

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

RAPORTIN TYYPPI - YLEMPI AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# RAKENNUSTUOTANNON TEHOSTAMISEN MAHDOLLISUUDET LOGISTIIKAN AVULLA

TEKIJÄ Juho Lappalainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Teknologiaosaamisen johtamisen tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Juho Lappalainen	
Työn nimi Rakennustuotannon tehostamisen mahdollisuudet logistiikan avulla	
Päiväys	28.4.2023
Sivumäärä/Liitteet	41/0
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Transval Group	
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Rakennusalalla etsitään uusia toimintamalleja kannattavuuden parantamiseen ja keskeisiä teemoja tähän ovat Lean-rakentaminen, tahtituotanto sekä logistiikkaratkaisujen kehittäminen. Työn tavoitteena on esittää selkeät toimintamallit, kuinka rakentamisen suunnittelu- ja toteutusvaiheessa edetään logistiikka huomioiden, jotta materiaalinhallinta saadaan yhteensovitettua rakentamista varten tehokkaasti.</p> <p>Työn rakentamisen logistiikan aineisto koostuu rakennusalan työmaalogistiikkaratkaisujen ja Lean-rakentamisen menetelmäkuvauksista ja tutkimuksista. Tulevaisuuden ennakointiaineistoina työssä on hyödynnetty tulevaisuustutkimuksia, joista on valikoitu rakentamisen logistiikkaan soveltuvia ja vaikuttavia teemoja sovellettavaksi. Työ on ennakointitutkimusta sekä laadullista tutkimusta yhdistelevä työelämän kehittämistyö.</p> <p>Tutkimustyön pohjalta laadittiin rakennustuotantoa tehostavat systemiset logistiikan toimintamallit. Tulevaisuuden ennakointia varten työ esittää teknologiakehityksen mahdollistamia sovellyskohteita, kuinka logistiikka voi tukea rakennusalan kehitystä tulevaisuudessa. Työ tarjoaa rakennusalan yrityksille taustatietoa strategisten päätöksiensä tueksi esittelemällä logistiikan osuutta tahtituotantoon siirtymisessä sekä logistiikkakumppaneiden mahdollistamaa kehityspotentiaalia rakennustuotannon tehostajana tulevaisuudessa.</p> <p>Rakennustuotantoa voidaan tehostaa logistiikan avulla työssä esitetyllä systemisellä logistiikan toimintamallilla, joka tukee vihreän siirtymän, tulevaisuustutkimuksen ja megatrendien mukaista tulevaisuuden näkymää. Rakennusalallakin toimintaympäristö muuttuu, joten alan on perusteltua kiinnittää huomiota strategioissaan ja kehityksen suunnassa logistiikan toimintamallien systemaattiseen käytönottoon. Myös tulevaisuustutkimuksen mukaiset uudet teknologiat tulevat opinnäytetyön havaintojen perusteella tukemaan logistiikan roolin kasvamista rakennusalalla.</p>	
<p><b>Avainsanat</b></p> <p>Rakennusala, Rakennustuotannon tehostaminen, Logistiikka, Työmaalogistiikka, Rakennuslogistiikka, Tahtituotanto, Lean-rakentaminen, Hukka rakentamisen logistiikassa, Logistinen toimintamalli, Täsmätoimitus</p>	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Master's Degree Programme in Engineering Competence Management	
Author Juho Lappalainen	
Title of Thesis Possibilities of Improving Construction Production with the Help of Logistics	
Date April 28, 2023	Pages/Appendices 41/0
Client Organisation /Partners Transval Group	
<p><b>Abstract</b></p> <p>In the construction industry, new operating models are being sought to improve profitability, and key themes for this are Lean construction, Takt production and the development of logistics solutions. The goal of the thesis was to present clear operating models for how to proceed in the planning and implementation phase of construction in the way that takes logistics into account and material management can be coordinated for construction efficiently.</p> <p>Literature of the thesis consists of construction logistics method descriptions together with studies of construction site logistics solutions and Lean construction. Future studies and themes for improving construction logistics were selected from these sources to forecast the future. This thesis was a working life development work that combined foresight research and qualitative research.</p> <p>On the basis of the research work, systemic logistics operating models were drawn up to make construction production more efficient. In order to anticipate the future, the thesis presented application areas made possible by technological development, where logistics can support the development of the construction industry in the future.</p> <p>Construction production can be made more efficient with the help of logistics. This goal can be reached with the systemic logistics operating model presented in the thesis, which supports the future outlook in accordance with the green transition, future research and megatrends. The operating environment in the construction industry is changing, so it is justified for the industry to pay attention in its strategies and development direction to the systematic adoption of logistics operating models. Based on the findings of the thesis, the new technologies according to the future studies will also support the growth of logistics role in the construction industry.</p>	
<p><b>Keywords</b></p> <p>Construction Industry, Building Production Efficiency, Logistics, Site Logistics, Construction Logistics, Takt Time, Lean Construction, Just-In-Time, Logistic Operating Model for Construction</p>	

## ESIPUHE

Aikanaan huomasin nopeasti rakennusmestariksi valmistumiseni jälkeen, että ala kehittyi tuskastuttavan hitaasti. Kymmenisen vuotta tein valmistumiseni jälkeen rakennuskohteita erilaisissa rakennustuotannon tehtävissä toivoen, että rakennusala kohtaisi mullistavan loikan kohti nykyaikaisempia toimintatapoja ja uudet teknologiat auttaisivat sekä järkeistäisivät työntekoa. Digitalisaatio on tehnyt kyllä pitkään tuloaan rakennusalallekin, mutta tuntui silti, että jokainen kehitysaskel vain monimutkaisti ja lisäsi työmaalla tehtävää työtä.

Näistä kokemuksista kumpuaa minulle sydämen asiaksi noussut rakennusalan kehittämisen palo ja tämä opinnäytetyö tarjosi minulle mainion alustan toteuttaa sitä. Toivottavasti tästä työstä on mahdollisimman monelle hyödyksi!

Valtavasti kiitoksia rakkaalle vaimolleni ja perheelleni tuesta opinnäytetyön aikana! Kiitokset myös urani kehittävimille ja intohimoisille rakentamisen ammattilaisille Aleksille ja Markku Lehtiselle sekä logistiikan visionääreille Risto Vilolle ja Joachim Silbersteinille, sillä ilman teitä tätä työtä ei olisi. Kiitokset Transvalille työn toimeksiannosta sekä työnantajan ohjaajana toimineelle Jalmari Pentikäiselle. Lisäksi haluan kiittää Savonia-ammattikorkeakoulua loistavasta opinnäytetyöprosessista ja koulun puolesta työtä ohjannutta Merja Tolvasta.

Rajamäellä 28.4.2023



Juho Lappalainen

## KÄSITTEET

Digivihreä siirtymä	Siirtymä digitaalisiin teknologioihin, jotka tukevat vihreää siirtymää.
Digitalisaatio	Tietotekniikan yleistyminen arjessa ja työssä käyttäen sitä toiminnan muuttamiseen ja mahdollistamiseen esimerkiksi automaation suuntaan.
Haalaus	Kantaa, vetää tai siirtää materiaalia tai laajempaa kuormaa. Rakennustyömailla käytetään myös paljon termiä sisäänkantaminen, varsinkin käsin kannettaessa materiaaleja.
Lean-rakentaminen	Hukan poistaminen rakentamisesta.
Logistiikka	Sanalla on monia erilaisia suppeampia, laajempia, vanhempia ja uudempia käsitteitä. Tässä työssä painottuen rakennustyömaan toimitusketjun kokonaisuuden hallintaan.
Systeeminen	Tässä työssä tarkoittaa systeemistä, eli kokonaisvaltaista muutosta toimintamalleista hankintatapoihin ja urakkasisältöihin.
Tahtituotanto	Tuotantomuoto, jossa työ tahdistetaan suunnitelmien, ohjauksen ja jatkuvan parantamisen keinoin hukkaa vähentäen.
Vihreä siirtymä	Uusiutumattomista energiamuodoista siirtymä uusiutuviin energiamuotoihin.
VR-lasit ja AR-lasit	Virtuaalinen todellisuus (engl. Virtual Reality) ja lisätty todellisuus (engl. Augmented Reality).
WMS	Varastohallintajärjestelmä (engl. Warehouse Management System).

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	9
1.1	Työn tausta .....	9
1.2	Taustaorganisaatio .....	9
1.3	Tutkimusongelma ja työn teoreettinen viitekehys .....	10
1.4	Tutkimusmenetelmät .....	11
1.5	Työn toteutus .....	11
1.6	Työn rajaus .....	11
2	RAKENTAMISEN LOGISTIIKAN NYKYTILA .....	12
2.1	Rakennushankkeen vaiheet ja logistiikka .....	12
2.2	Työmaan logistiikkasuunnittelu .....	13
2.3	Työmaan logistiikan toteutus .....	14
2.4	Hukka rakentamisen logistiikassa .....	14
2.5	Lean, tahtituotanto ja rakentamisen logistiikka .....	16
2.6	Rakennuslogistiikkayritysten palvelut nykyisin .....	17
3	TULEVAISUUDEN ENNAKOINTI JA RAKENTAMISEN LOGISTIIKKA .....	19
3.1	Megatrendit ja rakentamisen logistiikka .....	19
3.2	Vihreä siirtymä ja digivihreä siirtymä .....	24
3.3	Tulevaisuustutkimuksen tunnistamat mahdollisuudet rakentamisen logistiikkaan .....	24
3.3.1	Robottiauto henkilö- ja tavaraliikenteessä .....	25
3.3.2	Ubiikki ympäristö ja tavaroiden internet .....	26
3.3.3	Kaupallisen alustatyön välittäminen .....	26
3.3.4	Älylasit, AR-lasit ja laajennettu todellisuus sekä VR-lasit ja lisätty todellisuus .....	27
3.3.5	Aurinkosähkön nopea kehitys .....	27
3.3.6	Ympäristön reaaliaikainen 3D-hahmotus .....	28
3.3.7	Tavaroiden sekä rakennusten ja rakenteiden 3D-tulostus .....	28
3.3.8	Kävelevä robotti ja kävelyavustajat .....	28
3.3.9	Nelikopterit ja muut lentävät dronet .....	29
4	RAKENNUSTUOTANNON TEHOSTAMISEN MAHDOLLISUUDET LOGISTIIKAN AVULLA NYT .....	30
4.1	Suunnittelu- ja rakentamisvaiheen logistiikkasuunnittelumalli .....	30
4.2	Rakentamisvaiheen logistiikan toteutus- ja materiaalinhallintamalli .....	32
4.3	Tahtituotannon yhteensovittaminen suunnittelun ja materiaalinhallinnan prosesseihin .....	34

5	TULEVAISUUDEN TEKNOLOGIOIDEN SOVELLUSKOHTEET OSANA RAKENNUSLOGISTIIKAA	35
5.1	Tietomallien kehitys rakentamisen logistiikan avulla.....	35
5.2	VR ja AR-lasit tiedonvälityksen työkaluksi työmaille .....	36
5.3	Sähköinen tavaraliikenne tulee myös työmaille .....	36
5.4	3D-tulostus tarvitsee logistiikkaa .....	37
5.5	Kantorobotit, exoskeletonit ja dronet työmaalogistiikan avuksi.....	37
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	38
7	POHDINTA.....	39
	LÄHTEET .....	40

## KUVALUETTELO

KUVA 1.	Transval logo (Transval Group).....	10
KUVA 2.	Rakennushankkeen vaiheet (mukaillen RT 10-11224, CC BY).....	12
KUVA 3.	Arvontuoton jakautuminen suunnittelu- ja rakennustöissä (mukaillen Seppänen;ym., 2019; Olli Seppänen, 2020, Lappalainen, 2023 CC BY) .....	15
KUVA 4.	Esimerkki logistisesta tahtiaikataulusta Evianet NPL järjestelmästä (Evianet Solutions Oy, 2022)....	16
KUVA 5.	Esimerkki rakennuslogistiikan kokonaisratkaisusta (Lappalainen;ym., 2023, CC BY-NC) .....	17
KUVA 6.	Välivarastoa/terminaalia pihalta. (Lappalainen, 2022), CC BY-NC) .....	18
KUVA 7.	Välivaraston massa-/lattiapaikat sopivat hyvin rakennusmateriaalien välivarastointiin. (Lappalainen, 2022), CC BY-NC) .....	18
KUVA 8.	Megatrendikortteja 2023 mukaillen rakennuslogistiikkaan vaikuttavat luontoaiheiset megatrendit (Dufva;ym., 2023).....	19
KUVA 9.	Megatrendikortteja 2023 mukaillen rakennuslogistiikkaan vaikuttavat ihmisaiheiset megatrendit (Dufva;ym., 2023).....	20
KUVA 10.	Megatrendikortteja 2023 mukaillen rakennuslogistiikkaan vaikuttavat talousaiheiset megatrendit (Dufva;ym., 2023).....	21
KUVA 11.	Megatrendikortteja 2023 mukaillen rakennuslogistiikkaan vaikuttavat teknologia-aiheiset megatrendit (Dufva;ym., 2023).....	22
KUVA 12.	Megatrendikortteja 2023 mukaillen rakennuslogistiikkaan vaikuttavat teknologia-aiheiset megatrendit (Dufva;ym., 2023).....	23
KUVA 13.	Suunnittelu- ja rakentamisvaiheen logistiikan suunnittelumalli. (Lappalainen 2023, CC BY).....	30
KUVA 14.	Rakentamisen hankintojen suunnittelun ja logistiikan suunnittelun kytkeytyminen. (Lappalainen 2023, CC BY).....	32
KUVA 15.	Esimerkki logistinen hankintamatriisi. (Lappalainen 2023, CC BY).....	32
KUVA 16.	Rakentamisvaiheen logistiikan toteutus- ja materiaalinhallintamalli. (Lappalainen 2023, CC BY) ...	33

KUVA 17. Tahtituotannon yhteensovittaminen logistiikan suunnittelun ja materiaalinhallinnan prosesseihin. (Lappalainen 2023, CC BY).....	34
KUVA 18. Rakennuslogistiikan tulevaisuuden näkymät teknologiateemoittain. (Lappalainen 2023, CC BY) ...	35

## 1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoitus on selvittää rakennusalan toimijoille menetelmät tuotannon tehostamiseen logistiikan avulla. Tavoitteena on esittää selkeät toimintamallit, kuinka rakentamisen suunnittelu- ja toteutusvaiheessa edetään logistiikka huomioiden, jotta materiaalinhallinta saadaan yhteensovitettua rakentamista varten tehokkaasti. Työ tarjoaa rakennusalan yrityksille taustatietoa strategisten päätöksien tueksi esittelemällä logistiikan osuutta tahtituotantoon siirtymisessä sekä logistiikkakumppaneiden mahdollistamaa kehityspotentiaalia rakennustuotannon tehostajana tulevaisuudessa.

### 1.1 Työn tausta

Rakennusala etsii kuumeisesti toimintamalleja kannattavuuden parantamiseen ja keskeisiä teemoja tähän ovat muun muassa tahtituotanto sekä logistiikkaratkaisujen kehittäminen (Salminen, 2021; Ahonen;ym., 2020; Peltokorpi;ym., 2022). Nyt rakennusalan toimijoille tarvitaan työkaluja, joilla tehdä tulevaisuuteen vaikuttavia päätöksiä ja sitä varten on avattava näkemyksiä rakennuslogistiikan mahdollisuuksista teknologiakehityksen myötä tulevaisuustutkimusta hyödyntämällä.

Asiakkaiden tehokkuuden ja kannattavuuden parantaminen on logistiikkaliiketoiminnan keskeinen tavoite. Jotta logistiikkatoimijat pystyvät kehittämään prosesseja ja asettamaan tavoitteita oikeaan suuntaan, tulisi logistiikka- sekä rakennusalan toimijoiden tietää enemmän rakennuslogistiikan nykyisistä potentiaaleista muun muassa tahtituotannon mahdollistajana ja lisäksi logistiikan tulevaisuuden näkymistä rakennusalan kehittäjänä. Tähän mennessä rakennusala on pyrkinyt itse ratkomaan omat logistiset haasteensa.

Tämä aihe on saatu ensisijaisesti työelämälähtöisesti vuoden 2022 aikana Transvalin uuden rakennuslogistiikkaliiketoiminnan kehitystyön yhteydessä. Toisekseen tein osana opintojani Strateginen ajattelu ja toimialan tulevaisuus -kursilla toimialan tulevaisuusaiheeseen liittyen jo hieman alustavaa tutkimusta kurssitehtäväraportin muodossa. Kolmantena sysäyksenä huomasin 9. tammikuuta 2023 Aaltoyliopiston tohtoritutkija Joonas Lehtovaaran LinkedIn -päivityksen, jossa hän listasi tahtituotannon tutkimuksia ja kehitystä viimeisen viidentoista vuoden aikana. Lopuksi hän esittikin seuraavaksi oleelliseksi tutkimussuunnaksi nimenomaan tahtituotannon yhteensovittamisen suunnittelun ja materiaalinhallinnan prosesseihin, sekä digitalisaation tuomat mahdollisuudet.

### 1.2 Taustaorganisaatio

Työn toimeksiantaja on Transval Group, joka on Posti Groupin omistama sisä- ja ulkoistuslogistiikan erikoistunut logistiikkatalo. (Kuva 1.) Sisälogistiikassa Transval on Pohjoismaiden suurin toimija ja ulkoistuslogistiikassa Suomen markkinajohtaja (Transval Group, 2023). Transval on perustettu vuonna 1994 ja Posti osti koko Suomen Transval Groupin osakekannan vuonna 2019, eli yritys kuuluu nykyisin Posti Groupiin.

Palvelut ja ratkaisut tapahtuvat joko Transvalin tai asiakkaan omissa tiloissa, kuten tehtaissa, tuotantolaitoksissa, varastoissa, terminaaleissa tai logistiikkakeskuksissa muuttaen asiakkaiden kiinteitä logistiikan kuluja muuttuviksi kustannuksiksi ja näin tarjoamalla lukuisia hyötyjä kuten skaalautuvuus, joustavuus, jatkuva kehittäminen, työturvallisuus sekä kustannussäästöt.



