parannuskeino olisi nimetä logistiikasta vastaava henkilö jo suunnitteluvaiheeseen, jolloin tiedonkulku ja suunnitelmien luominen olisi johdonmukaisempaa. Myös arvovirta-analyysin teko logistiikasta voi olla arvokasta, sillä silloin mahdolliset epäedulliset kustannusvaikutukset voitaisiin kartoittaa ja logistiikka suunnitella siten, että sen arvontuotto olisi mahdollisimman korkea.

Euromääräisiä arvioita on mahdotonta esittää: suunnittelu on osittainen logistiikkakulu, jonka vaikutukset heijastuvat koko hankkeen ja toteutukseen. Siinä missä hankinta aloittaa materiaalivirran, suunnitelmat määrittelevät tai ohjaavat

sitä (Kuvio 13). Tällöin muodostuu vahvoja syy-seuraussuhteita jo hankkeen alkuvaiheilla ja mahdollisten viivästyksien juurisyy voi olla esimerkiksi valituissa materiaaleissa tai toteutuksen suunnittelussa.

6 TYÖMAALOGISTIIKKA

6.1 Logistisen kokonaisuuden johtaminen

Aika-, paikka- ja projektisidonnaisen luonteensa takia rakennushankkeessa toteutettavan rakennuksen ominaisuuksilla on logistiikan kannalta suuri merkitys. Jokaisella tontilla, rakennuksella, hankkeella ja organisaatiolla on omat ominaispiirteensä, jotka tulee logistiikassa huomioida. Ominaispiirteitä voivat olla esimerkiksi ahdas tontti, rakennuksen korkeus tai muoto. Myös materiaalivalinnat, rakentamista toteuttava organisaatio, projektimuoto tai työkokonaisuudet vaikuttavat logistiikan suunnitteluun ja toteutukseen (Ratu S-1227; RT 10-11226.) Vääränlaisella mallilla toteutettu tai muutoin epäonnistunut logistiikka nostaa koko hankkeen kustannuksia, sillä se voi johtaa esimerkiksi yliresursointiin, viivästyksiin, virheisiin tai pitkittyneisiin katuvuokriin (Ratu S-1227.)

Logistiikan tehokas johtaminen työmaalla edellyttää, että työmaalla nimetään selkeä vastuhenkilö logistiikan käytännön toteutuksesta ja suunnittelusta. Tyypillisesti vastuussa on vastaava työnjohtaja tai hänen määrittämänsä työnjohtaja, joka huolehtii toimitusten aikataulutuksesta, purkujärjestelyistä, nostokaluston hallinnasta ja alihankkijoiden informoinnista. Työnjohdon kyky koordinoita toimituksia ja varmistaa sujuva tiedonkulku materiaalitoimittajien ja muiden osapuolten välillä on kriittinen työmaan toimivuuden kannalta. (Ratu S-1227.)

Logistiikan johtamisessa on keskeistä myös vastuiden jako hankintaorganisaation ja työmaan välillä. Yrityksen hankintaosasto voi hoitaa merkittävimmät sopimukset ja ostot, mutta työmaaorganisaatio vastaa päivittäisestä hallinnasta, kuten toimitusten yhteensovittamisesta työmaan rytmiin, työalueiden käytön suunnittelusta sekä esimerkiksi pientarvikevaraston ylläpidosta. Hankinnan, toimitusten ja varastoinnin rajapinnat tulee suunnitella tarkasti, jotta materiaalivirrat eivät katkea tai ruuhkaudu. (Ratu S-1227.)

Projektinjohtomuotoisessa rakentamisessa logistiikan johtaminen korostuu entistään, sillä aliurakoitsijoiden määrä kasvaa ja vastuut pirstaloituvat. Rakennuttaja tai pääurakoitsija kantaa vastuun kokonaisuuden onnistumisesta, mutta ura-

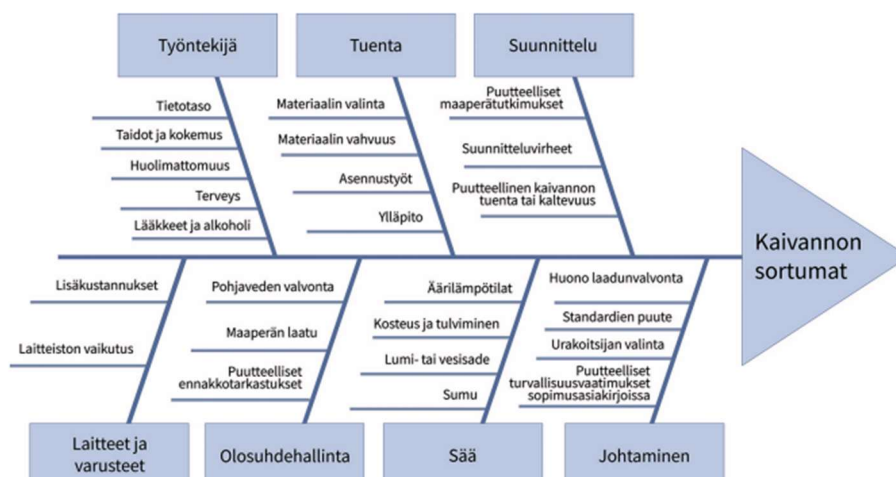
koitsijat vastaavat omista osasuorituksistaan (RT 10-11223.) Tästä syystä logistiikan keskitetty ohjaus on erityisen tärkeää ja ilman sitä syntyy helposti ristiriitoja ja aikatauluhäiriöitä.

6.1.1 Syy-seuraussuhteet

Rakennuslogistiikan syy-seuraussuhteiden ymmärtäminen on tärkeää, jotta voidaan tunnistaa virheiden ja viiveiden juurisyyt. Ongelmien ratkaiseminen edellyttää usein prosessien tarkastelua pintatasoa syvemmillä, ei yksittäisten virheiden osoittelua.

Yksi keskeinen lean-rakentamisen työkalu tähän on juurisyyanalyysi, erityisesti niin kutsuttu 5W-menetelmä, jossa kysytään peräkkäin viisi kertaa ”miksi”, jotta päästään esiin nousseen ongelman varsinaiseen syyhyn. Esimerkiksi aikataulun viivästymisen taustalla voi olla resurssien epätasainen jakautuminen, joka puolestaan johtuu suunnittelun puutteista. Tarkastelu auttaa löytämään kohdan, jossa toimintaa tulee muuttaa. (Salminen 2021, 131–132.)

Toinen hyödyllinen työkalu on kalanruotokaavio (Kuvio 14), jota käytetään monimutkaisempien ongelmien syy-seurausverkoston hahmottamiseen. Se toimii visuaalisena analyysimenetelmänä, jossa ongelma asetetaan kalan ”päähen” ja sen taustatekijät esitetään ruodon haaroina. Kalanruotokaavio auttaa jäsentämään kokonaisvaltaisesti esimerkiksi materiaalien toimitusviiveiden, siirtotarpeiden tai varastointiongelmien taustasyitä. (Salminen 2021, 134–135.)



KUVIO 14. Kalanruotokaavio (Salminen 2021, 134.)

Syy-seurausajattelun vahvuus on siinä, että se ei tyydy yksittäisiin oireisiin, vaan pyrkii rakentamaan ymmärrystä koko logistisen ketjun toimivuudesta. Tämän ansiosta se tukee ennakoivaa ohjausta ja jatkuvaa parantamista työmaiden arjessa.

6.1.2 KPI-mittarit

Logistiikan ja rakentamisen onnistumista voidaan mitata erilaisilla suorituskyky-mittareilla (KPI, Key Performance Indicator). Mittarien avulla voidaan seurata toimintaa reaaliaikaisesti, havaita poikkeamia ja ohjata hanketta kohti tavoitteita. Ilman mitattavaa tietoa logistiikan ohjaus jää helposti reaktiiviseksi ja virheiden toistuminen mahdollistuu. Mittareilla on mahdollisuus myös kehittää toimintaa, sillä pitkäaikainen standardoitujen mittareiden käyttö luo organisaatiolle dataa logistiikan reaalitoteutumasta.

Rakennustyömailla yleisiä logistiikkaan liittyviä mittareita ovat esimerkiksi toimitusvarmuus, toimitusten täsmällisyys, työmaan käyttöasteet, nostokaluston hyödyntämisaste sekä materiaalihukan määrä. Lisäksi mitataan siirtokertoja, toimituserien oikeellisuutta, varastointiaikoja ja työmaan sisäisen liikenteen sujuvuutta. Mittarit voivat olla sanallisia, numeerisia tai visuaalisesti graafisia, ja niitä käytetään usein niin sanottuna hälytinjaestelmänä: poikkeamat herättävät huomion ja ohjaavat toimenpiteisiin. (Ratu KI-6033, 27–28.)

Lean-rakentamisessa KPI-mittarit kytkeytyvät projektin menestystekijöihin (Conditions of Satisfaction), joihin kaikki keskeiset osapuolet sitoutuvat. Näiden tavoitteiden toteutumista seurataan mittareilla, jotka voivat kattaa esimerkiksi aikataulun, kustannukset, laadun, turvallisuuden ja yhteistyön toimivuuden. Oleellista on, että mittaristo rakennetaan tarkoituksenmukaiseksi: se ei saa olla tiedon keruuta tiedon vuoksi, vaan sen tulee palvella johtamista ja ohjausta konkreettisesti. (Salminen 2021, 125.)

