23.10.2019

Rakentamisen logistiikkaratkaisut

Building 2030 Rakentamisen logistiikkaratkaisut -osahankkeen loppuraportti 9/2018-8/2019

Kirjoittajat[1]: Antti Peltokorpi, Rita Lavikka, Müge Tetik
Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos

[1] Tutkimuksen toteutuksessa on ollut mukana Aalto-yliopiston Rakennustekniikan laitoksen Building 2030 tutkimushankkeen yrityskumppanit: A-Insinöörit, Fira, Haahtela, Rakennusliike U. Lipsanen, Skanska, YIT, Granlund, Lujatalo, Parma, Pohjola Rakennus, Ramboll, Ramirent, SRV, Stark, Tocoman ja Trimble.
Lisätiedot: apulaisprofessori Antti Peltokorpi: antti.peltokorpi@aalto.fi

Sisällysluettelo

1 Tiivistelmä ... 3
2 Tutkimuksen tausta ... 4
3 Materiaalilogistiikan kehittyneet osaratkaisut ... 4
3.1 Täsmätoimitukset (engl. JIT, just-in-time) ... 4
3.2 Asennussarjat ja –paketit (engl. kitting) ... 5
3.3 Toimittajien hallinnoimat varastot ja toimitukset ... 5
3.4 Logistiikkakeskus (consolidation center) ... 5
4 Rakennushankkeen logistiikan kokonaisratkaisu ... 6
4.1 Lähtökohtia kokonaisratkaisulle ... 6
4.1.1 Tuotetyypit ... 7
4.1.2 Toimituskanavat ... 7
4.1.3 Materiaalilogistiikan kehittyneet osaratkaisut ... 7
4.2 Tyyppihankkeen materiaalilogistiikan kokonaisratkaisu ... 7
5 Materiaalitoimitusten ohjausprosessi ... 10
6 Digitaalisen tuotetiedon mahdollisuudet ... 11
6.1.1 Digitaalinen standardoitu tuotetieto ... 12
6.1.2 Materiaalien reaaliaikainen paikantaminen työmaalla ... 12
6.1.3 Reaaliaikainen tilannekuva valmisosatuotteiden prosessista ... 12
7 Yhteenveto ja johtopäätökset ... 13
8 Lisätietoa ... 13

1 Tiivistelmä

Tässä Building 2030 –konsortion Logistiikka-osahankkeen raportissa kootaan yhteen kokemuksia ja tutkimuksia erilaisista rakentamisen logistiikkaratkaisuista.

Materiaalilogistiikan rooli rakentamisen toiminnanohjauksessa ja rakennusprojektin onnistumisessa korostuu jatkuvasti. Huolimatta monista kehitysaskelista, materiaalilogistiikan rooli työmaiden tuottavuuden ja tuotannon sujuvuuden parantamisessa on jäänyt vähemmälle huomiolle. Uudet toiminnanohjausmenetelmät, kuten tahtituotanto, ja tuotantomenetelmät, kuten esivalmistus, edellyttävät tarkempaa ja täsmällisempää tuote- ja materiaalivirtojen hallintaa. Raportin tarkoitus on levittää tietoa uudehkojen logistiikkaratkaisujen sovelluskohteista ja vaikutuksista laajemmin koko rakentamisen yrityskenttään.

Tutkimusmenetelminä projektissa on hyödynnetty kirjallisuuskatsauksia, markkinaselvityksiä, muiden projektitoimialojen ratkaisujen kartoitusta, logistiikkatoimittajien haastatteluja ja vierailuja sekä Building 2030 -yritysten pilotoimien logistiikkaratkaisujen analysointia.

Tutkimuksen keskeiset tulokset raportoidaan neljänä osa-alueena: 1) Materiaalilogistiikan kehittyneet osaratkaisut, 2) Rakennushankkeen logistiikan kokonaisratkaisu, 3) Materiaalitoimitusten ohjausprosessi ja 4) Digitaalisen ja standardoidun tuotetiedon mahdollisuudet.