KUVA 1. Transval logo (Transval Group)

Nyt on aika tuoda teollisuuden tuottavuusloikan mahdollistaneet käytännöt myös rakennusteollisuuden käyttöön ja Transval haluaa toimia tässäkin edelläkävijänä, joten se käynnisti vuosien 2021 ja 2022 aikana rakennuslogistiikkaliiketoiminnan, joka tarjoaa palveluita pääosin suoriteperusteisesti työmaan kaikille toimijoille välivarastoinnista, kuljetuksiin ja sisäänkantoihin. Palveluihin kuuluu kaikki työmaalogistiikan sekä työmaapalveluiden tehtävät henkilöstöineen suunnittelusta, koordinoitiin ja toteutukseen yhdessä selainpohjaisessa logistiikkajärjestelmässä.

### 1.3 Tutkimusongelma ja työn teoreettinen viitekehys

Tutkimusongelmana on selvittää tutkimuskysymyksiin vastaukset. Yksi työn alussa hypoteettinen ratkaistava tutkimusongelma on, että rakennusalan tuotannon parissa toimivat tarvitsevat selkeät käytännön menetelmät työmaan tehokkaaseen suunnitteluun ja toteutukseen logistisesti. Toisekseen on tarve löytää myös tulevaisuuden skenaarioiden mukaisiin teknologian kehityskulkuihin rakennuslogistiikkaa tukevia ratkaisuja.

Oleellisimmat tutkimuskysymykset työssä ovat:

- Mitä rakennustuotannossa voidaan tehostaa logistiikan avulla?
- Miksi rakennusallalla toimitaan logistisesti nykyisellä tavalla?
- Miten rakennustuotantoa tehostetaan logistiikan avulla nyt ja tulevaisuudessa?
- Kuinka paljon potentiaalia rakennustuotannon tehostamisella on logistiikan avulla?

Teoreettinen viitekehys rakentamisen logistiikan nykytilalle koostuvat kirjallisuudesta ja tutkimuksista rakennustyömaan työmaalogistiikan perusteista, rakennusalan logistiikkaratkaisujen menetelmäkuvauksista sekä Lean-rakentamisen ja tahtituotannon tutkimuksista.

Rakentamisen logistiikan tulevaisuuden ennakoinnille keskeisenä teoriapohjana toimii Sitran Megatrendiaineistot (Dufva;ym., 2023), Etlan Digibarometri (Mattila;ym., 2022) ja teknologiakehityksen mahdollisuuksien teoreettisena viitekehystenä Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisu Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018-2037 - Yhteiskunnan toimintamallit uudistava radikaali teknologia (Linturi;ym., 2018).

#### 1.4 Tutkimusmenetelmät

Kyseessä on ennakoititutkimusta sekä laadullista (kvalitatiivista) tutkimusta yhdistelevä työelämän kehittämistyö. Tutkimusmuotoon on päädytty, koska työssä pääpaino on työelämän monimutkaisten ongelmien ratkaisemisessa ja uusien menetelmien kehittämisessä. Tutkitun tiedon sekä kirjoittajan alan työkokemusten ja havaintojen perusteella kehitetään vastauksia tutkimusongelmiin erilaisten sovellusten ja menetelmien muodossa.

#### 1.5 Työn toteutus

Työ aloitetaan aineiston keruulla, etsimällä kansallisia sekä kansainvälisiä tutkimuksia, raportteja ja kirjallisuutta tietolähteiksi. Seuraavaksi perehdytään kerättyyn aineistoon sekä aloitetaan työn rakenteen hahmottelu. Sitten on vuorossa ennakointi- ja tulevaisuustutkimusaineistoista aiheen tutkimuksellinen suodattaminen rakentamisen logistiikan kontekstiin sekä tiedon analysointi ja ideointi tulevaisuuden skenaarioita varten.

Tutkimustyön pohjalta laaditaan toimintamallit havaittuihin tarpeisiin pyrkien samalla ennakoimaan tulevaa. Tulevaisuuden ennakointia varten määritellään teknologiakehityksen mahdollistamia sovel-luskohteita. Lopuksi aikaansaannoksia analysoidaan ja kirjataan johtopäätökset työn tuloksista.

#### 1.6 Työn rajaus

Työ sisältää erityisesti rakennustuotannon nykyisten logistiikkakäytänteiden tehostamiseen keskittyvää asiaa. Työstä rajataan paljon perusteita työmaalogistiikasta ja esimerkiksi pääurakoitsijan tyypillisesti laatimia työmaalogistiikkasuunnitelmia käsitellään pääpiirteittäin, koska niistä on tehty useita oppinäytetöitä tarkalla menetelmäkuvaustasolla. Ne sisältävät tyypillisesti pääosin työmaan sisälogistiikan hoitamiseen liittyviä menetelmä ja hankekuvauksia. Tämän työn sisällön on tarkoitus olla jatkoa näille työmaalogistiikan menetelmäkuvausten perusteoksille.

Huomionarvoista työn katselukulmasta on myös se, että yleensä rakennustuotannon logistiikkaa lähestytään juuri urakoitsijan näkökulmasta. Tässä työssä työmaalogistiikkaa ja katsotaan pääosin logistiikkaoperaattorin kulmasta, ottaen työmaan prosessit huomioon. Työn kirjoittajalla on yli 12 vuoden työkokemus rakennusalan tuotannon työnjohto ja -päällikkötehtävistä ja noin puolentoistavuoden kokemus logistiikka-alalla kehittäen logistiikkapalveluita rakennusallalle käyttöön, joten käytännön kokemusta on kummastakin näkökulmasta.

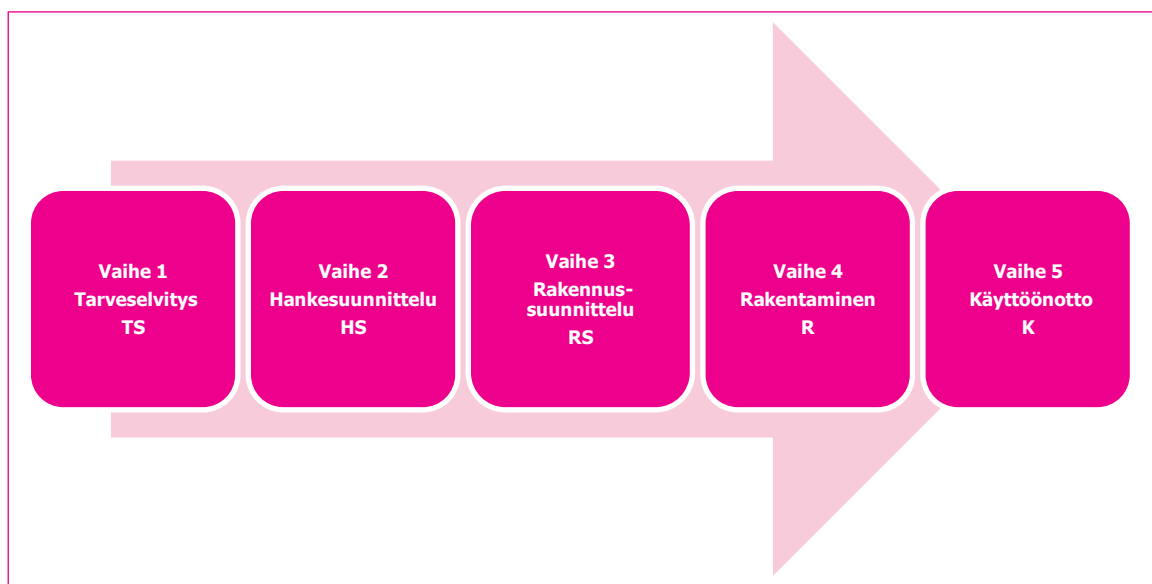
Työssä ei myöskään arvioida erityisesti rakennuksen suunnittelijoiden suunnitteluratkaisujen materiaalien tai esivalmistusasteen vaikutuksia logistiikkaan, vaan lähdetään siitä lähtökohdasta, että projektin logistiikka täytyy ratkaista mahdollisimman tehokkaasti annetuilla lähtötiedoilla suunnitteluratkaisuksista huolimatta.

## 2 RAKENTAMISEN LOGISTIIKAN NYKYTILA

Tässä pääluvussa kuvataan rakentamisen logistiikan nykytilaa. Ensimmäiseksi on syytä taustoittaa rakennushankkeiden etenemistä kuvauksella rakentamisen vaiheista, koska se helpottaa hahmottamaan työssä käsiteltäviä rakentamisen ja logistiikan yhteensovituksen prosessin ajoituksia. On olennaista tietää missä vaiheessa rakennushanketta tehdään mitäkin logistiikkaan ja koko hankkeen toimitusketjujen materiaalivirtoihin vaikuttavia päätöksiä.

### 2.1 Rakennushankkeen vaiheet ja logistiikka

Rakennushanke koostuu yleensä viidestä vaiheesta, jotka ovat etenemisjärjestyksessään tarveselvitys, hankesuunnittelu, rakennussuunnittelu, rakentaminen ja käyttöönotto. (Kuva 2.) Ne seuraavat toisiaan, kun edellinen vaihe on saatu päätökseen. Tarveselvityksen perusteella tehdään hankepäätös, hankesuunnittelun jälkeen investointipäätös, rakennussuunnittelun jälkeen rakentamispäätös, rakentamisen jälkeen vastaanottopäätös ja käyttöönotto päättyy takuutarkastuksen hyväksymispäätökseen (RT 10-11224, Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu, 2016).



KUVA 2. Rakennushankkeen vaiheet (mukaillen RT 10-11224, CC BY).

Tarveselvitysvaiheessa logistiikka voi nousta nykytilassa esiin tarveselvityksessä, mikäli sillä nähdään olevan vaikutusta hankkeen edellytyksiin tai toteuttamismahdollisuuksiin, eli mahdollisesti jo tässä vaiheessa voidaan tunnistaa logistiikan vaikutuksia hankkeeseen ja aloittaa niiden kartoittaminen. Tällöin logistiikka on hankkeessa perustavanlaatuisen tekijä jo hankepäätöstä tehtäessä. Tästä konkreettisenä esimerkkinä toimii saaren rakentaminen.

Hankesuunnitteluvaiheessa logistiikka tulee nykyisin agendalle, jos se havainnoidaan esimerkiksi hankkeen riskienarvioinnissa vaikuttavuudeltaan korkealle, eli rakennuspaikka on esimerkiksi kaupunkikeskustassa ahtaalla tontilla ja vilkkaan kadun varrella tai kaukana asutuksesta ja molemmissa tapauksissa logistiikka nähdään tässä vaiheessa ainakin kustannuksia mahdollisesti kohottavana tekijänä (Ahonen;ym., 2020).

Rakennussuunnitteluvaiheessa tehdään jo paljon logistiikkaan vaikuttavia päätöksiä ja parhaimmillaan luodaan lähtökohdat, vaatimukset ja tavoitteet myös kohteen logistiikan osalta. Lähtökohtia ovat muun muassa rakennussuunnitelmat itsessään ja niiden mukainen tontin alueenkäyttö sekä valitut tila-, rakenne-, ja materiaaliratkaisut. Rakennussuunnittelun tässä vaiheessa tehdään myös päätös kohteen tietomallintamisesta ja sen tasosta. Nykyisin tietomallia käytetään logistiikan näkökulmasta varsinkin työmaan aluesuunnitteluun ja siinä käytössä ne ovatkin erittäin visuaalisia aiempia tasokuvaan piirrettyihin verrattuna. Rakennussuunnittelun loppuvaiheessa, kun luonnossuunnitelmat on hyväksytty, laaditaan toteutussuunnitelmat. Tässä vaiheessa esille tulleet logistiset asiat varmennuskeinoineen voidaan viedä rakennuttajan haluamassa laajuudessa urakka-asiakirjojen kaupallisiin sekä teknisiin dokumentteihin. Logistiikan toteuttamisesta, sekä suunnittelusta voidaan siis esittää esimerkiksi ohjeita, vaatimuksia ja urakkarajoja.

Rakennussuunnitteluvaiheessa vaatimuksia logistiikalle asettavat myös epäsuorasti maankäyttö- ja rakennuslain sekä rakennusvalvontavirastojen vaatimien toimintamallien, kuten kuivaketju 10:n ja tuotekelpoisuuden osoittaminen, lisäksi varsinkin rakennuttajan urakka-asiakirjoissa esittämät aikataulutavoitteet ja laatuvaatimukset. Valitettavasti tarkemmin logistiikan toteutukseen kohdennetut vähimmäisvaatimukset ovat vielä nykyisin urakka-asiakirjoissa harvinaisia, ja tämän takia logistiikan suunnittelu siirtyy pääsääntöisesti vielä pykälällä seuraavaan vaiheeseen, eli rakentamiseen ja silloin työmaan logistiikan tavoitteet asettaa pääosin työmaaorganisaatio. Vastuu logistiikasta tavallaan siirretään rakennuttajan ja suunnittelijoiden toimesta pääurakoitsijalle luottaen, että pääurakoitsija osaa tehdä itse hankkeen kannalta parhaat logistiset suunnitelmat ja päätökset.

Käytännössä rakennushankkeen logistiset ratkaisut tehdään nykyään pääosin vasta rakentamisvaiheen alussa työmaaorganisaation toimesta rakentamista valmistellessa, hankintojen ohessa ja myöhemmin työvaihekohtaisesti toteutuksen aikana. Tästä yleistyksestä täytyy erotella kuitenkin alan kärkihankkeet, valtaosa allianssihankeista sekä monet projektinjohtourakat, joissa on tyypillisesti logistiikan osalta suunniteltu sekä määritelty käytäntöjä jo ennen rakentamisvaihetta (Peltokorpi;ym., 2022).

## 2.2 Työmaan logistiikkasuunnittelu

Kaikissa rakennushankkeissa logistiikkaa ei välttämättä ole mainittu kohteen urakka-asiakirjoissa ja niihin kuuluvissa työtä ohjaavissa suunnitelmissa sekä dokumenteissa lainkaan. Useilta rakennusliikkeiltä kuitenkin löytyy logistiikan tuotannonohjaukseen projektinhallintajärjestelmien laadunvarmistusasiakirjamalleista erilaisia logistiikkasuunnitelmapohjia. Se voi olla myös valinnainen osa työmaan laajemman laatusuunnitelman kokonaisuutta. Vakiintuneena tapana logistiikkasuunnitelman laatimista työmailla ei kuitenkaan voi vielä pitää, mutta isommilla työmailla ne ovat jo tavanomaisempia.

Työmaan logistiikkasuunnitelmista on tehty useita ansiokkaita opinnäytetöitä (esim. Leinonen, 2014; Parviainen, 2011; Erkkilä, 2022), joissa kuvaillaan työmaan logistiikan perusteita keskittyen tyypillisesti työmaan sisälogistiikkaan. Nämä kuvaavatkin oikein hyvin nykyistä työmaalogistiikan vallitsevaa toimintatapaa, jonka mukaan jokainen työmaa suunnittelee itse, kuinka logistiikkaa tullaan käytännössä toteuttamaan työmaalla.

Logistiikkasuunnitelmien sisältö on pääsääntöisesti nykyisin edellä mainittuja opinnäytetöitä mukailleen:

- työmaan yhteystiedot
- aluesuunnitelma
- vastaanotto-ohje
- nosto- ja siirtokalusto
- tavarantoimitusten suunnittelu ja kirjaukset
- väliaikainen varastointisuunnitelma
- jätehuoltosuunnitelma
- työmaaopasteet ja liikennejärjestelyt
- lumityöt ja liukkaudentorjunta
- logistiikan riskienarviointi

Alan tutkimuksissa työmaan logistiikkaratkaisujen kehittämiseksi on noussut yksi selkeä lisättävä suunnitelma edelliseen logistiikkasuunnitelman esimerkkisisältöön, kun Building 2030- konsortion rakentamisen logistiikkaratkaisujen loppuraportin (Peltokorpi;ym., 2019) johtopäätöksissä on mainittu, että ”Sijaintikohtaisiin tehtäviin sidottu materiaalitoimitusten suunnitelma ja aikataulu tulisi laatia osaksi työmaan toiminnanohjausta.” Tällä ehdotuksella voisi täydentää esimerkiksi ”tavarantoimitusten suunnittelu ja kirjaukset” -kohdan suunnitelmia.