6.1.3 Miehistörakenteen vaikutukset

Rakentamisessa on käynnissä siirtymä, jossa rakennushankkeet toteutetaan yhä useammin projektinjohto organisaationa, jolloin oman työtä tekevän henkilöstön määrä on minimoitu ja urakkasuoritukset on kilpailutettu aliurakoitsijoiden suoritettavaksi (Rakennuslehti, 2019). Aliurakoinnin hyötynä on hankkeen selkeämpi budjettikokonaisuus, kun urakka jaetaan osa-alueisiin, jotka kilpailutetaan yhteistyötahtojen tehtäväksi.

Logistisesti usean toisistaan riippuvan, mutta työosuuksiltaan tarkasti määritellyn kokonaisuuden yhteensovittaminen on haastavaa, jos logistiikka sisällytetään aliurakoihin. Aliurakoitsijat eivät ole sopimussuhteessa toisiinsa, ja tämän vuoksi heidän yhteistyönsä edellyttää työmaan johtamalta aktiivista koordinaointia. Työmaajohdon vastuulla on varmistaa, että aliurakoitsijoilla on riittävät tiedot työmaan pelisäännöistä, työvaiheista, kulkureiteistä ja varastoalueista. (Ratu S-1227.)

Vaihtelevan miehistörakenteen vuoksi onkin selkeintä määrittellä logistiikkaa toteuttava taho ja vastuut. Logistiikkaan erikoistuneen yrityksen hyödyntäminen voi selkeyttää logistiikkarakennetta, mutta johtamisvastuun tulisi silti olla pääurakoitsijalla. Tämä mahdollistaa vastuuketjujen selkeyden ja nopean reagoinnin poikkeamiin työmaalla (RT 10-11223.)

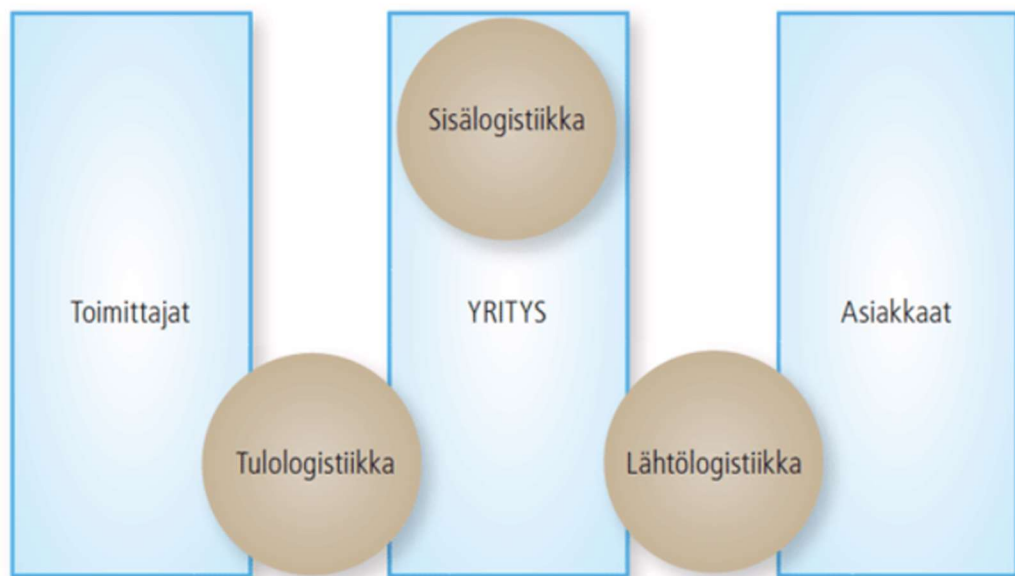
Projektinjohtomalleissa, kuten PJ-urakoissa, rakennuttaja vastaa useista osaurakoista erikseen. Kukin urakoitsija toimii rakennuttajan kanssa omassa sopimussuhteessaan, ja työmaan johtaminen edellyttää keskitetyllä projektinjohtolla johdettua kokonaiskoordinaatiota, jossa logistiikan ohjaus on olennainen osa. Logistiikan onnistuminen edellyttää tässä mallissa erityistä panostusta työmaan suunnitteluun, dokumentointiin ja kokouskäytäntöihin

6.2 Tulo- ja vastaanottologistiikka

Tulo- ja vastaanottologistiikka kattaa rakennustyömaalle saapuvien materiaalien ja tuotteiden saapumisen, purkamisen ja vastaanoton. Toimitusten sujuvuus

edellyttää aikataulutusta, varausten hallintaa, kuorman purkujärjestelyjä ja vastaanottotarkastuksia. Logistiikkaketjun häiriöttömyyden takaamiseksi on tärkeää, että tavarantoimittajien, kuljetusten ja työmaan tarpeiden välillä vallitsee tiedollinen ja toiminnallinen synkronointi. (Logistiikan maailma.)

Työmaan logistinen järjestelmä alkaa ulkoisesta toimitusketjusta ja päättyy työmaan sisälogistiikan kautta materiaalin käytön kautta lähtölogistiikkaan (Kuvio 15). Tulo- ja vastaanottologistiikassa keskeistä on, että toimitukset ovat oikea-aikaisia ja että niiden vastaanottamiseen on varattu riittävästi tilaa ja henkilöresursseja. Toimitusten purkaminen, tilapäinen varastointi ja siirto asennuspaikalle suunnitellaan osana logistiikan kokonaisuutta. (Logistiikan maailma.)



KUVIO 15. Tulo-, sisä- ja lähtölogistiikka (Logistiikan Maailma.)

Toimitusten vastaanoton suunnitelmallisuus toimii osana aluesuunnittelua. Kuormien purkualueet, ajoreitit ja varastointipisteet määritellään jo työmaan alkuvaiheessa, ja niitä päivitetään vaiheittain hankkeen etenemisen mukaan. Vastaanotto-prosessi sisältää myös toimitusten tarkistamisen ja mahdollisten puutteiden dokumentoinnin. (Ratu S-1227.)

Kulunhallinnallisesta näkökulmasta toimitusten vastaanotossa on ensiarvoisen tärkeää tarkistaa kuorma ja tiedostaa minne ja mihin käyttöön se on menossa. Kuorman tarkistuksella vältetään mahdollisesti vaurioituneen materiaalin päätyminen työmaakuluksi, sillä vastaanotettu kuormakirjaan kuitattu kuorma tulkitaan

hyväksytyksi. Kuorman käyttötarkoituksen ja sijoittamisen ymmärtämisellä se voidaan kohdistaa työmaalla oikeaan paikkaan.

6.3 Sisälogistiikka

Sisälogistiikalla tarkoitetaan alueen tai hankkeen sisällä tapahtuvaa logistiikkaa. Yleensä rakennusalalla sisälogistiikkaa käsitellään vain materiaalin siirron kannalta, mutta kokonaisuus on huomattavasti laajempi. Sisälogistiikka sisältää kaikki työmaan sisällä tehtävät pysty- ja vaakasiirrot, materiaalin varastoinnin, niihin liittyvän tiedonsiirron, työn organisoinnin ja työmaan sisäisen jätteen käsittelyn. Myös siivoustyö on osaltaan sisälogistiikkaa silloin, kun sitä toteutetaan työmaan kunnossapidon vuoksi, esimerkiksi raivaus- tai työnaikaisena siivouksena. Siivousta ei yleensä mielletä logistiikaksi, mutta erontekeminen materiaalin haalauksen ja esimerkiksi työnjälkeisen hukkamateriaalin käsittelyn välillä on lähinnä semantiikkaa. Ratu-ohjeissa logistiikka määritellään materiaalivirtojen ja niihin liittyvien tietovirtojen hallinnaksi koko toimitusketjun ajan. Työmaalla tämä tarkoittaa sitä, että sisälogistiikan avulla hallitaan materiaalien kulkua, käyttöä ja kiertoa tehokkaasti. (Ratu S-1227; Ratu S-1191.)

Sisälogistiikassa korostuu materiaalisiirtojen toteuttaminen turvallisesti ja tehokkaasti siten, ettei materiaalihukkaa muodostu vaurioitumisen seurauksena. Materiaalit pyritään siirtämään suoraan käyttökohteeseen, minimoiden välivarastoinnin tarve. Jokainen ylimääräinen siirto lisää riskiä vaurioihin ja hukkaan. Tämän vuoksi materiaalien purku-, välivarastointi- ja siirtopaikat suunnitellaan tarkasti työmaan aluesuunnitelmassa. (Ratu S-1227; Ratu S-1191.)

JIT-tekniikalla materiaali toimitetaan suoraan asennuskohteeseen juuri oikeaan aikaan. Tämä vähentää varastointitarvetta ja siirtoja. JIT-tekniikalla on työmaaympäristössä selkeitä mahdollisuuksia, mutta sen onnistuminen edellyttää tarkkaa aikataulusuunnittelua, saumatonta yhteistyötä sidosryhmien välillä ja materiaalivirran ohjausta.

Ruotsissa toteutettiin vuonna 2024 tutkimus, jonka otantana oli 902 ruotsalaista rakennusalan toimijaa (Fredriksson, Sezer & Sundquist, 2024.) Kohteena oli logistiikan toteuttaminen työmaaympäristössä. Tutkimus on suomalaisittain erittäin

relevantti, sillä samoja toimijoita toimii myös suomen rakennusmarkkinassa ja toimintaympäristössä ei ole suuria eroja. Tutkimuksen mukaan työmaan logistiikkaa toteutetaan pääosin ad hoc-menetelmällä, eikä standardoituja logistiikkaratkaisuja (Construction Logistic Setup, CLS) juurikaan ole (Kuva 6) ja välitavoitteita vain harvoin. (Fredriksson, Sezer & Sundquist, 2024.)