Kirjallisuuskatsauksen ja tutkittujen case-kohteiden avulla tunnistettiin neljä erillistä materiaalilogistiikan kehittynyttä osaratkaisua: 1) Täsmätoimitukset (engl. JIT, just-in-time), 2) Asennussarjat ja –paketit (engl. kitting), 3) Toimittajien hallinnoimat varastot ja toimitukset (engl. VMI, vendor managed inventory) sekä 4) Logistiikkakeskukset (consolidation center). Nämä ratkaisut ovat jo vaihtelevalla laajuudella monien rakennusalan toimijoiden käytössä. Osaratkaisut ovat tyypillisesti sopivia tiettyyn materiaali- tai projektityyppiin.

Rakennushankkeen logistiikan kokonaisratkaisu sisältää neljä erilaista logistiikan tyyppiratkaisua: 1) runko toimitetaan asennustyön tahdistamana täsmätoimituksena suoraan tehtaalta, 2) runkorakennusvaiheessa täydentävät rakenteet ja talotekniikka toimitetaan täsmätoimituksena logistiikkakeskuksesta suoraan holville, 3) pintarakenteiden, kalusteiden ja viimeistelyn materiaalit toimitetaan päiväkohtaisesti logistiikkakeskuksesta ja 4) pientarvikkeet noudetaan toimittajan hallinnoimasta työmaavarastosta.

Logistiikka-osahankkeessa kehitetty materiaalitoimitusten ohjausprosessi tähtää reaaliaikaiseen toimitusten hallintaan, jotta oikea materiaali olisi oikealla henkilöllä käytössään oikeaan aikaan. Onnistuakseen ohjausprosessi edellyttää kaikkien rakennusprojektin toimijoiden sitoutumista, jotta reaaliaikaista (mitä, missä ja milloin) tietoa materiaaleista kyetään jakamaan projektiin osallistuvien kesken.

Digitaalisen standardoidun tuotetiedon avulla on mahdollisuus kehittää logistiikan ohjausprosessia. Isompana logistiikan ohjausprosessin tavoitteena on, että tuote-, tilaus-, toimitus- ja laskutustiedot kulkisivat sähköisesti koko rakennushankkeen hankinta- ja toimitusketjun läpi. Rakennustiedon (RT) tuotetietojärjestelmä tarjoaa jo 55 000 rakennustuotteelle yksilöiden numeron. Järjestelmä pohjautuu kolmiportaiseen tuotehierarkiaan: tuotejärjestelmä, tekninen tuote ja artikkeli. Järjestelmä mahdollistaa nopean, oikeat vaatimukset täyttävien, tuotteiden löytämisen. Tavoitteena tulisi olla, että tuotetieto virtaa koko rakennusprosessin läpi, tietomallista työmaan hankintaan ja logistiikkaan ja lopulta ylläpitoon. Tähän kehitystyöhön tulisi seuraavaksi panostaa rakennusalan kehitysresursseja.

2 Tutkimuksen tausta

Materiaalilogistiikan rooli rakentamisen toiminnanohjauksessa ja rakennusprojektin onnistumisessa korostuu jatkuvasti. Logistiikka on jo ainakin 1990-luvulta lähtien nähty ostotoimintaa laajempana kokonaisuutena, jossa painotetaan materiaalivirran ohjausta sekä tehokasta materiaalinkäsittelyä. 2000-luvulla logistiikka on korostunut osana toimitusketjun hallintaa, mikä käsittelee laajemmin koko hankinta- ja toimitusketjua ja sen johtamista[2]. Viime vuosina on erityisesti korostunut materiaalien terveellisyyden ja turvallisuuden takaava käsittely, muun muassa osana Kuivaketju10-toimintamallia.