### 2.3 Työmaan logistiikan toteutus

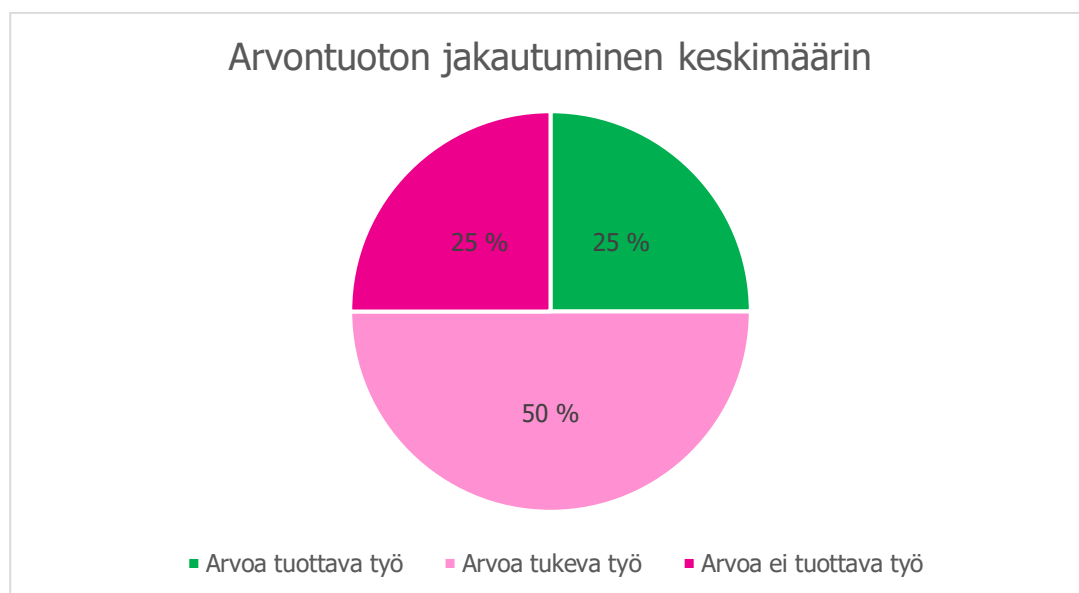
Rakennusalan työmaakeskeiseksi muodostunut tapa hoitaa ja organisoida logistiikkaa johtuu pitkälti edellä kuvatusta työmaan logistiikkasuunnittelun taustasta, eli logistiikka on perinteisesti valunut työmaaorganisaation ratkaistavaksi. Tyypillisesti työmaalla vastaava työnjohtaja jakaa työvaiheet työnjohtajille pienempiin vastuualueisiin, minkä jälkeen jokainen työnjohtaja hoitaa töidensä logistiikan tästä eteenpäin. Seuraavat vaiheet työnjohtajan näkökulmasta ovat ko. työvaiheiden tehtäväsuunnitelmat, aloituspalaverit sekä materiaalien kotiinkutsut keskitetyn hankinnan tekemien sopimusten ja tilausten pohjalta tai hankinnan tekeminen täysin itse toimittajalta asennuspaikalle.

Jokainen työmaa on siis perinteisen sanonnan mukaan ”mestareidensa näköinen” ja se pätee myös logistiikkaan. Työnjohtajat oppivat edelliseltä työmaaltaan toimivia käytäntöjä tai sitten siellä sattuneista virheistä ja pääsevät siten aina myös logistisessa oppimisprosessissaan eteenpäin. Tätä perinteistä rakennusalan työmaiden logistiikkakäsitystä voidaan kutsua työmaakeskeiseksi, koska sitä ei ole vakioitu. Jokainen rakennustyömaan toimihenkilö, työmaa ja yritys ratkovat työmaa toisensa perään logistiikan käytännöt omien lähtötasojensa mukaan aina uudestaan ja uudestaan (Peltokorpi;ym., 2019; Ekeskär;ym., 2020 s. 3).

### 2.4 Hukka rakentamisen logistiikassa

iCons-tutkimushankkeen mukaan rakentamisen suunnittelutyössä arvoa tuottavan, eli tehokkaan työn osuudeksi on mitattu 17–34 % ja itse rakennustöiden osalta työvaiheen mukaan 20–35 % (Seppänen;ym., 2019). Loput eivät suinkaan ole täyttä hukkaa, vaan ne voidaan jaotella arvoa tukeväksi työksi ja arvoa ei tuottavaksi työksi. Hukkaa voidaan poistaa tehostamalla arvoa tukevaa työtä ja poistamalla ei arvoa tuottavaa työtä. Edelliset toimenpiteet lisäävät samalla arvoa tuottavaa työtä.

Arvoa tukevan työn minimiä ei ole tiedossa, joten esitetään sen osuudeksi parhaimmillaan sama kuin arvoa tuottavankin, eli 25 %. Yhteensä hukkaa voisi rakentamisen töissä sanoa näin ollen olevan 25–50 %. (Kuva 3.) Tämä ei ota vielä huomioon tehostamisen vaikutusta arvoa tuottavaan työhön, joten jopa tästäkin suuremmat luvut ovat mahdollisia.



KUVA 3. Arvontuoton jakautuminen suunnittel- ja rakennustöissä (mukaillen Seppänen;ym., 2019; Olli Seppänen, 2020, Lappalainen, 2023 CC BY)

Suunnittelun hukka on tutkimustenkin mukaan todettu olevan rakentamisen hukkaa monimutkaisempi käsite rakennusalalla eivätkä nykyiset työmaan tuotantomenetelmät juuri tunne suunnittelun ja logistiikan yhteyttä. Logistiikan osuutta suunnittelun hukassa tai logistisin keinoin tehostettavaa siitä on vaikea määritellä, mutta järjestelmällisellä työmaalogistiikan prosessilla, tiedon virtauksella ja digitalisaatiolla varsinkin materiaalinhallinnan osalta logistiikalla voisi olla parannettavaa suunnitellu edellytysten tuottamisessa (Olli Seppänen, 2020). Enemmänkin tilanne on se, hukka syntyy logistiikan suunnittelemattomuudesta johtuvista materiaalinhallinnan yllätyksistä.

Työmaalla arvoa tuottavaa työtä ovat asennustyö itsessään, laadunvalvonta ja työnjohto. Arvoa tukevaa työtä ovat asennustyön valmistelu ja suunnittelu, mittaukset, tarvikkeiden ja materiaalien haalaukset, työvälaineiden siirtäminen, materiaalin työstö, ylläpito, huolto ja siivous. Arvoa ei tuottavaa työtä ovat tarpeettomat siirrot tai kuljetukset, odottelu, ylimääräinen liikkuminen, yliprosesointi ja ylituotanto, tavaroiden ja materiaalien etsiminen, liivavarastointi, rikkoutuneiden materiaalien ja rakennusosien vaihtaminen ja korjaaminen, asioiden selvittäminen, laatuvirheet ja uudelleen tekeminen, työn tekeminen ilman tarvittavia edellytyksiä, ylimääräinen siivoaminen ja suojaaminen, työhön liittymättömät muut toimet (Olli Seppänen, 2020).

Logistiikkaan liittyviä tai logistiikan avulla tehostettavissa tai poistettavissa ovat käytännössä kaikki edellä luetellut arvoa tukevat ja arvoa ei tuottavat työt, joten logistiikalla on suuri potentiaali rakennusalan tehostamisessa. Arvoa tukevista töistä asentajalle jää lähes välttämättä vain osa työn valmistelusta ja suunnittelusta sekä useimmissa tapauksissa jossain määrin mittauksia ja materiaalin

työstöä, mutta nämäkin ovat tehostettavissa suunnittelulla, esivalmistusasteen muutoksilla ja logistiikan aputöiden lisäyksellä. iCons tutkimushankkeen mukaan rakennusmateriaali liikkuu pelkästään työmaalla keskimäärin kuusi kertaa ennen kuin päätyy lopulliselle asennuskohteelle asentajan käsiin (Seppänen;ym., 2019). Tässä tavoitteen tulisi olla lähempänä yhtä siirtokertaa, joten ylimääräisten siirtojen määrä rakennustöiden hukasta on merkittävä.

Rakentamisessa logistiikan vaikutusalueella syntyy materiaalihukkaa myös työmaalle liian aikaisin tilatuista ja siksi rikkoutuneista tavaroista, manuaalisesti laskettujen määrien laskentavirheistä johdun tai kastumisen takia pilaantuneiden rakennusmateriaalien takia. Lisäksi on vajaista materiaali-kuormista aiheutuvia hukkakustannuksia ja ylimääräisistä työntekijöiden perehdytyksistä aiheutuvaa ajankäytönhukkaa. Jätteiden lajittelustakin aiheutuu hukkaa, silloin kun se on pois arvoa tuottavasta työajasta.

## 2.5 Lean, tahtituotanto ja rakentamisen logistiikka

Tahtituotanto on Lean-filosofian mukainen malli hukan minimoimiseen ja sitä on käytetty muun muassa autotuotannossa Japanissa Toyotalla, Yhdysvalloissa erilaisissa sarjatuotannoissa sekä Saksassa laivanrakennustuotannossa. Rakentamisessa ensimmäisiä tahtituotantokohteiden kokemuksia alkoi kertyä ennen 2010-luvun vaihdetta Kaliforniasta ja Saksasta (Frandsen;ym., 2013). Se on tehnyt tuloansa Suomessa rakennusalalle 2010-luvun alusta alkaen muiden Lean-menetelmien myötä. Se on tuotantomuoto, jossa hukkaa pienennetään näkyvimmin hankkeen läpimenoaikaa lyhentämällä.

Läpimenoajan lyhentäminen mahdollistuu jakamalla kohteen aikataulutehtävät esimerkiksi huoneisto- ja tilakohtaisiin pienempiin osiin, eli tahtialueisiin. (Kuva 4.) Sitten määritellään tahtivaunut, eli työtehtävät ja niiden kestot kullakin tahtialueella. Yhden tahtialueen peräkkäiset tahtivaunut muodostavat yhden tahtijunan. Tahtivaunut seuraavat välittömästi toisiaan, toisin kuin perinteisissä aikataulumuodoissa tehtävien varaan jätetään häiriöpuskureita, joten työmaalla on useita työkohteita, joissa ei tapahdu mitään. Näin muodostuvaa aikataulua kutsutaan tahtiaikatauluksi.



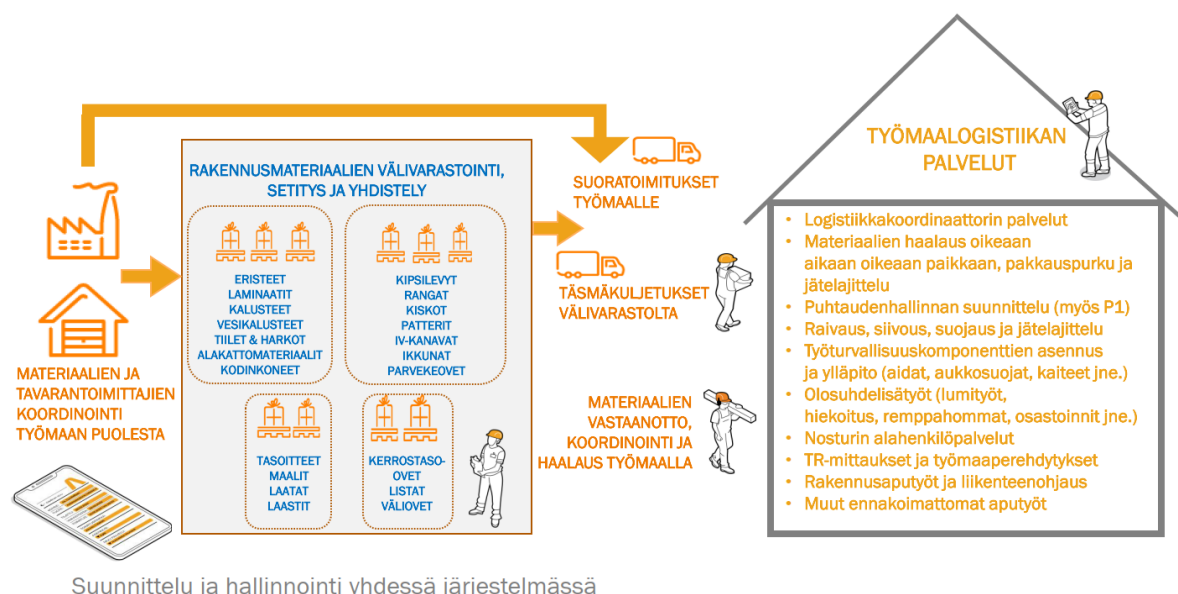
KUVA 4. Esimerkki logistisesta tahtiaikataulusta Evianet NPL järjestelmästä (Evianet Solutions Oy, 2022).

Tahtituotantokohteet ovat alkaneet yleistymään maailmalla sekä Suomessa edeten yrityksittäin case-kohteista, joiden jälkeen jatkuvan parantamisen mallilla toimintamalleja on pyritty monistamaan seuraavissa hankkeissa. Yksi yleisimmin toistuneista ongelmista näissä kohteissa on tapaustutkimusten perusteella ollut logistiikan toimimattomuus tahtituotannon edellyttämällä tavalla (Lehtovaara;ym., 2019).

## 2.6 Rakennuslogistiikkayritysten palvelut nykyisin

Rakennuslogistiikka on kasvava ja tällä hetkellä rakennusalan kehityksen vanavedessä nopeasti kehittyvä toimiala. Rakennusala on viimeisiä suuria teollisuudenaloja, jossa tuotannon materiaalivirtoja hallitaan vielä näinkin laajasti ilman huolinta-alan toimijoiden logistiikkapalveluja kuten keskusvarastoja, jotka ovat olleet keskeisessä asemassa kaupan- ja teollisuudenalan tuottavuusloikassa (Lundesjo, 2015 ss. 1-4). Rakennusala toimii siis vielä pääsääntöisesti kuin päivittäiskaupat ennen vanhaan, eli ”hyllyjä” täydennetään tavarantoimittaja kerrallaan, mikä tarkoittaa suuria päivittäisiä määriä pieniä kuormia.

Suomessa rakennusosalalla toimii nykyisin noin kymmenkunta puhtaasti rakennuslogistiikan toimijaa, joista pääosa tuottaa rakennusosalalle erilaisia logistiikan osaratkaisuja ja arviolta noin puolet näistä kokonaisvaltaisista logistiikan ratkaisuja. Logistiikan kokonaisratkaisut (ks. kuva 5) käsittävät työmaan logistiikan hallinnan välivarastoinnista, kuljetuksiin ja työmaan sisäänkannoista muihin työmaalogistiikan palveluihin, logistiikan suunnitteluun, koordinointiin ja työnjohtoon logistiikkajärjestelmällä ohjaten. Myös työmaalla tai sen läheisyydessä voi olla logistiikkaurakoitsijan hallinnoima pop-up-varasto.



KUVA 5. Esimerkki rakennuslogistiikan kokonaisratkaisusta (Lappalainen;ym., 2023, CC BY-NC)

Rakennuslogistiikkatoimijoille muita lähes synonyymejä asiayhteyden mukaan on logistiikkaoperaattori tai logistiikkaurakoitsija. Ajoitetuista kuljetuksista käytetään myös termiä täsmätoimitukset tai täsmäkuljetukset ja niiden englanninkielinen termi on Just-In-Time (JIT). Välivarastoista puhutaan myös logistiikkakeskuksina tai terminaaleina (kuvat 6 ja 7). Työmaalla tapahtuvista tavaroiden siirroista puhutaan haalauksina tai sisäänkantoina.



KUVA 6. Välivarasto/terminaalia pihalta. (Lappalainen, 2022, CC BY-NC)



KUVA 7. Välivaraston massa-/lattiapaikat sopivat hyvin rakennusmateriaalien välivarastointiin. (Lappalainen, 2022, CC BY-NC)

Välivarastolle tavarantoimittajien on nopeaa purkaa kuorma lastauslaitureiden ja tehokkaan purkukaluston ansiosta. Välivarastolla tuotteet ovat tyypillisesti yhdestä viikosta kuukauteen, kunnes ne joko alkuperäisen suunnitelman mukaan toimitetaan työmaalle haluttuina toimituserinä tai työmaan erillisenä kotiinkutsuna, mikäli työmaan aikatauluun tulee esimerkiksi muutos. Työmaalla logistiikkaurakoitsija huolehtii tarvittaessa kuorman purusta ja sisäänkannoista tai urakoitsija voi myös nostaa säältä suojassa olleet rakennusmateriaalit suoraan kuorman päältä torninosturilla rakennuksen holville, kun kuormatilassa on aukeava katto.

### 3 TULEVAISUUDEN ENNAKOINTI JA RAKENTAMISEN LOGISTIIKKA

Tässä luvussa käsitellään teoriapohjalta teknologiakehityksen mahdollisuuksia rakentamisen logistialle. Tulevaisuuden ennakoimista varten tarvitaan tutkittua tietoa tulevaisuuden toimintaympäristöistä, jota tässä työssä analysoidaan rakennuslogistiikan näkökulmasta Sitran megatrenditutkimuksen (Dufva;ym., 2023), Eduskunnan Tulevaisuusvaliokunnan julkaisun ”Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018–2037” (Linturi;ym., 2018), sekä Etlan Digibarometrin (Mattila;ym., 2022) pohjalta.

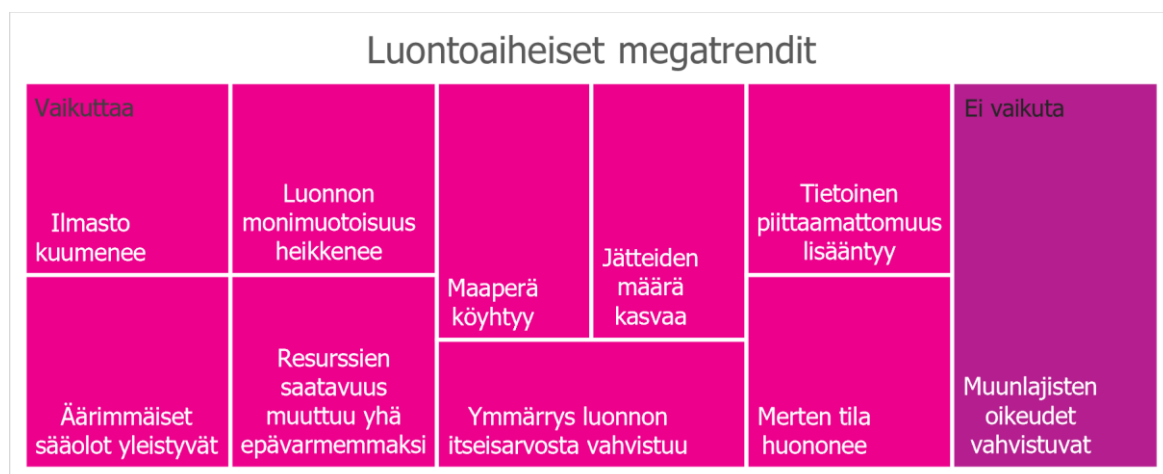
Näiden kansallisten tutkimusten tutkimusryhmät tekevät yhteistyötä kansainvälisten toimijoiden kanssa, joten isot kuvat trendeissä ovat kansainvälisestikin saman suuntaisia. Myös rakentamisen kehityksessä ja suuntauksissa Suomi kulkee kansainvälisen kehityksen polkua etujoukoissa muun muassa Lean-filosofia, kestävä kehitys, digitalisaatio ja tietomallintaminen edellä tarkasti kansainvälistä tutkimusta seuraten, joten suuria eroja tulevaisuuden näkymissä kansainväliseen tulevaisuustutkimukseen ei pitäisi olla näkyvissä.