Type of CLS	All sizes	0–50 employees	51–250 employees	>250 employees
Standard CLS		$\chi^2(2) = 17.051, p < 0.001$		
Exists	102 (14%)	25 (9.8%)	23 (10.5%)	54 (21.3%)
Does not exist	626 (86%)	229 (90.2%)	197 (89.5%)	200 (78.7%)
Checkpoint		$\chi^2(2) = 0.042, p = 0.979$		
Exists	23 (23%)	6 (24%)	5 (21.7%)	12 (22.2%)
Does not exist	79 (77%)	19 (76%)	18 (78.3%)	42 (77.8%)
Booking calendar		$\chi^2(2) = 11.942, p = 0.003$		
Exists	64 (63%)	13 (52%)	9 (39.1%)	42 (77.8%)
Does not exist	38 (37%)	12 (48%)	14 (60.9%)	12 (22.2%)
Materials handling		$\chi^2(2) = 3.959, p = 0.138$		
Exists	48 (47%)	8 (32%)	10 (43.5%)	30 (55.6%)
Does not exist	54 (53%)	17 (68%)	13 (56.5%)	24 (44.4%)
Bundling at terminal		$\chi^2(2) = 20.150, p < 0.001$		
Exists	45 (44%)	6 (24%)	4 (17.4%)	35 (64.8%)
Does not exist	57 (56%)	19 (76%)	19 (82.6%)	19 (35.2%)
Logistics coordinator		$\chi^2(2) = 2.686, p = 0.261$		
Exists	57 (56%)	13 (52%)	10 (43.5%)	34 (63%)
Does not exist	45 (44%)	12 (48%)	13 (56.5%)	20 (37%)

KUVA 6. Logistiikkastandardien käyttäminen työmaalla (Fredriksson, Sezer & Sundquist, 2024.)

6.3.1 Varausjärjestelmät ja resurssien hallinta

Varausjärjestelmien tehtävänä on koordinoita rakennustyömaan toimituksia, purkualueita, nostureita, kuljetuskalustoa ja varastointitilaa. Ilman keskitettyä varausten hallintaa syntyy herkästi toimitusruuhkia, aikatauluviiveitä ja tilankäytön haasteita. Varausjärjestelmän avulla voidaan varata esimerkiksi nosturi käyttöön tietylle toimitukselle tai ohjata toimitus oikealle alueelle oikeaan aikaan. (Ratu S-1227.) Varausjärjestelmän tulee olla kaikkien työmaalla toimivien logistiikkaa toteuttavien tahojen käytettävissä esimerkiksi yhteisellä digitaalisella alustalla.

Resurssien hallinta liittyy erityisesti toimitusten, nostokaluston, henkilöstön ja työmaa-ajoneuvojen koordinointiin. Työmaan johdon tehtävänä on huolehtia siitä, että kalusto ja työvoima ovat oikeassa paikassa oikeaan aikaan. Esimerkiksi toimituserien saapuminen ja niiden ajoitus suhteessa työvaiheeseen ovat ratkaisevia koko työmaan rytmityksen kannalta. Resurssienhallinta vaikuttaa suoraan sekä tuottavuuteen että turvallisuuteen. (Ratu S-1227.)

Hyvin suunnitellussa logistiikassa materiaalit ja resurssit kohtaavat oikea-aikaisesti. Tämä edellyttää, että toimitukset suunnitellaan yhteensopiviksi työmaan tuotannon kanssa. Suunnitelmien muuttumisesta tulee tiedottaa viiveettä, ja toimituserät sekä niiden jakautuminen vaiheittain on sovitettava yhteen työmaan etenemisen kanssa. Näiden toimintojen koordinointi vähentää hävikkiä, odotuksia ja turhia siirtoja. (Ratu S-1227.)

6.3.2 Materiaalin seuranta

Materiaalin seuranta on olennainen osa rakennustyömaan sisälogistiikkaa. Sen avulla varmistetaan, että oikea materiaali päätyy oikeaan paikkaan oikeaan aikaan. Seuranta mahdollistaa virheellisten toimitusten havaitsemisen, materiaalihukan hallinnan ja työmaan tuottavuuden parantamisen.

Seurantaa voidaan toteuttaa perinteisin menetelmin, kuten toimituserämerkinnöin ja tarkastuslomakkein, mutta myös digitaaliset järjestelmät, kuten RFID-tunnisteet ja QR-koodit, yleistyvät (Sitra, n.d.) Digitaalinen seuranta mahdollistaa reaaliaikaisen tilannekuvan muodostamisen materiaalivirroista, ja sen avulla voidaan tukea päätöksentekoa ja parantaa koko toimitusketjun hallintaa. (Logistiikan maailma.)

Kun materiaalia siirretään useita kertoja ennen käyttöä, jokainen ylimääräinen siirto lisää riskiä vaurioihin, katoamiseen ja vahinkoihin. Hyvin suunniteltu seuranta auttaa minimoimaan nämä siirrot ja tukee JIT-toimitusperiaatteiden toteutumista (Ratu S-1191.) Ylimääräiset siirrot ovat myös selkeää hukkaa, johon tuhlautuu aikaa ja turhia resursseja.

6.4 Varastointi

Varastointi on materiaalien väliaikaista tai pitkäaikaista säilyttämistä työmaalla ennen niiden asennusta tai käyttöä. Rakennustyömaalla materiaalien varastointi tulee suunnitella huolellisesti niin, että materiaalit säilyvät vaurioitumattomina eivätkä häiritse muuta työskentelyä tai kulkua. Varastointipaikat valitaan niin, ettei-

vät ne sijaitse kulkuväylillä tai altistu mekaanisille vaurioille, sateelle tai maankosteudelle. Materiaalit tulee säilyttää irti maasta, aluspuiden tai lavojen päällä, ja sääolosuhteilta suojattuna (Ratu S-1191; Ratu S-1232.)

Erytystä huomiota tulee kiinnittää kosteudelle arkojen materiaalien, kuten kuiva-laastien, levyjen, puutavaran tai eristeiden, varastointiin. Nämä tulee suojata sään vaikutuksilta ja varastoida niiden käyttöolosuhteita vastaavassa ympäristössä. Käyttöön tarvittava määrä on hyvä tuoda erikseen työvaiheittain, mikä vähentää materiaalihukkaa ja käsittelytarvetta. Työmaalle tulisi varata myös ylimääräisiä suojia ja peitteitä nopeasti muuttuvien sääolosuhteiden varalta. (Ratu S-1232.)

Lean-rakentamisessa varastointia pyritään välttämään ja materiaalivirta suunnitellaan siten, että materiaalit toimitetaan mahdollisimman lähellä asennusajankohtaa. Tämä vähentää työmaan tilantarvetta ja siirtoja sekä mahdollistaa paremman tilannekuvan hallinnan. Varastointitarpeen vähentäminen on yksi lean-ajattelun keskeisistä tavoitteista, ja se tukee virtaustehokkuutta sekä hävikin minimointia. (Salminen 2021, 109.)

6.4.1 Varaston hallintajärjestelmät

Varaston hallinnan tavoitteena on varmistaa, että materiaalit sijaitsevat oikeassa paikassa oikeaan aikaan ja että niiden käsittely voidaan toteuttaa tehokkaasti ja turvallisesti. Perinteisesti varastojen hallinta on toteutettu manuaalisesti tai taulukkolaskentaohjelmilla, mutta digitalisaation myötä on siirrytty yhä enemmän sähköisiin ja integroituihin ratkaisuihin.

Lean-ajattelussa pyritään minimoimaan tarpeettomat vaiheet ja turhat varastot. Salmisen mukaan yksi keino tähän on digitaalinen suunnitteluympäristö, jossa materiaali- ja dokumentaatiotiedot ovat saavutettavissa yhdestä paikasta, kuten BIM-järjestelmästä tai projektipankista. Tämä edistää varastoinnin hallintaa, vähentää virheitä ja tukee reaaliaikaista tiedon jakamista. (Salminen 2021, 81.)

BIM-pohjaiset ratkaisut mahdollistavat varastotilojen ja materiaalien sijaintien suunnittelun jo ennen työmaan käynnistymistä. Mallinnettujen tietojen avulla voidaan arvioida varastointitilan riittävyys, optimoida toimituserien ajoitus ja ennakoita materiaalivirtauksen ruuhkakohtia (Ratu KI-6033, 29–30.)

6.5 Lähtölogistiikka ja jätehuolto

Lähtölogistiikka tarkoittaa työmaalla syntyneen materiaalin, purkuosien ja jätteen poistamista työmaalta. Rakennustyömaan jätehuolto on merkittävä osa tätä kokonaisuutta. Muuta lähtölogistiikkaa on mahdolliset materiaalipalautukset, kaivuista syntyneet maa-ainekset ja työmaan tietovirta.

Jätehuollon järjestäminen kuuluu yleensä pääurakoitsijalle, joka nimeää jätehuollosta vastaavan henkilön. Tähän sisältyy jätehuoltosuunnitelman laatiminen ja tarvittavien keräilyvälineiden, kuljetusreittien, lajittelupaikkojen ja aikataulujen määrittely (Ratu TT 13-01149.) Jätehuollon toteutus perustuu rakennusvaiheisiin: esimerkiksi puujätteelle voidaan varata oma lava jo perustusvaiheessa, mutta pakkauksille vasta kalustamisvaiheessa (Ratu S-1191.)

Hyvin suunniteltu jätehuolto tukee työmaan siisteyttä, turvallisuutta ja materiaali-tehokkuutta. Materiaalien hävikkiä ja siirtotarvetta voidaan vähentää kohdentamalla keräyspisteet sinne, missä jätettä syntyy. Tämä parantaa myös työtehokkuutta ja vähentää logistista kuormitusta työmaalla (Ratu TT 13-01149.)

Lähtölogistiikkaan kuuluu myös se, että työmaalla syntyvä jäte lajitellaan ja ohjataan jatkokäsittelyyn jätehuoltoyritysten kanssa sovittujen reittien, rytmien ja käsittelypaikkojen mukaan. Nämä kirjataan jätehuoltosuunnitelmaan, joka toimii ohjeena koko projektin ajan. Oikein toteutettu jätehuolto tuo kustannussäästöjä jätteen määrän vähenemisen, käsittelymaksujen optimoinnin ja työturvallisuuden paranemisen kautta. (Ratu TT 13-01149.)

Rahallisesti erityisesti maa-aineksen poiskuljettaminen ja jätehuolto ovat merkittäviä kokonaisuuksia, joskaan eivät hankkeen kulujen kannalta ratkaisevan tärkeitä. Logistiikan kehittäminen on kuitenkin pieniin itsessään merkittävien asioi-

den kehittämistä, jolloin mahdollisimman laaja-alainen yksittäisten asioiden huomioiminen pienentää merkittävästi kuluja. Esimerkiksi metallilavasta voi saada rahaa takaisin, sekajätteen maksaessa eniten.

6.5.1 Jätehuollon hallintajärjestelmät

Jätehuollon hallintajärjestelmien tehtävänä on varmistaa, että työmaan jätehuolto on suunnitelmallista, dokumentoitua ja ohjattavissa. Rakennushankkeissa, joissa tähdätään ympäristöluokitukseen tai materiaalitehokkuuteen, mittaaminen ja seuranta ovat keskeisiä toiminnan kehittämisen työkaluja (Ratu TT 13-01149.)

Jätehuollon seurannassa voidaan kerätä tietoa jätelajien määrästä, syntypaikoista, käsittelystä ja hyötykäytöstä. Seurantaa voidaan toteuttaa esimerkiksi työpistekohtaisella mittauksella tai kuukausiraporteilla. Näitä tietoja käytetään muun muassa ympäristöraportoinnissa, henkilöstön ohjauksessa ja toiminnan kehityksessä. Mittaustieto toimii myös kannustimena materiaalitehokkuuden edistämiseksi ja hukan vähentämiseksi. (Ratu TT 13-01149.)

Jätehuollon dokumentointi sisältää esimerkiksi siirtoasiakirjat, noutopäiväkirjat ja lajittelutodistukset. Järjestelmien tulee mahdollistaa näiden tietojen tallennus ja saatavuus niin rakennuttajalle kuin urakoitsijoille. Hyvin toteutettu järjestelmä tukee samalla työturvallisuutta, sillä epäsiisti työmaa ja ylitäytetyt astiat voivat aiheuttaa onnettomuusriskejä. (Ratu TT 13-01149.)

6.6 Työmaaolosuhteiden vaikutus

Työmaaolosuhteet vaikuttavat rakennustyömaan logistiikkaan merkittävästi. Sääolosuhteet, kuten sade, lumi, pakkanen, lämpötilaerot ja tuuli, sekä työmaan jatkuva muuttuvuus luovat olosuhteita, jotka tulee ottaa huomioon logistiikan suunnittelussa ja toteutuksessa. Myös vuodenaika ja tontin ominaisuudet vaikuttavat siihen, kuinka työmaata voidaan käyttää ja miten materiaalien kuljetus ja varastointi järjestetään. Sääolosuhteiden hallinta on keskeinen osa logistiikan ja aikataulutuksen suunnittelua. Esimerkiksi lumisateet voivat aiheuttaa sulaessaan merkittäviä vaurioita rakennusmateriaaleille, jos suojaus on puutteellista. (Ratu S-1232.)

Työmaaolosuhteiden hallinta edellyttää kosteudenhallinnan ennakoitua: kuivaustuskaluston varaamista, sääsuojien valintaa eri rakennusosille ja työvaiheiden järjestämisestä sääolosuhteet huomioon ottaen. Oikein toteutettu sääsuojaus mahdollistaa aikataulussa pysymisen ja vähentää materiaalihukkaa sekä korjaustarvetta (Ratu S-1232.) Olosuhteiden hallinnan suunnittelu on osa laajempaa logistista kokonaisuutta, jossa materiaalien suojaaminen, sijoittelu ja siirtoreitit liittyvät suoraan logistiikan toimivuuteen. Aluesuunnitelmassa voidaan huomioida myös sääolosuhteet, esimerkiksi varastopaikkojen sijainti suhteessa tuuleen, sadevesien kulkureitteihin ja aurinkoon. (Ratu S-1232.)

Sääolosuhteet vaikuttavat myös suoraan logistiikan fyysiseen toteuttamiseen ja riskeihin. Talvella lumipeitteet, pakkanen ja pölyävä lumi tekevät ympäristöstä riskialttiin. Lisäksi lämpimämpinä vuodenaikoina erityisesti keväällä ja syksyllä sula- ja sadeveden hallinta ja materiaalin suojaus määrittelee suurelta osin kuinka paljon hukkaa, muodostuu ja miten logistiikan tulee toimia.

6.7 Työmaan suorituskyky

Työmaan suorituskykyä voidaan tarkastella muun muassa aikataulujen pitävyyden, työn sujuvuuden ja materiaalien saatavuuden kautta. Logistiikalla on näihin kaikkiin keskeinen vaikutus. Selkein mittari onnistuneelle ja suorituskykyiselle työmaalle on budjetissa pysyminen. Materiaalilogistiikan suunnittelun ja toteutuksen laatu vaikuttaa siihen, miten tehokkaasti työmaan eri vaiheet etenevät. Huonosti suunniteltu logistiikka johtaa helposti siirtotarpeiden lisääntymiseen, odottamiseen ja työvaiheiden ketjutuksen epäonnistumiseen. Tämä näkyy heikentyneenä työtehona ja aikataulupoikkeamina. (Ratu S-1227.)

Logistiikan vaikutusta työtehoon voidaan tarkastella myös materiaalihukan ja ylimääräisten työvaiheiden kautta. Useisiin siirtoihin, odotteluun ja turhiin välivarastointeihin liittyvä materiaalihukka on paitsi kustannustekijä, myös suoraan työmaan tuottavuutta heikentävä ilmiö. Toimiva logistiikka vähentää siirtotarvetta ja lisää asennustyöhön käytettävää aikaa (Ratu S-1191.) Lean-periaatteiden mukaan työn keskeytykset, siirrot ja odottaminen ovat selkeitä hukkatyyppejä, joita tulee minimoida. Materiaalilogistiikan rytmittäminen tuotantoprosessin mukaisesti

nostaa materiaalien oikea-aikaisen toimituksen keskeiseen rooliin. Mikäli logistiikka ei kykene vastaamaan määrättyyn aikatauluun, seuraa häiriöitä koko tuotantoketjuun. (Salminen 2021, 109.)

Suorituskyvyn kannalta on myös tarkasteltava sitä mikä taho materiaalia siirtää ja kuinka paljon se vaikuttaa tuottavaan työhön. Tästä esimerkkinä voidaan käyttää tilannetta, jossa materiaalihaalauksesta vastaava teho siirtää työn kannalta oleelliset materiaalit paikkaan, joka ei palvele asennusta. Tällöin muodostuu tilanne, jossa materiaali on näennäisesti oikeassa paikassa mutta hukkaa muodostuu asennuksesta vastaavan rakennusammattimiehen siirtäessä materiaalia työn kannalta parempaan paikkaan. Esimerkin kaltaisessa tilanteessa siirtäminen on poissa työskentelyajasta ja työsaavutuksista, ja materiaalia siirtää työhön ylipalkattu taho.

6.7.1 Hukan muotojen vaikutus tuottavuuteen

Rakennustyömaan tuottavuuteen vaikuttaa keskeisesti se, miten onnistutaan hallitsemaan erilaisia hukkatyyppejä. Logistiikkaan liittyvä hukka näkyy muun muassa materiaalien ylimääräisissä siirroissa, varastoinnissa turmeltuneissa materiaaleissa, ylijäämässä sekä epäonnistuneessa yhteensovituksessa.

Materiaalihukka voidaan jakaa useaan eri muotoon: työvaihelisät, työmaalisät, menetelmällisät ja kokonaislisät. Näitä syntyy esimerkiksi tilanteissa, joissa materiaali on tilattu väärin, varastoitu epäasianmukaisesti, käsitelty huolimattomasti tai paloittelussa syntyneitä hukkapaloja ei voida hyödyntää (Ratu S-1191.) Lean-ajattelussa hukan muodot kuten ylituotanto, odottaminen, liike, yliprosessointi, varastointi, viat ja käyttämätön osaaminen tunnistetaan systemaattisesti ja niitä pyritään poistamaan vaiheittain. Hukan vähentäminen on keskeinen osa tuotantoprosessin kehittämistä, ja sen tavoitteena on poistaa kaikki työvaiheet, jotka eivät tuota lisäarvoa asiakkaalle. (Salminen 2021, 109–110.)