#### 3.1 Megatrendit ja rakentamisen logistiikka

Megatrendeilla pyritään kuvaamaan pitkälle tulevaisuuteen suuresti vaikuttavien muutosten muodostama kokonaiskuva, jotta tulevaisuuden näkymät selkeytyisivät. Megatrendilistauksia tehdään erilaisista näkökulmista, kuten maailmanlaajuiset megatrendit ja megatrendit Suomen näkökulmasta. Suomessa Sitra on julkaissut trendilistauksia vuodesta 2011 lähtien. Listaukset perustuvat useisiin lähteisiin, kuten kansainvälisiin ja kansallisiin tilastoihin, tutkimuksiin, asiantuntijalausuntoihin, joista on pyritty kokoamaan tulkintoja tulevaisuuden kehityssuunnista.

Seuraavaksi tässä työssä tutkitaan Sitran vuoden 2023 megatrendikatsauksen tulevaisuuden muutoksien vaikutusta rakentamisen logistiikkaan ja pyritään löytämään niiden myötä avautuvia mahdollisuuksia. Tavoitteena löytää rakentamisen ja logistiikan toimialojen yhteisiä megatrendien mukaisia painotuksia tulevaisuuden strategioissa huomioitavaksi. Sitran listauksessa trendit jakautuvat viiden keskeisen teeman alle, joita ovat luonto, ihmiset, talous, teknologia ja valta (Dufva;ym., 2023).

Luontoteeman megatrendien (kuva 8) muutosvoimana nähdään luonnon kantokyvyn mureneminen ja tulevaisuuden mahdollisuutena tälle toimii ekologinen jälleenrakennus.



KUVA 8. Megatrendikortteja 2023 mukailten rakennuslogistiikkaan vaikuttavat luontoaiheiset megatrendit (Dufva;ym., 2023).

Yhtä lukuun ottamatta kaikilla luontoon liittyvillä megatrendeillä on yhtymäkohtia rakentamisen logistiikkaan, joten ympäristöystävällisyysysteemalla on merkittävä vaikutus, kun tehdään päätöksiä tulevaisuuden rakentamisen logistiikkaan liittyen. Poliittinen sääntely biodiversiteetin huomioimiseksi sekä luontokadon hillitsemiseksi tulee lisääntymään ja muuttamaan toimintaympäristöä (Virve Viertiö, 2022). Tästä näkyvä ja tuntuva esimerkki on YK:n Agenda 2030:n tavoitteet, jotka ohjaavat tämän teeman kehitystä nyt kiihtyvään tahtiin muun muassa vihreän siirtymän muodossa.

Logistiikalla voidaan vaikuttaa materiaalien kuljetusten kautta liikenteestä aiheutuviin päästöihin. Materiaalihukkaa tarkemman toimitusketjun suunnittelun avulla, säästään raaka-aineiden sekä jätteen määrän osalta luontoa. Suunnittelemalla logistiikkaa huolellisesti tulee siis ottaneeksi luontoaiheiset megatrendit kattavan vastuullisesti huomioon. Näillä perusteilla logistiikkaan panostamalla voi nähdä selkeän yhteyden luontoaiheisiin megatrendeihin vastaamiseen.

Ihmisteeman megatrendit (kuva 9) ajavat ihmiskunnan hyvinvoinnin haasteiden kasvuun, mutta mahdollisuutena tälle kehitykselle nähdään myös kokonaisvaltainen hyvinvointi, kun muut teemat saadaan tukemaan näiden megatrendien kehitystä. Tällöin taloutta nostaa hyvinvoinnin näkeminen investointina, luontoa jälleenrakentaa kestävät elämäntavat ja valtateeman osalta löydetään uusia vaikuttamisen tapoja, jotka estävät luottamuksen rapautumista demokratiaan ja päätöksentekoon.

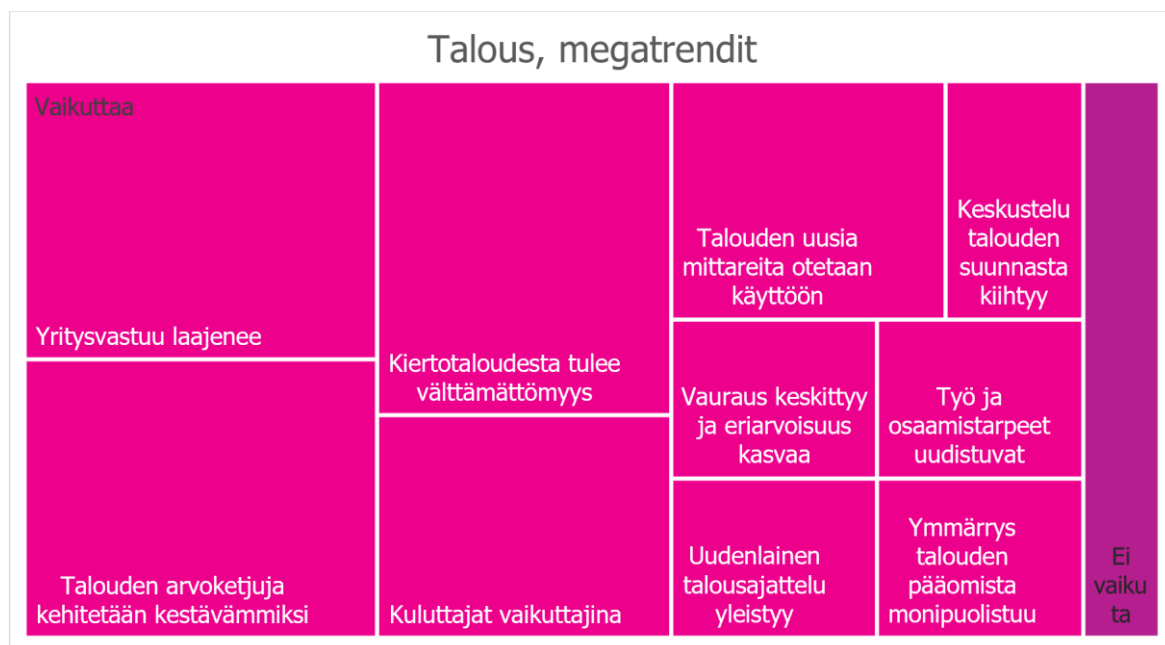
Ihmiset, megatrendit				
Vaikuttaa	Huoltosuhteen heikkeneminen	Pandemiat ja epidemiat yleistyvät	Mielenterveysongelmat lisääntyvät	Ei vaikuta
	Väestö keskittyy kasvukeskuksiin ja kaupungistuminen jatkuu	Terveyteen liittyvät ajattelumallit muuttuvat	Jatkuva osaamisen kehittäminen korostuu	
	Eliniät pitenevät ja väestö vanhenee	Globaalit muuttoliikkeet lisääntyvät	Työelämän kohtaanto-ongelmat lisääntyvät	
Etä- ja hybridityö muuttaa työmarkkinoita	Hyvinvointikäsitys laajenee			

KUVA 9. Megatrendikortteja 2023 mukailten rakennuslogistiikkaan vaikuttavat ihmisaiheiset megatrendit (Dufva;ym., 2023).

Tässä teemassa ei ole yhtään trendiä, jonka ei voisi katsoa vaikuttavan rakentamisen logistiikkaan. Vaikuttavuudeltaan suurimmiksi megatrendeiksi on valittu väestön keskittymisen ja kaupungistumisen jatkuminen, koska se enteilee rakentamisen volyymien pysyvän jatkossakin korkeana ja kaupunkien tiivistyessä myös logistiikan vaatimustaso nousee ahtaiden rakennuspaikkojen ja yhä korkeampien rakennusten johdosta. Etä- ja hybridityön myötä materiaalivirtojen digitaalinen seurattavuus ja tilannekuva tulevat yhä tärkeämpään asemaan.

Terveysteen liittyvät megatrendit puolestaan tarkoittavat rakentamisen logistiikan osalta muun muassa toimitusvarmuuteen ja kilpailukykyyn panostamista sekä yritysten ponnisteluja työturvallisuuden ja henkilöstön hyvinvoinnin eteen. Jälkimmäisiä tekijöitä voidaan logistiikan resurssien avulla edesauttaa vähentämällä rakentajien kuormaa ja pandemiatilanteessa logistiikalla taataan toimitusketjun säilyminen varastotasojen nostamalla (Traficom, 2021). Rakentamisen logistiikalla voidaan siis nähdä vahva rooli tämänkin megatrenditeeman toteuttamisessa.

Talouden megatrendien (kuva 10) mukaan talouden perusta tulee rakoilemaan muun muassa ylikulutuksen takia, mutta korjaava ja uusintava talous on toisaalta tämän haitallisen kehityssuunnan yksi positiivinen mahdollisuus.

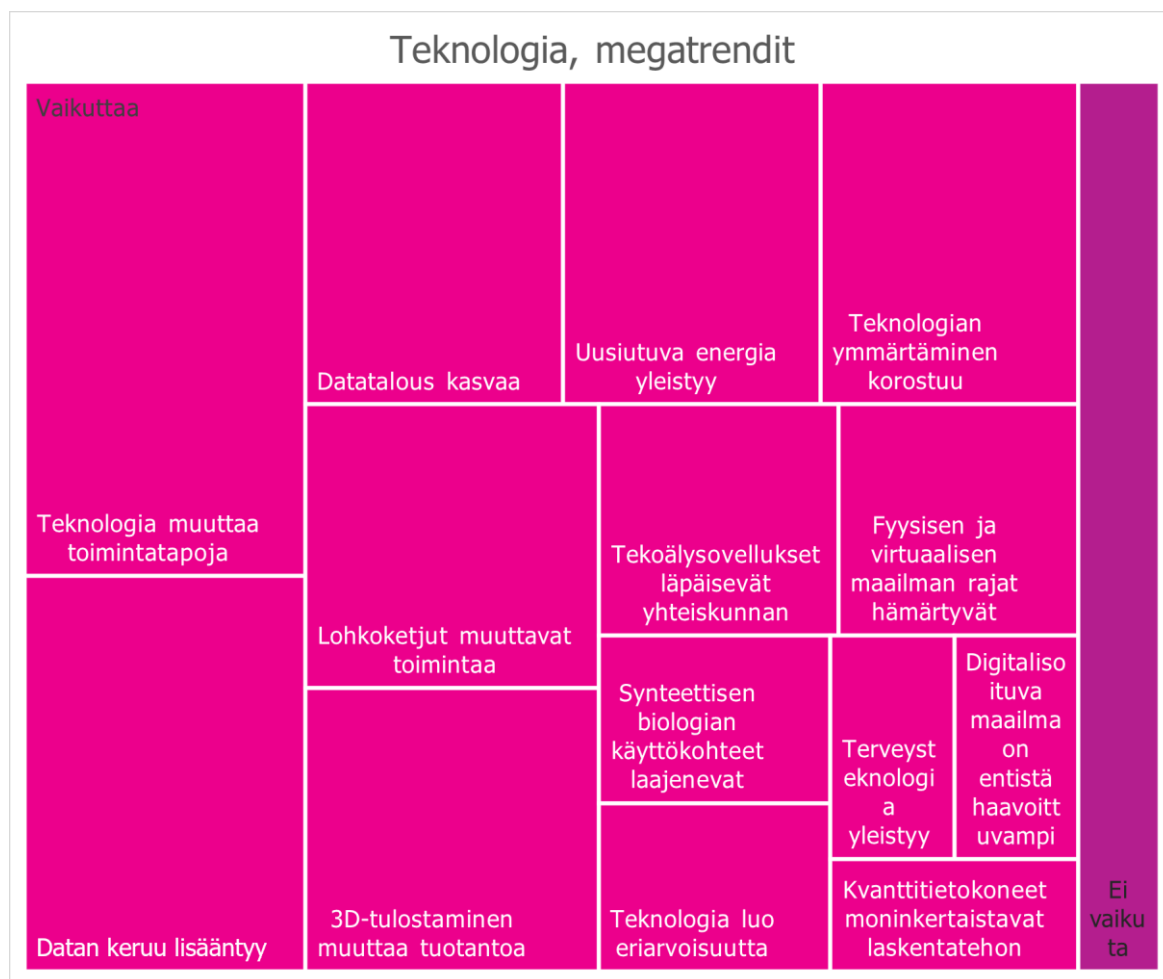


KUVA 10. Megatrendikortteja 2023 mukailien rakennuslogistiikkaan vaikuttavat talousaiheiset megatrendit (Dufva;ym., 2023).

Talouden megatrendeistä kaikki listatut vaikuttavat myös rakentamisen logistiikkaan. Suuressa kuvassa yksiselitteisesti kilpailukykyyn säilyttämisen takia, koska logistiikalla lähtökohtaisesti varmistetaan ja tehostetaan toimitusketjua, mutta kuluttajilta rakennusalan yritysten liikevaihto lopulta tulee, joten kuluttajien ostoskäyttäytymiseen tulee pystyä vastaamaan.

Logistiikalla on suuri rooli myös rakentamisen kiertotalouden kehittämisessä. Samaan aikaan yritysvastuun laajenemisen sekä talouden arvoketjujen vahvistamisen tarpeet tulevat olemaan tärkeitä, joten tässä on mahdollisuus kasvattaa vastuullisten logistiikka-alan toimijoiden markkinaosuutta rakentamisen logistiikasta. Aiemmin työmailta lähtevät materiaalit olivat lähinnä jätettä, mutta niiden jalostaminen ja varastoiminen uusiokäyttöön ovat mahdollisuus, johon logistiikkaurakoitsijoiden palveluita voidaan soveltaa. Mahdollisia talouden uusia mittareita varten logistiikkaa tarvitaan tuottamaan dataa esimerkiksi materiaalivirroista, joten taloudenkin megatrendit puoltavat vahvasti logistiikan huomioimista tulevaisuuden strategioissa rakennusosalalla.

Teknologian megatrendien (kuva 11) muutos kuvailee kiihtyvää kilpailua digivallasta. Mahdollisuutena tässä muutoksessa on luoda reilu digimaailma ja digivihreä siirtymä.



KUVA 11. Megatrendikortteja 2023 mukailien rakennuslogistiikkaan vaikuttavat teknologia-aiheiset megatrendit (Dufva;ym., 2023).

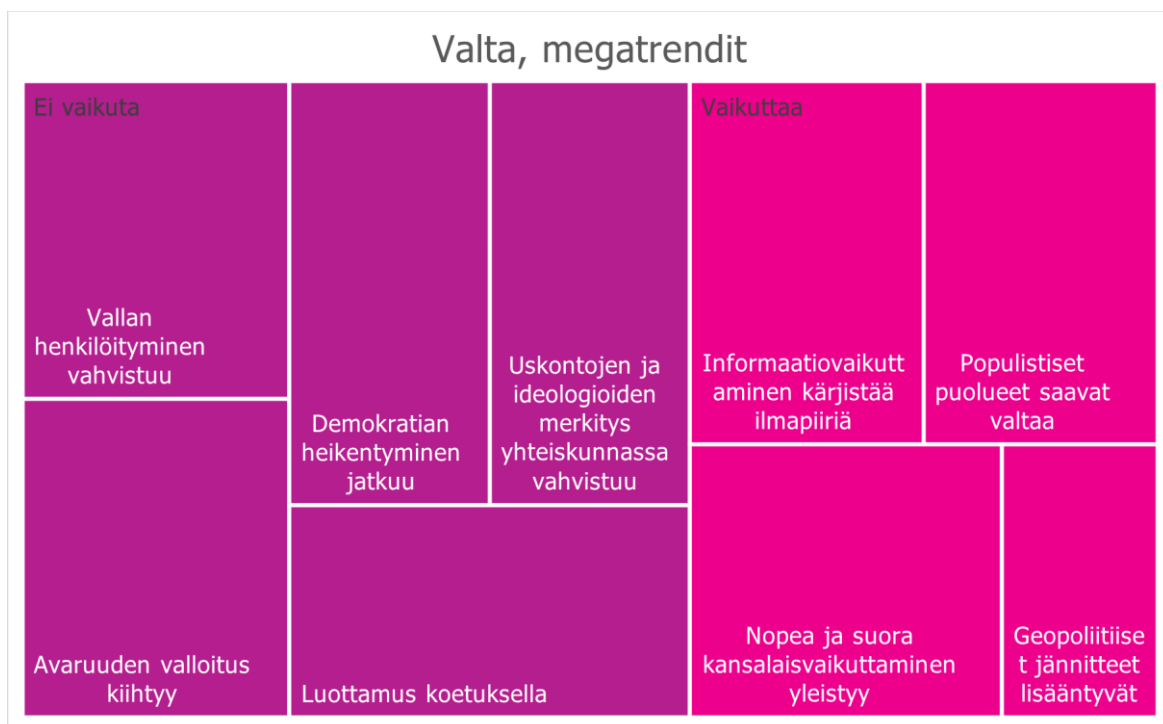
Teknologian megatrendeistäkään ei löydy aihetta, joka ei rakentamisen logistiikkaan vaikuta. Työmaiden logistiikan materiaalivirrasta on mahdollista saada aiemmin puuttunutta dataa tukemaan muita rakentamisen prosesseja ja esimerkiksi hiilijalanjäljen laskentaa. Jopa 3D-tulostaminen kolkuttelee alaa potentiaalillaan ja siinäkin materiaalien varastointi sekä oikea-aikainen toimittaminen työkohteelle on logistiikkaa.