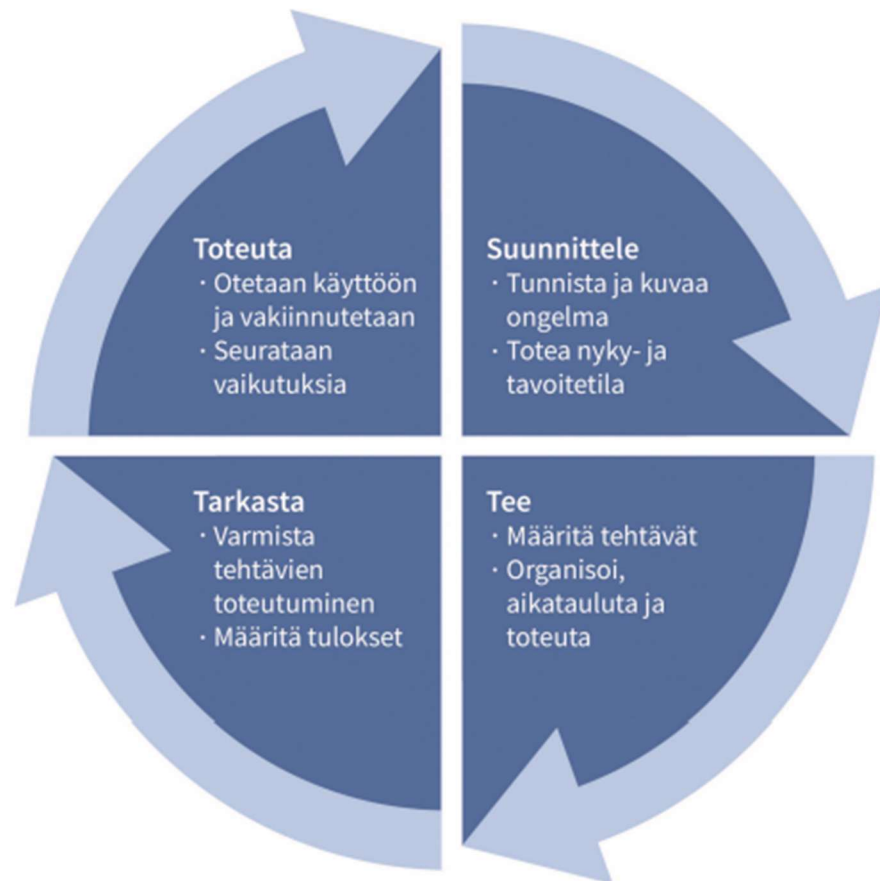
Building 2030-hankkeen logistiikkaa koskevassa osaraportissa (2019) todetaan hukasta: ”Viimeaikaiset työmaan hukkaa ja työajan käyttöä koskevat tutkimukset osoittavat, että jopa 30 % työntekijän ajasta työmaalla kuluu erilaisiin materiaaleihin liittyviin etsimis-, nouto-, haalaus- ja esikäsittelytehtäviin, jotka eivät tuota

merkittävästi lisäarvoa lopputuotteelle” (Building 2030.) Johtopäätös on jo itsessään erittäin merkittävä hukan tunnistamisen ja parannustoimien luomisen kannalta.

6.8 Jatkuva parantaminen ja kehityskulttuuri

Jatkuva parantaminen on keskeinen osa rakentamisen logistiikan kehittämistä, erityisesti silloin, kun tavoitteena on parantaa tuottavuutta ja vähentää hukkaa. Logistiikan näkökulmasta tämä tarkoittaa prosessien säännöllistä tarkastelua ja parantamista niin materiaalivirtojen, työjärjestelyjen kuin toimitustenkin osalta. Salmisen mukaan jatkuva parantaminen on lean-ajattelun keskiössä, ja sen tavoitteena on kehittää paitsi prosesseja myös ihmisiä. Kehitystyön ydin on siinä, että jokainen työntekijä ja myös aliurakoitsijoiden edustajat kokevat kehittämisen osaksi omaa työtään. Jotta tästä syntyy organisaatiotason vaikutus, tarvitaan mekanismeja, joiden avulla opit ja parannukset siirtyvät projektista toiseen. Rakennusalalla haasteena on erityisesti projektiluonne, joka vaikeuttaa jatkuvuuden ja tiedonsiirron varmistamista. (Salminen 2021, 173–174.)

Jatkuvan parantamisen onnistuminen edellyttää, että kehittämistyö ei ole reaktiivista ongelmien paikkaamista, vaan systemaattista toimintatapojen parantamista. Tämä voidaan toteuttaa PDCA-syklin (Plan-Do-Check-Act) mukaisesti (kuvio 17). Kun uusi toimintatapa havaitaan toimivaksi, se vakioidaan käytännöksi. Standardointi ei kuitenkaan saa estää kehittämistä: vakiintunutta tapaa tulee aina olla lupa haastaa ja kehittää edelleen. (Salminen 2021, 176–177.)



KUVIO 17. PDCA-Sykli (Salminen 2021, 174.)

6.8.1 Kaizen käytännössä

Kaizen tarkoittaa jatkuvaa parantamista, jossa organisaation jokainen jäsen osallistuu toiminnan kehittämiseen. Kyse ei ole vain yksittäisistä projekteista, vaan kulttuurista, jossa parantaminen on osa jokapäiväistä työtä. Salmisen mukaan Kaizen liittyy sekä pienimuotoisiin työn ohessa tehtäviin parannuksiin että suurempiin, suunniteltuihin kehitystapahtumiin. Jälkimmäisiä kutsutaan usein Kaizen-viikoiksi tai kehitystapahtumiksi, joissa muu toiminta keskeytetään ja keskitytään intensiivisesti tietyn prosessin tai toimintatavan kehittämiseen. Näissä tilanteissa noudatetaan PDCA-sykliä, eli suunnitellaan, toteutetaan, arvioidaan ja vakioidaan parannus (Salminen 2021, 194.) Kaizenin perusajatus on, että siihen osallistuu koko työyhteisö myös aliurakoitsijat ja työntekijät kentällä. Tämä osallistava lähestymistapa mahdollistaa nopean reagoinnin ongelmiin ja helpottaa uusien käytäntöjen käyttöönottoa. (Salminen 2021, 194.)

6.9 Logistiikkakokonaisuuksien vaikutukset hankkeen kustannuksiin

Työmaalla toteutettava logistiikka on kustannusten kannalta selkein kulumuoto, jossa työt, siirtovälineet, varastointi ja kuljetukset vaikuttavat kaikki suoraan logistiikkakuluihin. Silti tutkimustulokset työmaalogistiikan vaikutuksista vaihtelee: työn alkupuolella logistiikka kustannusten osuutta hankkeen kustannusosuudeksi arvoitiin välillä 10–30 % (Elfing, Ballard & Talvitie, 2010.) Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan työmaalla käsitellään kahdesta kymmeneen kuormaa päivittäin näiden määrän ollessa 8–10 tonnia, logistiikkakustannuksien ollessa 30–40 % tuotantokustannuksista. Tutkimuksessa myös todetaan, että standardoinnilla on merkittäviä säästömahdollisuuksia ja työntekijät käyttävät materiaalin odottamiseen, etsintään ja työstämiseen yli 50 % ajastaan. (Fredriksson, Sezer & Sundquist, 2024.) Building 2030- raportissa esitetään lähes samoilla sanoilla etsimiseen ja ei tuottavaan työhön käytettävän 30 % ajasta. (Building 2030) Hankintaosiossa käsitellyssä tutkimuksessa materiaalilogistiikan osuus tuotantokustannuksista oli 20–30 % (Fang ym, 2011.)

Vaihtelun taustalla on logistiikka termin monimutkaisuuden lisäksi monia muita piirteitä ja selkeiden tietojen saaminen logistiikan osalta on huomattavasti vaikeampaa, kuin monen muun tuotantovaiheen johtuen standardien puutteesta ja mitattavien kokonaisuuksien huomioimisessa. Toisaalta tieto on kyllä olemassa, mutta sen hyödyntämisessä on selkeimmät puutteet. Monimutkaiset aliurakoitsijasuhdet tekevät logistiikan toteuttamisesta osaltaan haastavan kokonaisuuden, johon voi auttaa logistiikan ulkoistaminen. (Rakennustaito, 2023; Rakennuslehti 2025.)