Teknologiakehityksessä tapahtuu nyt laajalla rintamalla, mutta mahdollisuuksien lisäksi ne aiheuttavat varsinkin rakennusalalla myös haasteita prosessien muuttuessa digitalisaation myötä tietoteknisien järjestelmien varaan muuttaen vanhoja toimintatapoja nopeasti, eikä viimeisen vuosikymmenen aikana muutenkin osaajapulasta kärsinyt ala ole pystynyt kouluttamaan ennen digiaikaa oppinsa saaneita varttuneempia ammattilaisiaan mairittelevalla menestyksellä digitaalisten työympäristöjen vaatimuksiin, joten teknologian käyttöönotto on viivästynyt (Mattila;ym., 2022).

Rakentamisen logistiikan osalta haaste ja samalla myös mahdollisuus on se, että rakennusalalla logistiikan kehittyneemmät tulevaisuuden prosessit ovat vielä alkutekijöissään. Ala tarvitsee nyt ensin systemaattisen toimivan toimintamallin logistiikan ja rakentamisen prosessin yhdistämiseksi

(Peltokorpi;ym., 2019). Teknologia ja järjestelmät ovat jo riittävän kyvykkäitä tuottamaan palvelut rakentamisen logistiikkaan, kun vain rakennusala on valmis omaksumaan logistiikan osaksi kehityskulkuun.

Valta-teemaisten megatrendien (kuva 12) muutoksessa demokratia on koetuksella, joten mahdollisuudet kehityssuunnan korjaamiseksi on luoda vahvaa luottamusta ja osallisuutta uusilla vaikuttamisen tavoilla.



KUVA 12. Megatrendikortteja 2023 mukailien rakennuslogistiikkaan vaikuttavat teknologia-aiheiset megatrendit (Dufva;ym., 2023).

Tämän teeman megatrendit näyttäisivät vaikuttavan kaikista vähiten rakentamisen logistiikkaan suoraan, mutta epäsuorat vaikutukset voivat olla merkittäviäkin. Yhtymäkohtia epäsuoraan löytyy esimerkiksi vallan henkilöitymisen megatrendistä, joka voisi rakentamisen logistiikan osalta realisoitua joko merkittävään poliittiseen tai rakennusalanalla päättävään asemaan päätyneen henkilön henkilökohtaisen näkemyksen tai ideologian seurauksena muutoksiin alan lainsäädännössä, sääöksissä tai muutoin toimintaympäristössä.

Yhtä lailla edellisen esimerkin kanssa voisi vaikuttaa epäsuoraan tulevaisuuden kehityskulkuun muuttamalla kansainvälisesti tai kansallisesti demokratian heikentyminen, ideologioiden merkityksen vahvistuminen yhteiskunnassa ja demokratian luottamuksen katoaminen. Avaruuden valloitus on käsitteenä tämän työn kontekstissa kaukainen, mutta siinäkin tarvitaan rakentamisen logistiikkaa, kun avaruuteen rakennetaan ja teknologian kehitystä se voi logistiikankin saralla kiihdyttää entisestään.

Vallan megatrendit ovat muihin teemoihin nähden monin tavoin huolestuttavia muutoin lupaavan tulevaisuuden kehityksen kanssa. Tämän kategorian megatrendeilla on kenties suurin potentiaali toimia tulevaisuustutkimuksen mukaisia kulkuja muuttavina villoina kortteina, joten ennustettavien

tapa vaikuttaa positiivisen kehityksen tiellä pysymiseen on keskittyä strategioissa megatrendien teemoihin liittyvien mahdollisuuksien toteuttamiseen. Valtateeman osalta nykyisten valtarakenteiden luottamuksen lujittamiseen ja reilun ja sivistyneen digimaailmaan luomiseen.

### 3.2 Vihreä siirtymä ja digivihreä siirtymä

Vihreä- ja digivihreä siirtymä on näkyvä ja konkreettinen toimenpide luonto- ja teknologiateemaisten megatrendien yhteensovituksessa. Siksi se tulee ottaa ehdottomasti huomioon tulevaisuuden ennakkoinnissa ja strategiatyössä rakennusosalalla. Vihreällä siirtymällä tarkoitetaan fossiilisista energiamuodoista siirtymistä vihreisiin energiamuotoihin (Mattila;ym., 2022) ja digivihreällä siirtymällä muutosta digitaalisiin teknologioihin, jotka auttavat ja tehostavat vihreän siirtymän etenemistä.

Logistiikalla puolestaan on selkeä osa vihreässä siirtymässä, koska siinä on tärkeää materiaalien, komponenttien, tuotteiden ja datan resurssitehokkuus sekä pitkäaikais- ja uusikäyttö. Siksi tuotteiden kuin palveluidenkin, kuten rakentamisen logistiikan palveluiden, suunnittelussa on huomioitava laajempi systeeminen kokonaisuus, jotta vihreän siirtymän tavoitteisiin päästään (Bals;ym., 2022). Tämä voisi tarkoittaa rakennusalan yhteisiä logistisia toimintamalleja nykyisten siiloutuneiden yritys- ja työmaakohtaisten ratkaisujen sijasta.

Digivihreän siirtymän digitaalisia teknologioita rakentamisen logistiikan osalta edustavat muun muassa logistiikanhallintajärjestelmät ja niihin kuuluvat varastonhallintaominaisuudet. Muita digivihreän siirtymän edistämiseen sovellettavia teknologian sovelluksia ovat muun muassa verkkokaupan, teollisen esineiden internetin, pilvipalveluiden, data-analytiikan, koneoppimisen, konenäön, 3D-tulostuksen ja laajennetun todellisuuden ratkaisut, jotka tyypillisesti vaativat räätälöintiä rakennusosalalle (Mattila;ym., 2022). Logistiikkajärjestelmien ja rakennusliikkeiden tuotannonohjausjärjestelmien osien, kuten esimerkiksi hankinta- ja aikatauluohjelmien sekä rakennushankkeiden tietomallien tiedonsiirron rajapinnat ovat systeemistä muutosta auttavia digivihreän siirtymän käynnissä olevia selkeitä mahdollisuuksia.

### 3.3 Tulevaisuustutkimuksen tunnistamat mahdollisuudet rakentamisen logistiikkaan

Eduskunnan Tulevaisuusvaliokunnan julkaisusta ”Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018–2037 - Yhteiskunnan toimintamallit uudistava radikaali teknologia” (Linturi;ym., 2018) löytyy tutkittua tietoa teknologisen kehityksen konkreettisista sovelluksista seulottavaksi ja rakentamisen logistiikkaan sovellettavaksi. Tutkimuksessa on käytetty valiokunnan kehittämää teknologian ennakkointimenetelmää, Nelitasomallia, jossa on ensin joukkoistuksen avulla valittu 1600 teknologian kehitykseen liittyvää havaintoa ja sitten muodostettu niistä sata teknologiakoria, jotka on arvioitu ennakkoidun geneerisen vaikuttavuuden sekä kehitysnopeuden mukaiseen järjestykseen Linturin raportin liitteeseen 4: ”Geneerisyystaulukko” sekä liitteeseen 5: ”Kehitysnopeus”. Seuraaviin alalukuihin on valittu edellä mainituista taulukoista rakentamisen logistiikan kehitysmahdollisuuksiin yhdistettäviä teknologiakoreja (taulukko 1:n lihavoidut rivit) tarkasteltavaksi järjestysnumeroittain tulevaisuuden mahdollisuuksien osalta.

TAULUKKO 1. Top 24 teknologiakorit lisättyinä muilla valituilla koreilla (mukailen Linturi;ym., 2018 ss. 18-19 ja 430-435)

Järjestyks	Teknologiakori	Geneerisyysluku	Kehitysnopeus
1	Neuroverkot ja syväoppiminen	3820	13,8
2	AI:n tekemä globaali työ	3021	12
<b>3</b>	<b>Robottiauto henkilö- ja tavaraliikenteessä</b>	<b>2010</b>	<b>5,4</b>
4	Materiaalitutka – hyperspektrikamera	1854	3,7
5	Laskentatehon radikaali kasvu	1760	1,7
<b>6</b>	<b>Ubiikki ympäristö ja tavaroiden internet</b>	<b>1666</b>	<b>4,3</b>
7	Kasvojen ja emootioiden tunnistus sekä projisointi	1598	3,1
8	Puheentunnistus, puhesynteesi ja tulkkauk	1581	6,4
9	Assosiativiset muistit ja hermoverkkoprosessit	1455	4,7
<b>10</b>	<b>Kaupallisen alustatyön välittäminen</b>	<b>1455</b>	<b>2,9</b>
11	Ajatusten luku ja muokkaus suoraan aivoista	1445	3,4
12	Verbot/chatbot - keskustelevat ja kirjalliset robotit	1328	10
<b>13</b>	<b>VR-lasit ja lisätty todellisuus todellisuus</b>	<b>1326</b>	<b>6</b>
14	M2M-kauppa ja muu verkkokauppa	1296	5,2
<b>15</b>	<b>Aurinkosähkön nopea kehitys</b>	<b>1266</b>	<b>4,2</b>
16	Kuluttajahintaiset kehon analysointorit	1260	2,6
17	Fyysinen etiäistyö ja AI:n johtama työ	1245	4,8
18	Kuvantaminen ja paikannus	1209	5,1
<b>19</b>	<b>Ympäristön reaaliaikainen 3D-hahmotus</b>	<b>1170</b>	<b>4,8</b>
20	Hahmontunnistusalustat ja muut AI-alustat	1095	3,6
21	Globaali langaton laajakaista	1080	7,2
<b>22</b>	<b>Tavaroiden 3D-tulostus</b>	<b>1072</b>	<b>3,5</b>
<b>23</b>	<b>Älylasit, AR-lasit ja laajennettu todellisuus</b>	<b>1050</b>	<b>1,2</b>
24	Uudet robotisoidut palvelut	1050	6
...	...	...	...
<b>32</b>	<b>Kävelevä robotti ja kävelyavustajat</b>	<b>858</b>	<b>3,4</b>
...	...	...	...
<b>36</b>	<b>Nelikopterit ja muut lentävät dronet</b>	<b>793</b>	<b>5,4</b>
...	...	...	...
<b>72</b>	<b>Rakennusten ja rakenteiden 3D-tulostus</b>	<b>290</b>	<b>2,2</b>
...	...	...	...

Linturin tutkimuksessa on käytetty omaa geneerisen luvun laskentakaavaa (Linturi;ym., 2018 s. 422), jolla on päästy taulukko 1:n arvoihin. Suuri geneerinen vaikuttavuusluku enteilee teknologiakorin potentiaalia sen kehityksen läpilyöntiin ja vaikutuksiin maailmalla teknologian kehitykseen. Kehitysnopeus on saatu laskentakaavalla vertailemalla teknologioiden kehitystä vuonna 2013 tehtyyn raporttiin. Kehitysnopeuden vaihteluväli on nopeimmin kehittyvästä teknologiakorista hitaimpaan 13,8 – (-3,3).

### 3.3.1 Robottiauto henkilö- ja tavaraliikenteessä.

Robottiautojen yleistymisen henkilö- ja tavaraliikenteessä mullistaisi vahvasti myös logistiikkamarkkinaa. Tämän trendin toteutuminen skenaarioksi, jossa vuonna 2030–2035 tavaraliikennettä ajetaan robottiautoilla, näyttää päivä päivältä vahvemmalta, kuten aiheen korkea geneerisyyslukukin Linturin

ja Kuusen tulevaisuusraportin tutkimusten mukaan osoittaa. Tässä skenaariossa asiakkaiden nähdään suosivan ympäristöystävällisiä kuljetuspalveluita viitaten mm. Sitran megatrendikorttien 2023 ennakoimaan kuluttajien ympäristötietouden lisääntymiseen (Dufva;ym., 2023), joten yrityksen tulisi oman ympäristövastuullisuuden lisäksi ennakoida asiakaskäyttäytymisen muutokseen kuljetusten ympäristöystävällisyyden vaikuttaessa ostopäätökseen. Tämä teknologia edesauttaa vihreää siirtymää.

### 3.3.2 Ubiikki ympäristö ja tavaroiden internet.

Avataan tämän teknologiakorin trendien nimien takana olevaa käsitteistöä, jotta sen osuminen kontekstiin on helpompi ymmärtää:

Ubiikki-sana kuvaa sellaista ympäristöä, joka tietoteknisin keinoin automaattisesti sopeutuu meidän tarpeisiimme.

IoT ja tavaroiden internet ovat yllä kuvatun asian internet-sidonnaisia käsitteitä. Näihin teknologioihin kuuluvat vuorovaikutteisella tavalla älykkäät tilat ja tavarat sekä sellaiset palvelut, jotka hoitavat älykkään yksilöllisellä tavalla vuorovaikutuksen sellaisen tavarahan puolesta, jonka identiteetti on tiedossa. Tällaisia tavaroita voi pitää virtuaalisesti älykkäinä, vaikka niissä itsessään ei varsinaista älyä tai tietoliikennekykyä olisi (Linturi;ym., 2018 s. 281).

Trendin kehityksen eteneminen mahdollistaa rakennuslogistiikan näkökulmasta varsinkin tiedonkulun haasteiden ratkaisussa. Tavaroiden yksilöllinen identiteetti mahdollistaa suunnitelmavaiheen tietomallista materiaalien laskennan, tilauksen, olosuhdetiedon sekä logistiikan datan kertymisen reaaliaikaisesti ja tuoteluennan avulla automatisoidusti takaisin tietomalliin. Tietomallista saatavaa dataa voidaan myös yksilöidä eri yritysten tai toimialojen tarpeiden mukaiseen muotoon, jolloin se auttaa hankkeen kustannustiedon arvioinnissa ja toteumatiedon raportoinnissa.

Rakennushankkeiden tilaajat, pääurakoitsijat, suunnittelijat, isännöitsijät ja loppukäyttäjät, eli asukkaat tai yritykset, työnantajat sekä työntekijät odottavat jo nyt enenevässä määrin ratkaisuja, jotka tarjoaisivat mahdollisimman laajan rakentamisvaiheessa tuotetun tiedon virtaamisen suunnitteluvaiheen tietomallisuunnitelmista aina kohteen valmistumiseen ja ylläpitoon saakka. Tämä tehostaisi elinkaaren aikaista käyttöä, huoltoa ja kunnossapitoa. Kaikki rakentamisen osapuolet hyötyisivät tärkeiden tuote- ja takuutietojen ynnä muiden tämän kaltaisen nykyisin manuaalisesti tehtynä aikaa vieviltä, runsaasti selvitys- ja kirjaamistyötä vaativilta tehtäviltä.

Rakennusurakoitsija saisi jo rakennusvaiheessa tarkempaa hankintatietoa ja heidän aliurakoitsijansa yksilöidympiä tarjouspyyntöjä. Tarkemmat tilaustiedot vähentäisivät materiaali sekä työhukkaa. Rakennuksen tuotteiden ja materiaalien hankintatietojen muuttuessa tai tiedon tarkentuessa tieto päätyisi käytännön tasolta samalla kertaa myös kohteen tietomalliin ilman, että jonkun täytyy erikseen se manuaalisesti sinne päivittää. Yksinkertaisesti ubiikki ympäristö ja tavaroiden internet voisi tehostaa merkittävästi tiedonsiirron automatisaation avulla rakennushankkeiden osapuolten tekemistä, poistaa hukkaa sekä säästää nykyisin ihmistyövoimana tehtäviä selvitystöitä.

### 3.3.3 Kaupallisen alustatyön välittäminen

Tämän rakentamisen logistiikkaa koskevan trendin skenaario on, että työn rakenteet muuttuvat alustatalouden ja uusien organisaatiomallien myötä (Dufva;ym., 2023). Erilaiset työntarjoamisen

palvelualustat sekä välitysfoorumit ovat lisääntyneet sekä yleistyneet viime vuosina vahvasti ja mikäli trendi jatkuu samanlaisena, niin yksi skenaarion piirteistä on, etteivät työntekijät enää välttämättä painota uravalinnoissaan nykyisiä työnantajien tarjoamia töitä vaan tekevät mieluummin työtä näiden alustojen kautta. Tähän trendikoriin kuuluu myös työn tekemisen ajankohdan joustavammat mahdollisuudet työntekijälle.

Rakentamisen logistiikalle tämä on toisaalta mahdollisuus, kun työn ei välttämättä tarvitse tapahtua kello seitsemän ja neljän välillä, vaan tavaraliikenne työmaalle ja asennuskohteille voidaan monesti suorittaa myös muina aikoina, jolloin haalausreititkin ovat vapaampia muusta työmaaliikenteestä. Toisaalta tämä on yritys vastuullisuuden ja työn organisoinnin kannalta haastava kehityssuunta, koska yritysten on tällöin hankalampi johtaa ja kehittää toimintaansa, jos työntekijät eivät ole enää yhtä sitoutuneita yrityksen toimintaan kuin aiemmin.

Työvoiman saatavuus on rakentamisen logistiikkaliiketoiminnan osalta varsinkin rakennustuotteiden sisäänkannoissa ja työmaan sisäisissä haalauksissa nykyisin yksi tärkeimmistä palveluiden mahdollistajista. Mitä enemmän sisäänkanto- ja haalautyövoimaa on saatu vuosina 2030–2035 korvattua esimerkiksi siirto- ja kantoroboteilla ja 3D-tulostimilla, sitä pienempi on tämän trendin vaikutus rakennuslogistiikan liiketoimintaan. Työtehtäviä työmaalla on varmasti logistiikan osalta jatkossakin mm. laitteiden asennus-, valvonta- ja huoltotöihin sekä vikatilanteita varten.

#### 3.3.4 Älylasit, AR-lasit ja laajennettu todellisuus sekä VR-lasit ja lisätty todellisuus

Tämän teknologiakorin trendin kehittyminen rakennusalalle tukee vahvasti myös rakennuslogistiikkaa monella tapaa. Teknologian tulee tällöin yhdistyä saumattomasti tässä luvussa esiteltujen ubiikin ympäristön ja tavaroiden internetin sekä ympäristön reaaliaikaisen 3D-hahmotuksen teknologiakorien kehitysaskelien kanssa. Mallinnetun rakennetun ympäristön näkyminen älylaseilla mahdollistaa nopeuttamaan rakennusalalla suunnitelmien lukemista ja edistää niiden hahmottamisen ympäristöön asennustöitä tehdessä sekä rakentamisen etenemisen mukaisen tiedon siirtymisen aikataulusuunnitelmiin.