Logistiikan arvioinnin haasteellisuutta kuvaa seuraava skenaario, jossa esitetään johdannaisvaikutuksien ketju: väliseinäurakan materiaalitoimituksessa on puutavaran osalta toimitushäiriö, jonka takia toimitukset viivästyvät useita viikkoja ja joka johtaa väliseinäurakan aloituksen viivästyymiseen. Myöhästymisen seurauksena väliseinäurakasta vastaava urakoitsija joutuu resursoimaan lisäresursseja aikataulun kiinniottamiseen, joka johtaa lisätöihin ja niistä johtuviin kuluihin. Kiiireen takia saatetaan tehdä myös virheitä. Viivästyksen vuoksi aikataulupuskurit kuluvat ja viivästys vaikuttaa myös seuraaviin urakoihin ja lopulta koko sisätyö-

vaiheen toteutukseen. Ongelman juurisyy on myöhästyneessä materiaalitoimituksessa, ja tapahtuma voi olla useankin vaiheen päässä, mutta vaikutukset heijastuvat virheinä ja töiden kasaantumisenä urakan loppuvaiheeseen. Määrittelykysymykseksi jääkin mitkä tällöin ovat logistiikkakuluja ja minkälainen kustannusvaikutus logistiikalle huomioidaan. Tapahtumaketjuun vaikuttaa erittäin monta muuttujaa ja oleellista on huomioida urakoiden riippuvuussuhteet jo huolellisella suunnittelulla ja varautumisella.

Realistinen säätöpotentiaali arvio on noin 20–30 % logistiikkakustannuksista, jos logistiikkaa huomioidaan jo hankkeen alkutekijöistä lähtien ja toteutetaan kokonaisvaltaisesti rakentamisen mahdollistavana toimenä. Tällöin logistiikan parannuksilla saavutettavat hyödyt ovat 3–12 % koko hankkeen kustannuksista.

7 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Logistiikka on monimutkainen prosessi, joka on mukana koko hankkeen ajan. Tutkimus osoittaa, että logistiikan kokonaisvaltainen ymmärrys ja tutkiminen on Suomessa hyvin puutteellista ja esimerkiksi RT-tietokannasta, tai rakentamista koskevista säännöksistä ja normeista ei löydy suoraan kokonaisvaltaista logistiikkaa käsitteleviä teoksia tai kortteja. Logistiikkaa kuitenkin sivutaan lähes jokaisessa ohjekortissa tai lähteessä, joko materiaalin siirtona tai kustannustekijänä. Logistiikka on kuitenkin usean ulkomaisen ja kotimaisen tutkimuksen mukaan yksi suurimmista kulutekijöistä kaikkine ominaispiirteineen, jolloin jo pienen säästöpotentiaalinkin realisointi tuo merkittäviä säästöjä.

Eri osakokonaisuuksien merkitykset korostuivat tutkimuksen edetessä: suunnittelu ja hankinta ohjaavat logistiikkaa, työmaan vastatessa toteutuksesta. Huomiota on, ettei logistiikkaa yleensä käsitellä koko hankkeen laajuusena kokonaisuutena vaan pikemminkin työmaalla tapahtuvan materiaali-logistiikan näkökulmasta. Tosin osassa lähteitä käsitellään logistiikkaa myös toimitusten ohjauksen suunnittelun näkökulmasta. Työmaiden toteutuksessa on siirrytty yhä laajemmin projektinjohtourakoihin, jolloin logistiikkakulut implementoituvat aliurakasuorituksiin. Aliurakoitsijoiden hyödyntäminen antaa budjetin toteutukselle selkeämmän rakenteen, mutta vastuiden ja logistiikkaa suorittavan tahon määrittely korostuu. Pahimmillaan logistiikka esitetään kirjallisuudessa aputyönä tai materiaalin siirtona, jolloin kokonaiskuva hämärtyy.

Leanin mahdollisuuksia tavanomaisten työmaiden ympäristössä tulisi hyödyntää kattavammin, myös erilaiset analysointityökalut tulee tuoda alalle ongelmien huomioimiseksi ja tuotantovirran parantamiseksi. Logistiikan toteutus leaniin perustuen mahdollistaa myös muun rakentamisen siirtymisen lean painotteisemmaksi. Leanin hyödyntäminen logistiikassa ei sulje pois myöskään tavanomaisen työmaan toteutusta vaan toimii tuotannon tehostajana.

Tutkimuksen lähtökohdat huomioiden ei voida määritellä tarkasti kuinka suuri säästöpotentiaali yhdellä tietyllä kohteella on, mutta tutkimuksen edetessä on löydetty selkeitä korrelaatioita logistiikan kustannusten ja hankekohtaisten muuttu-

jiien välillä. Realistisena arviona voidaan käsitellä mahdollista kokonaissäätöpotentiaalia 20–30 % välillä, riippuen kohteen toteutuksesta ja logistiikkaketjun hallinnasta. Tällöin logistiikalla voidaan säästää 3–12 % hankkeen kokonaiskustannuksista.

Monimutkaiset johdannaisvaikutukset vaikuttavat edelleen kustannusten arviointiin heikentävästi ja loppujen lopuksi kyseessä on määrittely kysymys: mikä määrittellään logistiikaksi ja mikä on tuotannon kannalta järkevää. Suoria säästöpotentiaaleja ja euromääräisiä summia käsittelevät lähteet ovat keskenään ristiriitaisia ja logistiikan vaikutuksia hankkeen kustannuksiin arvioidaan 10–40 % välillä. Lähteet myös painottavat pitkäaikaisvaikutuksia, jossa logistiikan optimointia suoritetaan vähän kerrallaan. Osa lähteistä toteaa logistiikan aikatauluhukkien osuudeksi 30–50 %, toisaalta laajempaa vertailevaa empiiristä tietoa on ei juurikaan löydy.

Työn edetessä huomioitavia muita seikkoja oli johdannaisvaikutusten ja digitaalisten työkalujen puutteellinen huomiointi. Juurisyiden analysointi ja esimerkiksi viivästyneen kuorman vaikutukset seuraavien urakoiden kiireestä johtuviin virheisiin kaipaa syvempää tutkimusta. Skenaario, jossa kuorman viivästyminen vaikuttaa kaikkiin seuraaviin tuotantovaiheisiin aiheuttaa johdannaisvaikutusten viidakon, jonka juurisyy saattaa olla kuorman viivästyneisessä mutta seuraukset voivat näkyä kiireestä johtuneina virheinä takuukorjauksissa. Kyseessä onkin tällöin määrittelykysymys, jossa tulee määrittää mihin raja vedetään.

Suomessa on tapana mitata talonrakennuksen kustannuksia indekseinä, jolloin huomio kiinnittyy kustannusten kehittymiseen, ei niinkään reaalikustannuksiin. Lähimmät neliömääräiset kustannukset löytyvätkin samankaltaisesta rakennusmarkkinasta Ruotsista, jossa talonrakentamisen kustannuksia käsitellään indeksien sijaan kustannuksina suhteessa bruttopinta-alaan ja alueesta riippuvat kustannukset ovatkin noin 2700–3600 €/bruttoneliömetri. Näiden perusteella on muodostettu kolme hintaskenaariopohjaista herkkyystarkastelua, jossa huomioidaan bruttoneliöhinta, logistiikan säästöpotentiaali ja mahdollinen lyhyen aikavälin säästöpotentiaali lähteisiin perustuvalla logistiikan 15–40 % kustannusosuudella.

7.1 Herkkyystarkastelu

Herkkyystarkastelun perusteella (Taulukot 1–3) säästöpotentiaali on pienimmäsäkin skenaariossa, yli 50 000 € pienellä logistiikan parannuksella, logistiikan ollessa 15 % hankkeen kustannuksista ja parannuksen ollessa 5 % logistiikkakustannuksista. Suurimmassa skenaariossa hankkeen logistiikkakustannukset ovat 40 % ja säästöpotentiaali noin 2,6 miljoonaa. Tarkastelu osoittaa, että jo pienellä parannuksella saavutetaan suuria kohdekohtaisia säästöjä.

Taulukko 1. Logistiikan kustannukset ja säästöpotentiaali eri kokoisille kohteille 3000 €/bruttoneliö

Rakentamisen kustannukset	k.a €/brm	BRM 2500	BRM 3500	BRM 4000	BRM 5000	BRM 8000
	3 000,00 €	8 250 000,00 €	10 500 000,00 €	12 000 000,00 €	13 500 000,00 €	21 600 000,00 €
Logistiikan osuus						
15 %	450,00 €	1 237 500,00 €	1 575 000,00 €	1 800 000,00 €	2 025 000,00 €	3 240 000,00 €
20 %	600,00 €	1 650 000,00 €	2 100 000,00 €	2 400 000,00 €	2 700 000,00 €	4 320 000,00 €
25 %	750,00 €	2 062 500,00 €	2 625 000,00 €	3 000 000,00 €	3 375 000,00 €	5 400 000,00 €
30 %	900,00 €	2 475 000,00 €	3 150 000,00 €	3 600 000,00 €	4 050 000,00 €	6 480 000,00 €
35 %	1 050,00 €	2 887 500,00 €	3 675 000,00 €	4 200 000,00 €	4 725 000,00 €	7 560 000,00 €
40 %	1 200,00 €	3 300 000,00 €	4 200 000,00 €	4 800 000,00 €	5 400 000,00 €	8 640 000,00 €
Säästöpotentiaali: 30 %						
15 %	135,00 €	371 250,00 €	472 500,00 €	540 000,00 €	607 500,00 €	972 000,00 €
20 %	180,00 €	495 000,00 €	630 000,00 €	720 000,00 €	810 000,00 €	1 296 000,00 €
25 %	225,00 €	618 750,00 €	787 500,00 €	900 000,00 €	1 012 500,00 €	1 620 000,00 €
30 %	270,00 €	742 500,00 €	945 000,00 €	1 080 000,00 €	1 215 000,00 €	1 944 000,00 €
35 %	315,00 €	866 250,00 €	1 102 500,00 €	1 260 000,00 €	1 417 500,00 €	2 268 000,00 €
40 %	360,00 €	990 000,00 €	1 260 000,00 €	1 440 000,00 €	1 620 000,00 €	2 592 000,00 €
Lyhyen aikavälin parannukset 5 %						
15 %	22,50 €	61 875,00 €	78 750,00 €	90 000,00 €	101 250,00 €	162 000,00 €
20 %	30,00 €	82 500,00 €	105 000,00 €	120 000,00 €	135 000,00 €	216 000,00 €
25 %	37,50 €	103 125,00 €	131 250,00 €	150 000,00 €	168 750,00 €	270 000,00 €
30 %	45,00 €	123 750,00 €	157 500,00 €	180 000,00 €	202 500,00 €	324 000,00 €
35 %	52,50 €	144 375,00 €	183 750,00 €	210 000,00 €	236 250,00 €	378 000,00 €
40 %	60,00 €	165 000,00 €	210 000,00 €	240 000,00 €	270 000,00 €	432 000,00 €

Taulukko 2. Logistiikan kustannukset ja säästöpotentiaali eri kokoisille kohteille
2500€/bruttoneliö

Rakentamisen kustannukset	k.a €/brm	BRM 2500	BRM 3500	BRM 4000	BRM 5000	BRM 8000
	2 500,00 €	6 875 000,00 €	8 750 000,00 €	10 000 000,00 €	11 250 000,00 €	18 000 000,00 €
Logistiikan osuus						
15 %	375,00 €	1 031 250,00 €	1 312 500,00 €	1 500 000,00 €	1 687 500,00 €	2 700 000,00 €
20 %	500,00 €	1 375 000,00 €	1 750 000,00 €	2 000 000,00 €	2 250 000,00 €	3 600 000,00 €
25 %	625,00 €	1 718 750,00 €	2 187 500,00 €	2 500 000,00 €	2 812 500,00 €	4 500 000,00 €
30 %	750,00 €	2 062 500,00 €	2 625 000,00 €	3 000 000,00 €	3 375 000,00 €	5 400 000,00 €
35 %	875,00 €	2 406 250,00 €	3 062 500,00 €	3 500 000,00 €	3 937 500,00 €	6 300 000,00 €
40 %	1 000,00 €	2 750 000,00 €	3 500 000,00 €	4 000 000,00 €	4 500 000,00 €	7 200 000,00 €
Säästöpotentiaali: 30 %						
15 %	112,50 €	309 375,00 €	393 750,00 €	450 000,00 €	506 250,00 €	810 000,00 €
20 %	150,00 €	412 500,00 €	525 000,00 €	600 000,00 €	675 000,00 €	1 080 000,00 €
25 %	187,50 €	515 625,00 €	656 250,00 €	750 000,00 €	843 750,00 €	1 350 000,00 €
30 %	225,00 €	618 750,00 €	787 500,00 €	900 000,00 €	1 012 500,00 €	1 620 000,00 €
35 %	262,50 €	721 875,00 €	918 750,00 €	1 050 000,00 €	1 181 250,00 €	1 890 000,00 €
40 %	300,00 €	825 000,00 €	1 050 000,00 €	1 200 000,00 €	1 350 000,00 €	2 160 000,00 €
Lyhyen aikavälin parannukset 5 %						
15 %	18,75 €	51 562,50 €	65 625,00 €	75 000,00 €	84 375,00 €	135 000,00 €
20 %	25,00 €	68 750,00 €	87 500,00 €	100 000,00 €	112 500,00 €	180 000,00 €
25 %	31,25 €	85 937,50 €	109 375,00 €	125 000,00 €	140 625,00 €	225 000,00 €
30 %	37,50 €	103 125,00 €	131 250,00 €	150 000,00 €	168 750,00 €	270 000,00 €
35 %	43,75 €	120 312,50 €	153 125,00 €	175 000,00 €	196 875,00 €	315 000,00 €
40 %	50,00 €	137 500,00 €	175 000,00 €	200 000,00 €	225 000,00 €	360 000,00 €

Taulukko 3. Logistiikan kustannukset ja säästöpotentiaali eri kokoisille kohteille
3500 €/bruttoneliö

Rakentamisen kustannukset	k.a €/brm	BRM 2500	BRM 3500	BRM 4000	BRM 5000	BRM 8000
	3 500,00 €	9 625 000,00 €	12 250 000,00 €	14 000 000,00 €	15 750 000,00 €	25 200 000,00 €
Logistiikan osuus						
15 %	525,00 €	1 443 750,00 €	1 837 500,00 €	2 100 000,00 €	2 362 500,00 €	3 780 000,00 €
20 %	700,00 €	1 925 000,00 €	2 450 000,00 €	2 800 000,00 €	3 150 000,00 €	5 040 000,00 €
25 %	875,00 €	2 406 250,00 €	3 062 500,00 €	3 500 000,00 €	3 937 500,00 €	6 300 000,00 €
30 %	1 050,00 €	2 887 500,00 €	3 675 000,00 €	4 200 000,00 €	4 725 000,00 €	7 560 000,00 €
35 %	1 225,00 €	3 368 750,00 €	4 287 500,00 €	4 900 000,00 €	5 512 500,00 €	8 820 000,00 €
40 %	1 400,00 €	3 850 000,00 €	4 900 000,00 €	5 600 000,00 €	6 300 000,00 €	10 080 000,00 €
Säästöpotentiaali: 30 %						
15 %	157,50 €	433 125,00 €	551 250,00 €	630 000,00 €	708 750,00 €	1 134 000,00 €
20 %	210,00 €	577 500,00 €	735 000,00 €	840 000,00 €	945 000,00 €	1 512 000,00 €
25 %	262,50 €	721 875,00 €	918 750,00 €	1 050 000,00 €	1 181 250,00 €	1 890 000,00 €
30 %	315,00 €	866 250,00 €	1 102 500,00 €	1 260 000,00 €	1 417 500,00 €	2 268 000,00 €
35 %	367,50 €	1 010 625,00 €	1 286 250,00 €	1 470 000,00 €	1 653 750,00 €	2 646 000,00 €
40 %	420,00 €	1 155 000,00 €	1 470 000,00 €	1 680 000,00 €	1 890 000,00 €	3 024 000,00 €
Lyhyen aikavälin parannukset 5 %						
15 %	26,25 €	72 187,50 €	91 875,00 €	105 000,00 €	118 125,00 €	189 000,00 €
20 %	35,00 €	96 250,00 €	122 500,00 €	140 000,00 €	157 500,00 €	252 000,00 €
25 %	43,75 €	120 312,50 €	153 125,00 €	175 000,00 €	196 875,00 €	315 000,00 €
30 %	52,50 €	144 375,00 €	183 750,00 €	210 000,00 €	236 250,00 €	378 000,00 €
35 %	61,25 €	168 437,50 €	214 375,00 €	245 000,00 €	275 625,00 €	441 000,00 €
40 %	70,00 €	192 500,00 €	245 000,00 €	280 000,00 €	315 000,00 €	504 000,00 €

7.2 Tulokset

Tutkimuksella ei pystytty suoraan vastaamaan kahteen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Logistiikan osuus hankkeen kuluista arvioidaan eri lähteissä välillä 10–40 %, mikä tekee käsiteltävästä skaalasta valtavan. Herkkyyksianalyyssissä

käytettiin alimpana arvona 15 %. Toisaalta herkkyyssanalyysiin perusteella kulu-
jen muodostuksen kannalta enemmän merkitsee toteutettavan kohteen koko kuin
eksakti logistiikan kuluosuus. Potentiaalisten säästöjen määrän arvioidaan läh-
teiden perusteella olevan maksimissaan noin 30 %, säästöpotentiaalin ollessa
tällöin yli 300 000 € pienimmänkin skenaarion mukaan. Lyhyen aikavälin paran-
nuksilla (5 % logistiikkakustannuksista) voidaan säästää kymmeniä- tai satojatu-
hansia riippuen kohteen koosta.

Osakokonaisuuksista työmaatoteutuksen mahdollistaminen selkeillä standar-
deilla ja koko hankkeen jatkuvalla logistiikan huomioinnilla on selkeimmät kus-
tannusvaikutukset. Erityisesti suunnittelun merkitys logistiikan tehokkaan toteut-
tamisen mahdollistajana korostuu. Erityisesti tietomallinnus ja simulaatiot mah-
dollistavat logistiikan optimointia jo ennakkoon. Työmaalla suurimmat hyödyt
saavutetaan työtapojen standardisoinnilla, epäsuotuisten johdannaisvaikutusten
eliminoimisella, välitavoitteilla, selkeällä logistiikan rinnakkaisaikataululla ja logis-
tiikan vastuutahon määrittelemisellä.

Tutkimuksen tuloksena todettakoon myös, että logistiikan säästöpotentiaali han-
kekokonaisuudessa ja erityisesti organisaatiotasolla on kriittisen merkittävä. Ko-
konaisuus vaatii selkeitä määritelmiä, logistiikan standardoimista ja helposti saa-
tavilla olevaa kirjallisuutta. Selkeitä tulevaisuuden tutkimuskohteita ovat: yleisten
standardien luominen, logistiikan mahdollisuudet työtehon parantamisessa, joh-
dannaisvaikutusten analysointi, erilaisten selkeästi mitattavien mittareiden luomi-
nen ja tekoälypohjaisten simulaatioiden kustannusmerkitys.