Rakennuslogistiikassa tämä voisi tarkoittaa myös älylaseilla näkyviä kantoreittejä, tavaroiden jakolistoja ja suunniteltuja tavaroiden jättöpaikkoja määränpäässä. Mahdollisuutena merkittävä tälle trendille on myös tavaroiden tuotetietojen lukeminen ja tarkastelu lasien avulla ja tiedon siirtäminen rakennusliikkeiden järjestelmiin ja rakennuksen tietomalliin.

#### 3.3.5 Aurinkosähkön nopea kehitys

Tämän trendin valinta rakentamisen logistiikkaa koskevaksi liittyy läheisesti kohdan 3.3.1 robottiauto tavaraliikenteessä ja sen ympäristöystävällisyyden sekä kustannustehokkuuden kehittymiseen, koska autojen sähköakkujakin voidaan ladata aurinkosähköllä ja pidentää näin toimintakykyä. Toinen merkityksellinen tekijä on, että tämä mahdollistaa myös varastokiinteistöjen sähköntuotannon aurinkopaneeleilla kustannustehokkaasti ja ympäristöystävällisesti tehden rakennusmateriaalien välivarastoinnista edullisempää. Varastojen katoilla on yleensä paljon aurinkoenergiatuotannolle otollista avointa kattotilaa.

Materiaalien sisälogistiikkaan liittyvissä siirto- ja haalautöissä tulevaisuudessa yleistyvät exoskeleto- nit, dronet ja muut robottilaitteet voivat saada myös lisäenergiaa aurinkosähkön avulla, jolloin niiden akunkeston ja nostokyvyn kapasiteettia saataneen paranneltua. Myös rakennuskannan energiasa- neeraaminen tässä skenaariossa lisääntyä lisäten siten rakennuslogistiikan työkantaa tällä sektorilla.

### 3.3.6 Ympäristön reaaliaikainen 3D-hahmotus

Tämä trendi on kehittymässä rakennusalalla skenaarioon, jossa teknologia mahdollistaa työmaan reaaliaikaisen tilannekuvan päivittämisen, vartiointipalveluiden, olosuhdehallinnan ja työmaavarasto- raportoinnin kehittyvän nopeasti uudelle tasolle. Aiemmin ja pääosin vielä nykyisinkin työmaalta saa riittävän tarkkaa tietoa tilanteista vain käymällä itse paikan päällä tarkastamassa asian. Rakennus- alalle onkin tullut lähivuosina muutamia ”tilannekuvaa ja älypalveluita” tarjoavia toimijoita, jotka tuottavat työmaille reaaliaikaista tilannekuvaa 360-kameroiden, dronejen ja työmaakuvauskierrosten perusteella.

Logistiikan sekä työmaan välistä yhteistoimintaa voidaan tehostaa ja häiriöitä poistaa tarkalla tilan- nekuvalle. Sen avulla voidaan reagoida suunniteltua nopeammin tai myöhemmin vapautuneisiin työ- kohteisiin ja siten saada uutta pelivaraa toimitusaikoihin. Nykyisin logistiikkatoimijoilla ei ole yleensä työmaan tilanteeseen näkymää, eli toimitusajan puskureita ei käytännössä ole.

### 3.3.7 Tavaroiden sekä rakennusten ja rakenteiden 3D-tulostus

Tämän trendin vaikuttavuus olisi tulostamisasteen kehityksen mukaan rakennusalaan sekä rakenta- misen logistiikkaan merkittävä. Skenaario tälle trendille on, että työmaalle tilataan raaka-aineita, joilla syötetään 3D-tulostimia, jotka tulostavat esimerkiksi erilaisia rakennuselementtejä rakennus- paikan vieressä tai valmiita seinä- ja välipohjarakenteita suoraan holvilta. Teknologian puolesta tämä olisi periaatteessa jo mahdollista, mutta alan standardisointiin tämänkaltaisille rakenteille kestänee Suomessa perinteisesti verrattain pitkään, joten rakennusalan byrokratia ja muutosnopeus huomioiden tämän skenaarion toteutuminen voi olla myös näistä teknologiakoreista hitainta.

Kansainvälisen kehityksen mahdolliset läpimurrot kehityksessä voisivat nopeuttaa Suomessakin 3D- tulostamisen yleistymistä työmaille. Hankinta- ja toimitusketjut lyhenisivät merkittävästi (Linturi;ym., 2018 ss. 275-278). Tällöinkin työmaan materiaalilogistiikka säilyisi hyvin entisenlaisena, kannettavan materiaaliin muoto ja valmiusasteen muuttuessa.

### 3.3.8 Kävelevä robotti ja kävelyavustajat

Tämän trendin skenaario on, että tulevaisuudessa käveleviä robotteja voidaan hyödyntää rakennus- materiaalien sisäänkantoihin, haalauksiin ja jakeluun purkupaikalta asennuspaikalle rakennuksen kerrokseen tai tiloihin. Kävelyavustajat ja exoskeleto- nit (ulkoiset tukiranka) helpottamaan käsin teh- tävissä kannoissa sekä kuormauksessa ja lastauksessa. Näillä voidaan parantaa myös työturvalli- suutta raskaassa työssä.

Rakennuslogistiikka on tässä skenaariossa keskeisessä asemassa ja logistiikkajärjestelmiä on luotava hyvissä ajoin sillä ajatuksella, että robottiteknologialle varataan rooli prosesseissa. Tällä trendillä on vaikuttavuutta myös rakennuslogistiikan työmaahenkilöstön määrän tarpeeseen, eli riskienhallinnan kannalta roboteilla voidaan hallita henkilöstön saatavuuden mahdollista riskiä tulevaisuudessa.

### 3.3.9 Nelikopterit ja muut lentävät dronet

Rakentamisen logistiikkaa voidaan tehostaa nelikoptereilla ja lentävillä droneilla muun muassa materiaalien jakelussa ja kohdan 3.3.6 Ympäristön reaaliaikainen 3D-hahmotus mukaisesti työmaan tilannekuvan luomisessa. Tällä teknologialla on kuitenkin rakennusalan ja työmaan toiminnoissa laajalla rintamalla potentiaalia, joten digivihreässä siirtymässä rajapinnat ja toiminnot muiden rakennusalan järjestelmien kanssa tulee pitää kehitystyössä mukana. Logistiikkatehtävien ohella monia korkean paikan teline-, nosturi-, tai erikoisosaamista vaativia kiipeilyjulkisivutöitä, kuten pesu-, maalaus-, ta-soitus- ja rappaustyöt sekä rakennekatselmuksia voidaan työmaalla tehdä droneilla, joten käyttökohteet ovat moninaisia.

#### 4 RAKENNUSTUOTANNON TEHOSTAMISEN MAHDOLLISUUDET LOGISTIIKAN AVULLA NYT

Nykyisten työmaiden logististen käytäntöjen löydösten perusteella sekä tutkimusten valossa tehostamista on varsinkin yhtenäisen logistisen prosessin luomisessa (Peltokorpi;ym., 2019) (Bals;ym., 2022), eli kuten tulevaisuustutkimuksissa todettiin; suunnitteluun ja palveluihin tarvitaan systeemisten kokonaisuuksien huomioimista. Se tehostaa rakennustuotantoa sekä tukee samalla vihreän siirtymän tavoitteita. Tahtituotannon mahdollisimman laaja hyödyntäminen on tällöin oltava selkeä päämäärä, koska tällä prosessilla tehostaminen ja hukan poistaminen on viety toimintamallina mahdollisimman pitkälle.

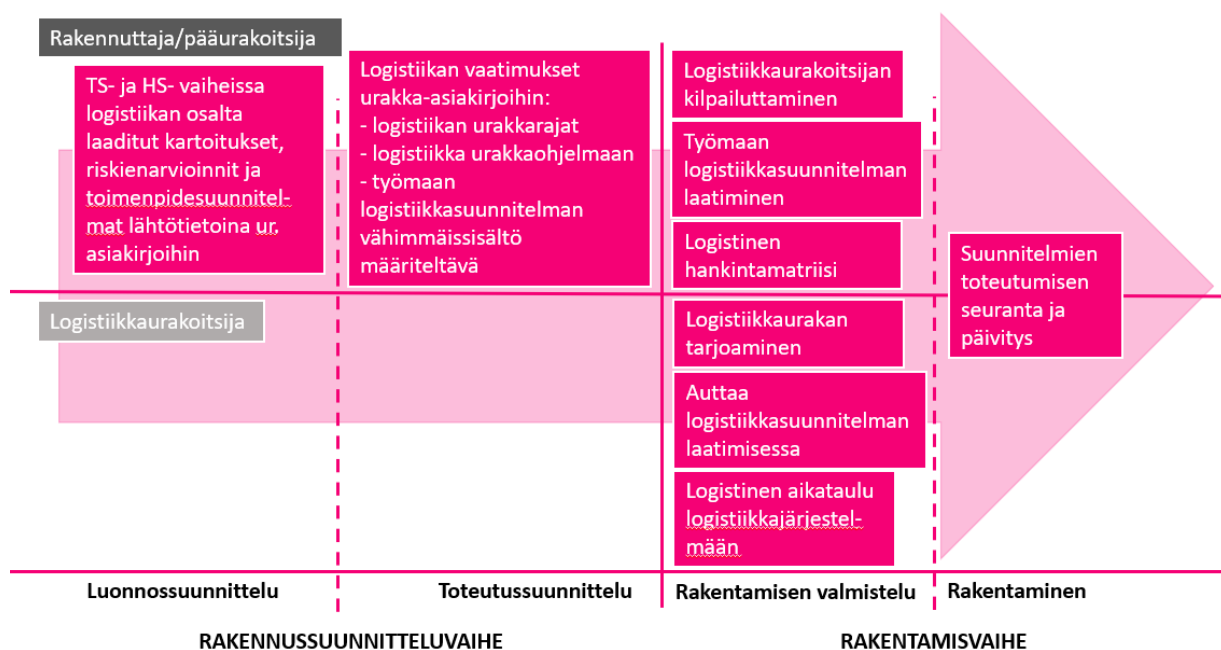
Tahtituotannossa logistiikkatoimijoita tarvitaan tuotannon materiaalivirran tahtien virtauttamisessa (engl. flow) (Tetik;ym., 2019) ja yhteistyötä varten tarvitaan selkeät toimintamallit. Työn tuloksena seuraavissa luvuissa on esitelty työmaan logistiikan suunnitteluun ja materiaalinhallintaan toimintamallit. Lähtökohtana näille toimintamalleille on systeemisen periaatteen mukaisesti, että enää rakentajat eivät omissa silloissaan yritä ratkaista logistiikan prosesseja vaan logistiikkaurakoitsija hoitaa logistiikan ja rakentaja rakentamisen.

Rakennuslogistiikan toimintamallit on jaettu seuraavissa alaluvuissa kolmeen osaan, jotka ovat:

- suunnittelu- ja rakentamisvaiheen logistiikkasuunnitelumalli
- rakentamisvaiheen logistiikan toteutus- ja materiaalinhallintamalli
- tahtituotannon yhteensovittaminen suunnittelun ja materiaalinhallinnan prosesseihin.

##### 4.1 Suunnittelu- ja rakentamisvaiheen logistiikkasuunnitelumalli

Logistiikkasuunnittelun toimintamallissa (kuva 13) lähdetään siitä, että hankkeen rakennuttaja tai pääurakoitsijat ovat yhteydessä logistiikkaurakoitsijaan viimeistään rakentamisen valmistelun alkua. Todetaan kuitenkin, että mitä aiemmin logistiikkaa hankkeessa suunnitellaan, sitä varmemmin vältytään ei toivotuilta yllätyksiltä.



KUVA 13. Suunnittelu- ja rakentamisvaiheen logistiikan suunnitelumalli. (Lappalainen 2023, CC BY)

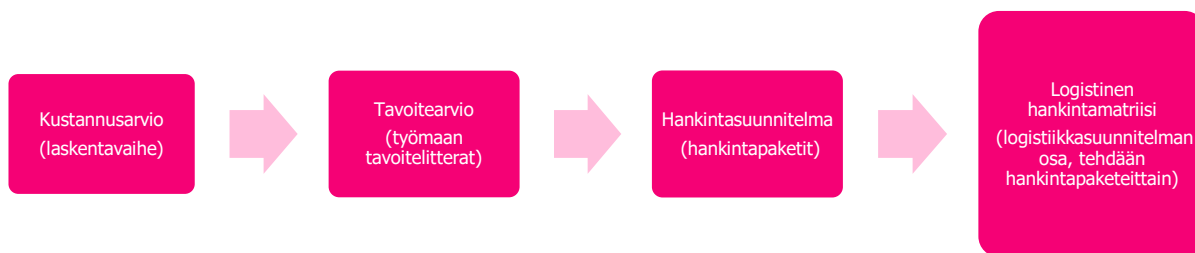
Mikäli jo tarve- ja hankeselvitysvaiheissa tarvitaan logistiikan osalta kartoitusta, riskienarviointia tai toimenpidesuunnitelmia, logistiikkaurakoitsijoilta saa konsultointia ohjaamaan suunnittelua ja tilaajan päätöksiä hankkeen kannalta oikeaan suuntaan jo tässä vaiheessa. Nämä mahdollisesti laaditut dokumentit tulee liittää lähtötiedoiksi hankkeen myöhempisiin logistiikkasuunnitelmiin. Tässä vaiheessa vaikuttaa oleellisesti myös päätös kohteen tietomallintamisesta ja sen tasosta, eli onko se lähinnä visuaalinen malli vai sisältääkö se kaikki suunnittelualueet ja päivitetäänkö sitä toteutumien mukaisesti käyttöönottoon saakka ja siitäkin eteenpäin käytön aikana?

Yksityiskohtaisesta ja huolellisesti tehdystä tietomallista työmaan logistiikkaa voidaan tehostaa täydentämällä tietomallia aikataulutiedoilla saaden aikaan 4D-aikataulun, josta määrä- ja aikataulutiedot ovat puolestaan vietävissä logistiikkajärjestelmään tarkaksi logistiseksi aikatauluiksi. Tällöin logistiikkaurakoitsijat voivat myös antaa määriin perustuvia entistä tarkempia tarjouksia kohteen varastointien, kuljetusten sekä tuotteiden sisäänkantojen hinnoista. Logistiikan mahdollisuudet paikallisten toimijoiden resurssien ja kustannusten osalta voi selvittää pyytämällä logistiikkaurakoitsijoilta hankkeeseen ennakkotarjoukset siitä lähtien, kun on tiedossa kohteen määrät sekä alustava aikataulu.

Rakennussuunnitteluvaiheen toteutussuunnittelussa logistiikan vaatimukset on tärkeää viedä urakka-asiakirjoihin (kuva 13), jotta ne ohjaavat hankkeen logistiikan suunnittelua ja toteutusta siten, että tilaaja pääsee varmennetummin tavoiteltuun lopputulokseen projektin onnistumisen muodossa. Etukäteissuunnittelulla minimoidaan häiriöitä työmaalle. Mikäli rakennuttaja haluaa varmistua työmaan logistiikan vaatimustensa mukaisesta toteutuksesta, voi logistiikan urakkarajat kirjata urakkarajaliitteeseen aivan kuten tavanomaisesti kirjataan muun muassa pääurakoitsijan, LV-, IV, S- ja automaatiourakoitsijoidenkin töiden osalta. Urakkaohjelmassa logistiikka tulisi ottaa huomioon joko omana kappaleenaan tai kertoa työmaan logistisista käytänteistä ja logistiikkasuunnitelman vaatimuksista muiden kappaleiden kuten työn toteutuksen ja yhteistoiminnan tai laatuosion ohessa. Työmaan logistiikkasuunnitelman sisällöstä löytyy kattava valmis esimerkki Lassi Leinosen opinnäytetyöstä ”Rakennushankkeen logistiikkasuunnitelma” (Leinonen, 2014 s. 27).

Viimeistään rakentamisen valmisteluvaiheessa ennen logistiikkasuunnitelman viimeistelyä on aika kilpailuttaa ja valita hankkeeseen logistiikkaurakoitsija. Hinnoiteltavia nimikkeitä on tässä vaiheessa ainakin välivaraston, kuljetusten, työmaan logistiikkatyöntekijöiden ja työmaan nosto- ja siirtokaluston mahdollisen veloitusperusteet. Logistiikkaurakoitsijan valinnan jälkeen viimeistellään yhdessä logistiikkasuunnitelma, johon logistiikkaurakoitsijalla on annettavaa muun muassa työmaan hankintasuunnitelman pohjalta laadittavan logistisen hankintamatriisin osalta (kuva 15), jonka kytkeytyminen työmaan tuotannon- ja hankintojen suunnitteluun on esitetty kuvassa 14.

Tämän jälkeen työmaan työvaihe aikataulun tai tahtiaikataulun perusteella logistiikkaurakoitsija laatii työmaalle logistisen aikataulun, josta selviää työvaiheita varten työmaalle toimitettavien materiaalien toimitusaikataulut. Logistiikkasuunnitelmaan laaditaan yhdessä logistiikkaurakoitsijan avustuksella tavarantoimittajille ja aliurakoitsijoille tarkoitettu työmaan logistiikkaohje, josta selviää työmaan logistiikan tärkeimmät käytännöt. Logistiikkaohjeita voidaan laatia työvaiheittain ja urakoittain. Lisäksi logistiikkaurakoitsija laatii osaksi logistiikkasuunnitelmaa resurssisuunnitelman työmaan aikatauluun perustuen.



KUVA 14. Rakentamisen hankintojen suunnittelun ja logistiikan suunnittelun kytkeytyminen. (Lappalainen 2023, CC BY)

Kun työmaan logistiikkasuunnitelmat on näin yhdessä laadittu tuotantoa varten, on työmaalla niiden pohjalta logistisesti tehokkaat lähtökohdat aloittaa hankintojen tekeminen. Jotta logistiikasta saadaan täysi hyöty työmaalle, tulisi työmaan hankinnat alusta alkaen tehdä logistisen hankintamatriisin ja muiden logistiikkasuunnitelmien mukaan, jotta urakoitsijat ja tavarantoimittajat osaavat hinnoitella työnsä oikeilla lähtötiedoilla. Tavarantoimittajan on edullisempi toimittaa täysi kuorma välivaraston lastauslaituriin nopeasti trukkilalustolla purettuna ja aliurakoitsijan urakkahinnat ovat edullisempia, kun ne eivät sisällä tavaroiden siirtoja työmaalla työkohteisiin. Lisäksi hekin voivat säästää rahtikustannuksissa, jos heidän materiaalinsa voidaan toimittaa täysin kuormin ensin välivarastoon.

Suunnittelupohja – Logistinen hankintamatriisi

JLA 25.3.2023

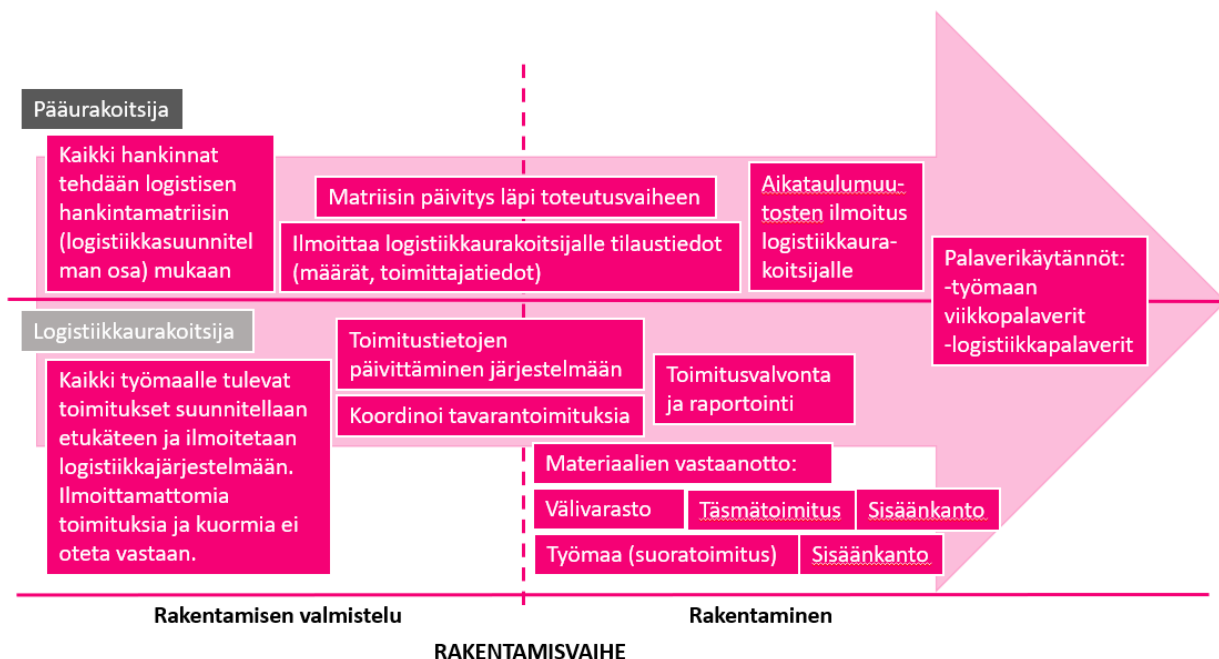
Lit- tera	Hankinta- paketti	Toimit- taja	Urakoitsija (asennus)	Väliva- rasto	Suora- toimitus	Pystysiirto	Haalaus	Toimituspaikka	Varastointi- aika (vrk)	Toimitukset alkavat	Huomiot
3200	Bet. Elementit		AU		x	Torninosturi 1	-	Fakki + päältä purku	-	16.2.2023	
4300	Puuovet		AU	x		Hissi	Logistiikkaur	Kerroksittain	14	10.7.2023	Kahteen asuntoon; toisistaan kauimmaisat A4 ja A8
4330	Metalliovet		Toimittaja		x	Hissi	Toimittaja	Asennuspaikka	-	20.4.2023	
5700	Laatat		AU	x		Hissi, pumpukärry	Logistiikkaur	Asunnoittain	14	30.5.2023	Esteetön kulku hissille ja asuntoon
5600	Parketit		Toimittaja	x		Hissi, pumpukärry	Logistiikkaur	Asunnoittain	21	30.6.2023	Esteetön kulku hissille ja asuntoon
6100	Kalusteet		Toimittaja	x		Kurottaja, kalustekori	Logistiikkaur	Asunnoittain	14	20.6.2023	Huom. Portaat kalustekontille valmiiksi
6300	Kodinkoneet		Logistiikkaur	x		Hissi	Logistiikkaur	Asunnoittain	21	1.8.2023	Nokkakärry
...	Lisää										
...	Lisää										

KUVA 15. Esimerkki logistinen hankintamatriisi. (Lappalainen 2023, CC BY)

#### 4.2 Rakentamisvaiheen logistiikan toteutus- ja materiaalinhallintamalli

Logistiikan toteutus- ja materiaalinhallintamalli on esitetty kuvassa 16. Rakentamisen alkaessa toimituksia saapuu logistiikkasuunnitelmien mukaan joko välivarastoon tai suoraan työmaalle. Välivarastoon saapuneet materiaalit logistiikkaurakoitsija varastoi odottamaan työmaalle toimitusta ja tarvittaessa setittää/kitittää niitä suunnitellun kokoiseksi eräksi ennen toimitusta. Toimitus työmaalle ta-

pahtuu yleensä ajoitettuna täsmätoimituksena, jotta logistiikkaurakoitsija voi resursoida logistiikka-työntekijät työmaalle ottamaan kuorman vastaan ja haalaamaan materiaalit sovittuun paikkaan valmiiksi odottamaan asennusta.



KUVA 16. Rakentamisvaiheen logistiikan toteutus- ja materiaalinhallintamalli. (Lappalainen 2023, CC BY)

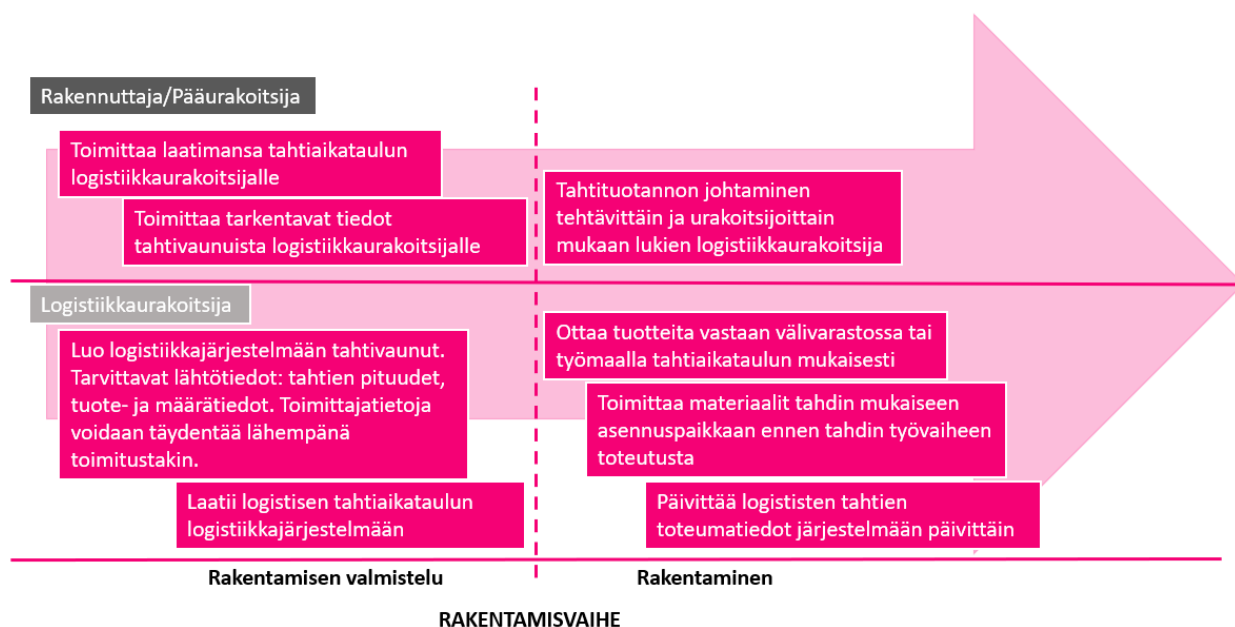
Toimitusten suunniteltuja aikatauluja voidaan tarkastella ja muokata logistiikkajärjestelmästä. Logistiikkaurakoitsijalla on logistiikkakoordinaattori, joka vastaa järjestelmän ajantasaisuudesta ja materiaalivirtojen koordinoinnista, mutta myös pääurakoitsija, tavarantoimittajat ja aliurakoitsijat voivat logistiikkaohjeen mukaan ilmoittaa tarvittaessa toimituksia järjestelmään. Kokonaisuuden toimivuuden vuoksi yleisenä sääntönä on suositeltavaa pitää, että yhteisen politiikan mukaan ilmoittamattomia toimituksia ja kuormia ei työmaalle oteta vastaan.

Toteutusvaiheen aikana pääurakoitsija päivittää logistista hankintamatriisia esimerkiksi toimittaja- ja aliurakoitsijatietojen osalta uusien hankintojen varmistuessa ja ilmoittaa tilausmääriä ja eräkokotteja logistiikkaurakoitsijan koordinaattorille järjestelmään päivitettäväksi. Työmaa voi tehdä järjestelmän kautta aikataulumuutoksia toimituksille tai pyytää logistiikkakoordinaattoria tekemään muutokset. Logistiikkajärjestelmän kautta tieto muutoksista menee kaikille liittyville osapuolille ja logistiikkaurakoitsija kuittaa muutokset. Yhdessä näitä asioita käsitellään työmaalla palaverikäytäntöjen mukaan viikkopalavereissa, urakoiden aloituspalavereissa sekä tarvittaessa aika-ajoin järjestettävissä logistiikkapalavereissa.

Logistiikkaurakoitsija tekee toimitusvalvontaa ja seuraa logistiikkajärjestelmässä olevien toimitussuunnitelmien toteutumista. Järjestelmästä voi tarkastella varaston saldotietoja ja työmaan toimitustietoja. Mikäli välivarastolle saapuessa tai tuotetta työmaalle toimitettaessa tuotteessa havaitaan vaurio, saadaan palautus- ja mahdollinen reklamaatiomenettely käyntiin logistiikkaurakoitsijan toimesta välittömästi ja järjestelmään kuva vauriosta. Tämä vähentää häiriöitä työmaalla, kun vaurioita havaitaan jo ennen asennustöihin ryhtymistä ja korvaava tuote saadaan nopeammin työmaalle.

### 4.3 Tahtituotannon yhteensovittaminen suunnittelun ja materiaalinhallinnan prosesseihin

Tahtituotannon yhteensovittamisen toimintamalli logistiikan suunnittelun ja materiaalinhallinnan prosesseihin on esitetty kuvassa 17. Tämä toimintamalli esittää tahtituotannosta johtuvat ominaispiirteet perinteisten aikataulumuotojen tehokkaaseen logistiikan toimintamalliin.



KUVA 17. Tahtituotannon yhteensovittaminen logistiikan suunnittelun ja materiaalinhallinnan prosesseihin. (Lappalainen 2023, CC BY)

Pääurakoitsija toimittaa logistiikkaurakoitsijalle tahtiaikataulun lisäksi lähtötietoina tahtivaunujen tahtien pituudet, tuote- sekä määrätiedot. Tämän jälkeen logistiikkaurakoitsija tekee logistiikkajärjestelmään logistisen tahtiaikataulun tahtien toimitusajoista. Tietoja voidaan myöhemmin muokata ja lisätä muun muassa toimittajätietojen tarkentuessa hankintojen edetessä.

Tahtien töiden alkaessa logistiikkaurakoitsija toimittaa niitä vastaavien materiaalivaunujen tuotteet tahtialueen mukaiseen asennuspaikkaan ennen tahdin työvaiheen aloitusta ja päivittää logististen tahtien toteumatiedot logistiikkajärjestelmään. Logistiikkakoordinaattori päivittää tahtien seurantalistaa järjestelmässä päivittäin, joten pääurakoitsija saa nopeasti tiedon, mikäli jokin tahti ei ole toteutumassa tai toteutunut esimerkiksi materiaalin toimitusviivästyksen tai työkohteen keskeneräisyyden vuoksi. Tieto viedään tahdin seurantaan poikkeamana, ratkaistaan työmaan kanssa korjaavat toimet ja siirretään tahtia eteenpäin, kunnes se on toteutettavissa.

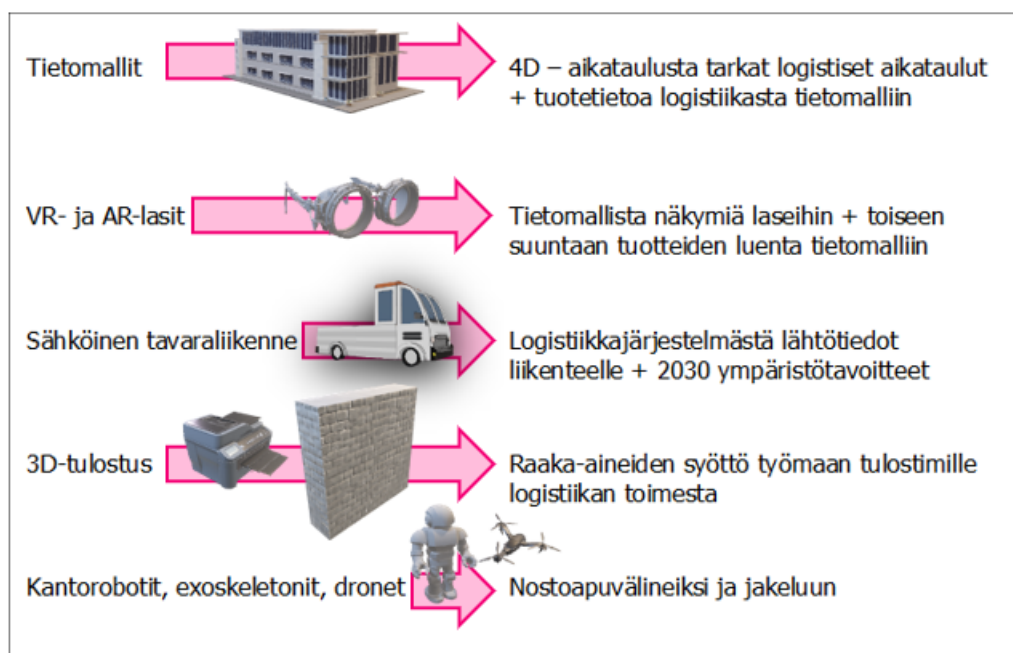
Prosessina tahtituotannon logistinen toimintamalli ei tämän enemmän poikkea perinteisen aikataulumuodon toteuttamisesta, mutta uudehkona tuotantomuotona se herättää alkuun epätietoisuutta ja pelkoja varsinkin, kun rakennusalalle näin pitkälle kehitettyjä logistisia kokonaisratkaisuja ei ole juuri ollut ja logistiikan toimiminen tahtituotantokohteissa onkin nimetty usein yhdeksi kehityksen kohteeksi hankkeen päättyessä.

## 5 TULEVAISUUDEN TEKNOLOGIOIDEN SOVELLUSKOHTEET OSANA RAKENNUSLOGISTIIKAA

Työn tuloksena tulevaisuustutkimuksen (Linturi;ym., 2018) listaamista teknologiakoreista löytyi useita rakentamisen logistiikkaan edistämispotentiaalia omaavia teknologioita analysoitavaksi ja yhdisteltäväksi tarkemmin mahdolliseen tulevaisuuden systeemiseen logistiikan prosessiin. Näitä teknologiakoreja ovat tutkimuksen mukaisen generisyysluvun mukaisessa järjestyksessä:

- robottiautot tavaraliikenteessä
- ubiikki ympäristö ja tavaroiden internet
- kaupallisen alustatyön välittäminen
- älylasit, AR-lasit ja laajennettu todellisuus
- aurinkosähkön nopea kehitys
- ympäristön reaaliaikainen 3D-hahmotus
- tavaroiden 3D-tulostus
- kävelevä robotti ja kävelyavustajat
- nelikopterit ja muut lentävät dronet

Näistä teknologiakoreista yhdisteltynä teknologiat rakentamisen logistiikkaan sopiviksi teemoiksi voisivat olla arvioidun kehitysnopeuden mukaisessa arvioidussa järjestyksessä alla olevan (kuva 18) mukaiset:



KUVA 18. Rakennuslogistiikan tulevaisuuden näkymät teknologiateemoittain. (Lappalainen 2023, CC BY)

### 5.1 Tietomallien kehitys rakentamisen logistiikan avulla

Ubiikki ympäristö ja IOT-teknologia mahdollistavat tietomallien kautta rakennustuotannon laskenta- ja hankintatoimintamallien kehitystä, kun tietomalleista saadaan tarkka laskenta- ja hankintatieto ilman manuaalisesti tasosuunnitelmista tapahtuvaa laskentaa. Tähän samaan kehityssuuntaan kyt-

keytyy myös rakennuslogistiikan osalta suuri potentiaali, koska logistiikka voi auttaa tarkan hankintatiedon siirtymisessä tietomalliin tuoteluennan kautta. Tietomallien kehitys voi näin ottaa seuraavan askeleen kohti reaaliaikaisesti rakennusvaiheiden mukaan päivittyvää tietomallia.