LÄHTEET

Aalto-yliopisto. 2025. Rakennusalan uudistaminen vaatii katseen nostamista projektista koko yrityksen tasolle. Artikkel. Viitattu 20.4.2025. <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/rakennusalan-uudistaminen-vaatii-katseen-nostamista-projektista-koko-yrityksen-tasolle>

Aalto-yliopisto. n.d. Building 2030 -konsortion loppuraportti. Verkkosivu. Viitattu 19.4.2025. <https://www.aalto.fi/fi/building-2030/building-2030-teemoihin-liittyvia-tutkimusraportteja>

Elfing, J. A., Ballard, G. & Talvitie, U. 2010. Standardisation in Lean Construction. Tutkimus. Viitattu 20.4.2025. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-7d7f9310-6e49-491e-9f7a-93fa42d62f77.pdf>

Euroopan parlamentti. 2023. Mitä tekoäly on ja mihin sitä käytetään? Artikkel. Viitattu 24.4.2025. https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2020/9/story/20200827STO85804/20200827STO85804_fi.pdf

Fang, D. & Ng, S. T. 2011. Applying activity-based costing approach for construction logistics cost analysis. Tutkimus. Viitattu 23.4.2025. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/14714171111149007/full/html>

Fredriksson, G., Sezer, R. & Sundquist, V. 2024. Construction logistics status and actors' opinions – an industry wide survey in Sweden. Tutkimus. Viitattu 24.4.2025. https://research.chalmers.se/publication/543823/file/543823_Fulltext.pdf

Hämeenlinnan kaupunki. 2022. Työmaavalvonta siirtyy digiaikaan: Congrid. Artikkel. Viitattu 25.4.2025. <https://www.hameenlinna.fi/blogi/tyomaavalvonta-siirryy-digiaikaan-congrid/>

Jayaruwan, R., Nawagamuwa, U., Fernando, P., Perera, B. & Waidyasekara, K. 2023. Minimising logistic cost of construction materials in the construction industry: Contractor's perspective. Tutkimus. Viitattu 22.4.2025. <https://www.researchgate.net/publication/372591800>

Logistiikan Maailma. Lean ajattelu. Verkkosivu. Viitattu 20.4.2025. <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/lean-ajattelu/>

Logistiikan Maailma. Materiaalin virtaus ja sijoittelu. Verkkosivu. Viitattu 25.4.2025. <https://www.logistiikanmaailma.fi/varastointi/varastotilojen-suunnittelu/materiaalin-virtaus-ja-sijoittelu/>

Logistiikan Maailma. PK-yritysten sisälogistiikka. Verkkosivu. Viitattu 25.4.2025. <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/digitalisaatio/pk-yritysten-sisalogistiikka/>

Logistiikan Maailma. Sisälogistiikka. Verkkosivu. Viitattu 25.4.2025. <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/logistiikka-ja-toimitusketju/sisalogistiikka/>

Logistiikan Maailma. Sisälogistiikan historiaa. Verkkosivu. Viitattu 25.4.2025. <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/logistiikka-ja-toimitusketju/sisalogistiikka/sisalogistiikan-historiaa/>

Logistiikan Maailma. Tulo-, sisä- ja lähtölogistiikka. Verkkosivu. Viitattu 25.4.2025. <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/logistiikka-ja-toimitusketju/tulo-sisa-ja-lahtologistiikka/>

Oulun ammattikorkeakoulu. 2020. Lean with Passion – erikoisnumero. Julkaisu. Viitattu 23.4.2025. <https://oamk.fi/wp-content/uploads/2019/01/lean-erikoisnumero.pdf>

Rakennus- ja maankäyttölaki 132/1999. Viitattu 22.4.2025. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/1999/132>

Rakennuslehti. 2019. Rakennustyömaan logistiikassa riittää vielä polkua raivattavaksi. Artikkel. Viitattu 22.4.2025. <https://www.rakennuslehti.fi/2019/10/rakennustyomaan-logistiikassa-riittaa-viela-polkua-raivattavaksi/>

Rakennuslehti. 2025. Rakennuslogistiikan ulkoistus näkyy heti viivan alla. Artikkel. Viitattu 24.4.2025. <https://www.rakennuslehti.fi/mainos/rakennuslogistiikan-ulkoistus-nakyy-heti-viivan-alla/>

Rakennustaito. 2023. Ulkoistetulla logistiikalla on paljon annettavaa. Artikkel. Viitattu 25.4.2025. <https://rakennustaito.fi/ulkoistetulla-logistiikalla-on-paljon-annettavaa/>

Rakennustieto Oy. 2023. Aikataulukirja 2024. Ratu KI-6036. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2019. Ratu KI-6034: Rakennushankkeen työturvallisuus. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2010. Ratu S-1227: Työmaan toimitusten suunnittelu ja ohjaus. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2019. Ratu TT-05-01305: Rakennustyömaan aluesuunnittelu. Helsinki: Työturvakeskus.

Rakennustieto Oy. n.d. Rakennushankkeen kustannushallinta. Ratu KI-6033. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2016. RT 10-11224: Talonrakennushankkeen kulku – Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2016. RT 10-11226: Talonrakennushankkeen kulku – Kustannusten ohjaus ja muodostus. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2015. RT 69-11183: Rakentamisen jätehuolto. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Ratu. 2013. Ratu S-1232: Rakennuksen sääsuojaus. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Ratu. 2000. Ratu 1191-S: Rakennustyön materiaalisät ja -hukat. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT, Mittaviiva & VTT. 2009. Rakennustyömaan toimitusten ohjaus. Viitattu 25.4.2025. https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2009/Rakennustyomaan_toimitusten_ohjaus_091116.pdf

Salminen, J. 2021. Lean rakentamisessa. RIL 276-2021. Helsinki: RIL ry.

Schlosser, A. ym. 2024. Simulation-based planning and logistics of construction processes. Tutkimus. Viitattu 22.4.2025. <https://informs-sim.org/wsc24papers/con159.pdf>

Sitra. n.d. Logistiikan rahtikirjojen digitalisoinnin mahdollisuudet ja hyödyt. Verkkosivu. Viitattu 25.4.2025. <https://www.sitra.fi/julkaisut/logistiikan-rahtikirjojen-digitalisoinnin-mahdollisuudet-ja-hyodyt/>

Sitowise. 2021. Asuntoreformikilpailu: Jätkäsaaren logistiikkamääräykset: Liite 13. Viitattu 25.4.2025. https://www.hel.fi/static/kv/tontti/asuntoreformikilpailu/Liite_13.pdf

Simplan. n.d. SimBaulog-ohjelmisto rakennuslogistiikan mallintamiseen. Viitattu 22.4.2025. <https://www.simplan.de/en/software/building-block-libraries/sim-baulog/>

Siemens. n.d. Plant Simulation -ohjelmisto. Viitattu 22.4.2025. <https://plm.sw.siemens.com/en-US/tecnomatix/plant-simulation-software/>

Statistiska centralbyrån (SCB). n.d. Price per square metre for newly constructed conventional multi-dwelling buildings by region and year. Verkkosivu. Viitattu 22.4.2025. https://www.statistikdata-basen.scb.se/pxweb/en/ssd/START__BO__BO0201__BO0201A/PrisPerAre-orFH02/

Tekla. n.d. Mitä on BIM? Viitattu 23.4.2025. <https://www.tekla.com/fi/ajankoh-taista/artikkelit/mit%C3%A4-on-bim>

Tilastokeskus. n.d. Rakennuskustannusindeksi. Verkkosivu. Viitattu 22.4.2025. <https://stat.fi/tilasto/rki#tables>

University of Helsinki. n.d. Building Information Modelling (BIM). Viitattu 23.4.2025. <https://www.helsinki.fi/fi/tutkimusryhmat/digitaalinen-oppiminen-ja-tyo/rakentamisen-tietomallintaminen-building-information-modelling-bim>

Vainio, T. & Nippala, E. 2021. Rakentamisen yhteiskunnalliset vaikutukset – kalvosarja. VTT & Rakennusteollisuus RT ry. Viitattu 22.4.2025. <https://rt.fi/wp-content/uploads/2023/12/vtt-rakentamisen-yhteiskunnalliset-vaikutukset-2021-selvitys.pdf>

VTT. 2013. Toimitusketjun hallinta rakentamisessa. VTT Technology 81. Viitattu 25.4.2025. <https://sarjaweb.vtt.fi/pdf/technology/2013/T81.pdf>

LIITTEET

LIITE 1. Ruotsin kerrostalorakentamisen bruttohinnat alueittain vuosina 2019–2023. (SCB)

Building price/useful floor space of dwellings and non-residential premises for newly constructed conventional multi-dwelling buildings, SEK by region, gross-/net price and year

	00 Sweden	0001 Metropolitan areas	0010 Greater Stockholm	0020 Greater Gothenburg	0030 Greater Malmö	0002 County regions I-III	4 County region I	5 County region II	6 County region III
Gross									
2019	35 186	37 600	39 202	36 490	35 853	32 115	31 293	32 647	31 491
2020	36 953	40 355	41 354	39 058	39 806	33 023	31 932	33 004	33 713
2021	35 623	38 430	39 260	39 916	34 265	32 558	31 383	32 963	32 153
2022	34 596	36 720	38 717	33 804	35 396	32 203	32 717	32 074	32 189
2023	35 564	39 126	40 467	35 049	38 944	32 338	36 960	30 507	33 196