Tietomallit ovat nykyisin pääosin 3D-malleja. Kun tietomalliin lisätään aikataulu, siitä tulee neljäs ulottuvuus, eli mallia voidaan kutsua tällöin 4D-aikatauluksi. Tällöin tietomalli saadaan rakentumaan suunnitellun aikataulun mukaisesti esimerkiksi ruudulla visuaalisesti.

4D-aikataulu hyödyntää rakentajia monella tapaa, mutta tässä tapauksessa varsinkin logistiikkaa, koska tietomalliin viety aikataulutieto saadaan siirrettyä logistiikkajärjestelmiin. Kun logistiikkajärjestelmät tietävät milloin työtehtävän tai tahtituotantokohteessa jonkin tietyn tahtivaunun työsuoritus alkaa aikataulun mukaan, silloin logistinen toimitus täytyy tapahtua tätä ennen. Järjestelmään saadaan tällöin työtehtävittäin tai tahtivaunuittain asetettua toimitus tapahtumaan esimerkiksi yhdestä kolmeen työpäivää ennen asennuksen alkua työkohteelle. Lisäksi välivarastoitaville tuotteille voidaan samoin asettaa toimituspäivä välivarastoon esimerkiksi 14 päivää ennen työmaatoimitusta.

Näin tietomallin ja 4D-aikatauluttamisen avulla rakennuskohteista on tulevaisuudessa mahdollista saada erittäin tarkkoja logistisia aikatauluja. Lisäksi näillä tietomallista saatavilla tuotetiedoilla ja 4D-aikataulutiedoilla saadaan laskettua kohteelle tarkka logistiikan hinta suoritepohjaisen hinnoittelun avulla, kun varastointiajat, toimituseräkoot ja sisäänkanto- ja haalausmäärät tulevat nyt tarkasti etukäteen tietoon.

## 5.2 VR ja AR-lasit tiedonvälityksen työkaluksi työmaille

Älylasit laajennetulla todellisuudella yhdistettynä saumattomasti ubiikin ympäristön ja tavaroiden internetin sekä ympäristön reaaliaikaisen 3D-hahmotuksen teknologiakorien teknologioiden kanssa mahdollistavat rakentamisen logistiikkatyöntekijöille erilaisten työtä nopeuttavien ja ohjaavien näkymien saamisen näkökenttäänsä. Näkymä voi olla rakennuskohteen tietomalli, johon on nuolin ohjattu rakennustuotteen kantoreitti asennuskohteelle. Laseilla voidaan lukea myös työohjeita ja suunnitelmia, kuten tehtävä ja jakolistoja.

Toiseen suuntaan, eli takaisin tietomalliin ja muihin rakentajien tuotannonohjausjärjestelmien sekä logistiikkajärjestelmiin tieto liikkuu laseilla tapahtuvan rakennusmateriaalien tuoteluennan avulla. Älylasit nopeuttavat tuoteluontaa työmaatoimitusten yhteydessä verrattuna luentakapuloihin tai mobiililaitteisiin sekä tarjoaa monipuolisemman ja laajemmin työtä tehostavan työkalun. Luentatiedon siirtyminen rikastaa tietomallia mm. aikatiedolla ja mahdollisella luennan yhteydessä otettavalla valokuvalla toimituspaikasta. Siitä saadaan myös toteumatiedot tuotteiden toimituksesta 4D-aikatauluun ja siten tieto asentamisen aloitusedellytyksistä.

Älylasien tulee olla lisäosa työmaalla hyväksyttäviin suojalaseihin tai itsessään myös työmaan turvalasien vaatimukset täyttäviä.

## 5.3 Sähköinen tavaraliikenne tulee myös työmaille

Yhdessä robottiautot tavaraliikenteessä-, aurinkosähkön nopean kehityksen, ympäristön reaaliaikaisen 3D-hahmotuksen sekä ubiikin ympäristön teknologiakorien sovelluksien kehityksellä sähköinen

tavaraliikenne tulee muuttamaan rakentamisen logistiikkaa oleellisesti. Tällöin logistiikkaurakoitsijasta tulee merkittävä osa työmaan toimivaa ja tehokasta systeemistä logistiikkaratkaisua yhdellä työmaahan "ankkuroidulla" logistiikkajärjestelmällä työmaan aikataulu- ja lähtötietoineen. Robottiautot saavat toimitusten suunnittelutiedot, kuten toimitusaikataulut ja kohdeosoitteet väliavarastolta työmaille logistiikkajärjestelmästä.

Robottiautoilla saadaan kuljetuskustannuksia alaspäin kuljettajan työvoimakustannusten sekä kuljetusten koordinoitukulujen säästämällä sekä aurinkosähkön ja akkuteknologian kehityksen myötä. Sähköinen tavaraliikenne tukee myös merkittävästi ympäristöystävällisyydellään vihreän siirtymän tavoitetta ja auttaa rakennusalaa ympäristövastuullisuustavoitteisiin pääsemisessä. Näin ollen sähköisen tavaraliikenteen valjastaminen rakennuslogistiikan kehittämiseen näyttää lupaavalta.

#### 5.4 3D-tulostus tarvitsee logistiikkaa

Rakennusmateriaalien ja varsinkin rakennusten laajemman 3D-tulostuksen yleistymisen teema on ehdottomasti aiheeltaan pidettävä listalla, koska se on vaikuttavuudeltaan merkittävä. Skenaarion mahdollistamat kustannus, sekä ympäristösäästöt toimitusketjua lyhentämällä ovat tavoittelun arvoisia, mutta skenaarion toteutumiseen kestää kuitenkin rakennusalalla vielä muihin tulevaisuustee-moihin (kuva 18) verrattuna pitkän aikaa. Tämä trendi on rakennuslogistiikan mahdollisuuksien näkökulmasta ilmeinen lisä palveluntarjontaan tulostimien raaka-ainelogistiikan järjestämisen osalta.

#### 5.5 Kantorobotit, exoskeletonit ja dronet työmaalogistiikan avuksi

Tulevaisuuden työmaan sisälogistiikassa, tavaroiden jakelussa purkupaikalta asennuspaikalle sekä kantoapuvälineinä on otettava huomioon kantorobotit, exoskeletonit ja muut robotisoidut tavarankuljettimet. Nämä teknologiat voivat pienentää osaltaan työvoiman saatavuuden riskejä sekä parantavat työturvallisuutta.

## 6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakennusallalla etsitään nyt uusia tuotantoa tehostavia toimintamalleja muun muassa logistiikan saralla. Digitalisaatio mahdollistaa alan kehitystä, mutta tarvitaan näkymä myös logistiikan ja rakennusalan yhteisestä tulevaisuudesta, jotta osataan valita konkreettiset kehityskohteet. Tältä pohjalta tutkimuskysymyksiin lähdettiin hakemaan vastauksia rakennusalan tutkimuksista sekä tulevaisuustutkimuksista.

Työssä käsiteltiin rakentamisen logistiikan nykytilaa erilaisiin aineistoihin viitaten, eli ennen tehostuskeinojen esittämistä tutkittiin ja esitettiin teoreettiskäsitteelliset lähtökohdat työlle sekä kuvailtiin osin myös käytännön kokemusten kautta, kuinka rakennustuotannon logistiikkaa tällä hetkellä toteutetaan. Tulevaisuustutkimusten perusteella selvitettiin rakennuslogistiikan tulevaisuuden skenaarioita ja teknologiakehityksen mahdollisuuksia.

Tutkimusten perusteella neljänteen lukuun laadittiin erilaisia ratkaisuja sekä menetelmiä toisessa luvussa kuvatun rakentamisen logistiikan nykytilan tehostamiseksi. Alalla on käynnissä myös paljon hyvää kehitystä kuten esimerkiksi Lean-rakentamisen toimintatavat, joihin kuuluu muun muassa tahtituotantomenetelmä. Näitä jarruttavia ilmiöitä täytyy ratkaista ja yksi niistä on rakentamisen juurtuneet ja hukkaa aiheuttavat logistiset toimintamallit. Ne täytyy saada jokaisella työmaalla toimiviksi mahdollisimman yksinkertaisiksi käytänteiksi, jotta logistiikka saadaan virtaamaan monistettavalla kokonaisratkaisulla.

Tulevaisuustiedon perusteella työssä esiteltiin teknologioiden sovelluskohteita rakentamisen logistiikassa. Työssä tunnistettiin viisi keskeistä teknologiakehityksen teemaa, jotka logistiikka rakennusallalle mahdollistaa ja siksi rakennusalan toimijoiden tulisi ottaa ne huomioon tulevaisuuden strategisia päätöksiä tehdessään. Logistiikalla on siis yllättävän paljon annettavaa rakentamiselle ja sillä on potentiaalia olla merkittävä rakennusalan tuottavuusloikan vauhdittaja.

Rakennustuotantoa voidaan tehostaa logistiikan avulla työssä luvussa 4 esitetyllä systeemisellä logistiikan toimintamallilla ja toisekseen esitelty muutos tukee vihreän siirtymän, tulevaisuustutkimuksen ja megatrendien mukaista tulevaisuuden ennakoitua ja mahdollista näkymää. Megatrendien analysoinnin perusteella logistiikalla on rakentamisen tulevaisuuden toimintaympäristössä merkittävä rooli jokaisen viiden teeman, eli luonto, ihmiset, talous, teknologia ja valta kohdalla, joten rakennusallalla on tutkimuksen valossa perusteltua kiinnittää huomiota strategioissaan ja kehityksen suunnassa logistiikan toimintamallien systemaattiseen käytönottoon. Myös tulevaisuustutkimuksen mukaiset uudet teknologiat tulevat opinnäytetyön havaintojen perusteella tukemaan logistiikan roolin kasvamista rakennusallalla.

Työstä käy yksityiskohtaisesti ilmi, että rakennustuotannossa voidaan vähentää työn, ajan ja materiaalien hukkaa logistiikan avulla, sekä miksi rakennusallalla toimitaan logistisesti nykyisellä tavalla. Työssä saatiin kattavasti vastattua tutkimusongelmaan ja tutkimuskysymyksiin sekä saatiin luotua jo lähtötilanteessa hypoteettisena nähty tarve, eli menetelmät ja toimintaohjeet logistiikan kokonaisuuden suunnitteluun ja toteutukseen painottuen materiaalinhallinnan prosesseihin ja tahtituotannon häiriöttömään mahdollistamiseen. Tulevaisuuden teknologioiden hyödyntämiseen rakentamisen ja logistiikan kehityksessä löytyi konkreettisia sovelluksia.

## 7 POHDINTA

Ammatillisesti työtä tehdessä oppi paljon uutta ja varsinkin Aalto-yliopiston Building 2030 -konsortion tutkimusraportit osoittautuivat erittäin kehittäviksi aineistoiksi jo melko kokeneellekin rakennus- ja logistiikka-alan ammattilaiselle, joten esitetään tämän työn lukijalle niihin tutustumista, jos työ herätti kiinnostuksen aihetta kohtaan. Työn tuloksia on mielenkiintoista vertailla tulevaisuudessa toteumaan ja tulevaisuustutkimuksen tulevien vuosien päivityksiä on mielenkiintoista myös seurata tämän työn näkymiin verraten.

Jatkotutkimuskohteena työn perusteella olisi varsinkin esitettyjen toimintamallien käytännön toimivuuden tutkimus sekä rakennuslogistiikan markkinakoon ja potentiaalin selvitys. Myös rakentamisen logistiikkaratkaisujen kustannusvertailut case-kohteiden kautta antavat jokainen kohde kerrallaan lisää vahvistettavuutta sekä uskottavuutta logistiikan avulla tehostamisen potentiaalille. Lisäksi vertailu kansainvälisten rakennuslogistiikka-alan toimijoiden ratkaisuihin ja rakennusalan logististen käytänteiden muutosvauhdista olisi hyödyllistä.

Muutos esitettyyn toimintamalliin vaatii tilaajia, rakennuttajia, pääurakoitsijoita tunnistamaan logistiikan vaatimukset jo hankkeen suunnitteluvaiheessa. Logistiikkatoimijan kilpailuttaminen ja logistiikan suunnittelu tulee aloittaa viimeistään työmaan valmisteluvaiheessa ensimmäisinä asioina, jotta kaikki aliurakat tulee kilpailutettua logistiikkasuunnitelmien mukaan. Tämä hyödyttää jokaista hankkeen toimijaa aliurakoitsijoihin ja tavarantoimittajiin asti kasvavana tehokkuutena ja hukan pienenyminenä.

## LÄHTEET

- Ahonen, Ari;ym. 2020.** *Rakennusalan kilpailukyky ja rakentamisen laatu Suomessa.* Helsinki : Valtioneuvoston kanslia, 2020. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-926-4>.
- Bals, Lydia;Tate, Wendy L. ja Ellram, Lisa M. 2022.** *Circular Economy Supply Chains – From Chains to Systems.* s.l. : Emerald, 2022.
- Dufva, Mikko ja Rekola, Sanna. 2023.** *Megatrendit 2023 - Ymmärrystä yllätysten aikaan. SITRAN selvityksiä 224.* Helsinki : Sitra, 2023. ISSN 1796-7112.
- Ekeskär, Andreas ja Rudberg, Martin. 2020.** *Third-party logistics in construction: perspectives from suppliers and transport service providers.* Tukholma ja Linköping, Ruotsi : Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group, 2020. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09537287.2020.1837932>.
- Erkkilä, Samu. 2022.** *Rakennustyömaan logistiikan kehittäminen. Opinnäytetyö. Rakennus- ja yhdyskuntateknikka.* Tampere : Tampereen ammattikorkeakoulu, 2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202205026701>.
- Evianet Solutions Oy. 2022.** *NPL monipuolinen palvelualusta - kuvakaappaus tahtiaikataulusta NPL logistiikkajärjestelmästä.* Vantaa : s.n., 2022.
- Fransson, Adam;Berghede, Klas ja Tommelein, Iris D. 2013.** *Takt time planning for construction of exterior cladding Proceedings.* Fortaleza, Brazil : IGLC 21, 2013.
- Lappalainen, Juho. 2022.** *Valokuva 20.9.2022. Välivarasto sisältä, valokuva.* Transval Group, Espoo : 2022.
- . 2022.** *Valokuva 9.9.2022. Välivarasto ulkoa, valokuva.* Transval Group, Espoo : 2022.
- Lappalainen, Juho;ym. 2023.** *Transval - Rakennuslogistiikka kokonaisratkaisu.* Helsinki : Transval Group, 2023.
- Lehtovaara, Joonas;ym. 2019.** *Building 2030 - Tahti suunnittelussa ja tuotannossa loppuraportti.* Espoo : Aalto-yliopisto, 2019.
- Leinonen, Lassi. 2014.** *Rakennushankkeen logistiikkasuunnitelma. Opinnäytetyö. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma.* Kuopio : Savonia-ammattikorkeakoulu, 2014. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2014112516702>.
- Linturi, Risto ja Kuusi, Osmo. 2018.** *Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018-2037 - Yhteiskunnan toimintamallit uudistava radikaali teknologia.* s.l. : Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisu2018, 2018.
- Lundesjo, Greger. 2015.** *Supply chain management and logistics in construction: delivering tomorrow's built environment.* London : Kogan Page, 2015.
- Mattila, Juri;ym. 2022.** *Digibarometri 2022: Digivihreä siirtymä.* Helsinki : Taloustieto Oy, 2022.

**Olli Seppänen, Joonas Lehtovaara, Petteri Uusitalo, Eelon Lappalainen, : Anton Ruohomäki, Hans Pasila, Saara Salerto, Ossi Koniel, Teemu Järvinen. 2020.** *Hukan mittaaminen suunnittelussa ja tuotannossa loppuraportti.* s.l. : Aalto-yliopisto, Building 2030, 2020.

**Parviainen, Jesse. 2011.** *Työmaalogistiikan hallinta. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma.* Kuopio : Savonia-ammattikorkeakoulu, 2011. [www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201105107175](http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201105107175).

**Peltokorpi, Antti;Lavikka, Rita ja Tetik, Müge. 2019.** *Building 2030 Rakentamisen logistiikkaratkaisut -osahankkeen loppuraportti.* s.l. : Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos, 2019.

**Peltokorpi, Antti;ym. 2022.** *Uusien toimintamallien jalkauttaminen rakentamisessa - Building 2030 osahankkeen loppuraportti.* Espoo : Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos, 2022.

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

**Salminen, Juha. 2021.** Rakennuslehti . *Asiantuntijalta: Mitä uutta tahtituotanto tuo rakentamisen tuotannonohjaukseen?* [Online] 18. helmikuu 2021. [Viitattu: 12. huhtikuu 2023.] <https://www.rakennuslehti.fi/2021/02/mita-uutta-tahtituotanto-tuo-rakentamisen-tuotannonohjaukseen/>.

**Seppänen, Olli;ym. 2019.** *Intelligent Construction Site (ICONS) Project Final Report.* Espoo Finland : Aalto-yliopisto, 2019.

**Tetik, Müge;ym. 2019.** *Combining takt production with industrialized logistics in construction.* Espoo : Aalto University, 2019.

**Traficom. 2021.** [tieto.traficom.fi/tilastot](http://tieto.traficom.fi/tilastot). *Logistiikan tila ja toimintaedellytykset Suomessa.* [Online] Traficom, Liikenne- ja viestintävirasto, 9. joulukuu 2021. [Viitattu: 12. huhtikuu 2023.] <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/logistiikan-tila-ja-toimintaedellytykset-suomessa?toggle=L%C3%A4hteet%20ja%20lis%C3%A4tiedot>.

**Transval Group. 2023.** [Transval.fi](http://Transval.fi) sivusto. *Tietoa Transvalista - Transval lyhyesti.* [Online] 2023. [Viitattu: 25. helmikuu 2023.] <https://www.transval.fi/tietoa-transvalista/>.

**Virve Viertiö, Ilona Koski, Heli Sihvonon ja Piia Pessala, Gaia Consulting Oy. 2022.** *Biodiversiteetti rakennusalalla - Kestävän rakentamisen toimenpideohjelman taustaselvitys.* s.l. : Rakennusteollisuus RT, 2022.