Huolimatta monista kehitysaskelista, materiaalilogistiikan rooli työmaiden tuottavuuden ja tuotannon sujuvuuden parantamisessa on jäänyt vähemmälle huomiolle. Pääpaino on ollut enemmän materiaalitoimitusprosessin tehokkuudessa kuin prosessin asiakkaan, eli asentajan, tehokkuudessa. Viimeaikaiset työmaan hukkaa ja työajan käyttöä koskevat tutkimukset[3] osoittavat, että jopa 30 % työntekijän ajasta työmaalla kuluu erilaisiin materiaaleihin liittyviin etsimis-, nouto-, haalaus- ja esikäsittelytehtäviin, jotka eivät tuota merkittävästi lisäarvoa lopputuotteelle. Samalla uudet toiminnanohjausmenetelmät, kuten tahtituotanto, ja tuotantomenetelmät, kuten esivalmistus, edellyttävät toimiakseen tarkempaa ja täsmällisempää tuote- ja materiaalivirtojen hallintaa. Lisäksi rakentamisen keskittyminen ahtaille kaupunkialueille korostaa logistiikalle asetettuja vaatimuksia.

Yksittäiset rakennusyritykset, materiaalitoimittajat ja logistiikkapalveluyritykset kehittävät jatkuvasti uusia työmaan asennustyötä palvelevia logistiikkaratkaisuja. Tämän projektin tavoitteena oli:

- Koota yhteen kokemuksia ja tutkimuksia erilaisista rakentamisen logistiikkaratkaisuista
- Levittää tietoa ratkaisujen sovelluskohteista ja vaikutuksista laajemmin koko rakentamisen yrityskenttään

Tutkimusmenetelminä projektissa on hyödynnetty kirjallisuuskatsauksia, markkinaselvityksiä, muiden projektitoimialojen ratkaisujen kartoitusta, logistiikkatoimittajien haastatteluja ja vierailuja sekä Building 2030 -yritysten pilotoimien logistiikkaratkaisujen analysointia.

Tutkimuksen keskeiset tulokset raportoidaan neljänä osa-alueena:

1. Materiaalilogistiikan osaratkaisut
2. Rakennushankkeen logistiikan kokonaisratkaisu
3. Materiaalitoimitusten ohjausprosessi
4. Digitaalisen ja standardoidun tuotetiedon mahdollisuudet

3 Materiaalilogistiikan kehittyneet osaratkaisut

Kirjallisuuskatsauksen ja tutkittujen case-kohteiden avulla tunnistettiin neljä erillistä materiaalilogistiikan kehittynyttä osaratkaisua. Nämä ratkaisut ovat jo vaihtelevalla laajuudella monien rakennusalan toimijoiden käytössä. Osaratkaisut ovat tyypillisesti sopivia tiettyyn materiaali- tai projektityyppiin.

3.1 Täsmätoimitukset (engl. JIT, just-in-time)

Täsmätoimitukset tarkoittavat käytännössä sitä, että esim. betonielementti asennetaan välittömästi sen toimituksen yhteydessä tai seuraavana päivänä asennettavat (mitkä tahansa) rakennustuotteet toimitetaan

[2] Katso esim. Ketju-hankkeen raportti: Toimitusketjun hallinta talonrakentamisessa, 2009.

[3] Tämän osoittavat mm. Aalto-yliopistossa tehdyt useat rakentamistalouden erikoistyöt sekä yritysten ja liittojen teettämät selvitykset.

edeltävänä päivänä. Toimituskohteena voi olla esim. tietty kerros tai tila, kuten huone. Täsmätoimitustuotteita ovat yleensä esivalmistetut elementit, esim. betonielementit ja teräspalkit. Täsmätoimitusten päätarkoituksena on vähentää varastointia työmaalla. Varastoinnista aiheutuu mm. materiaalihukkaa ja käsittelykustannuksia. Lisäksi varastointi ahtaassa kohteessa usein haittaa muiden työvaiheiden tehokasta toteutusta.

3.2 Asennussarjat ja –paketit (engl. kitting)

Asennussarjat ja –paketit (myös setit) ovat yksi erityismuoto täsmätoimituksista. Tietyssä työvaiheessa tarvittavat materiaalit pakataan rakennuspaketeiksi, pientarvikkeet mukaan lukien. Tämä edellyttää huolellista tehtäväkohtaista materiaali- ja tarvikelistausta (*bill of materials*) ja logistiikan suunnittelua. Käyttökohteita ovat esim. saneerauskohteet, joissa on vähän tilaa ja työ on saatava nopeasti valmiiksi, tahtituotannon uudiskohteet sekä huoneistokohtaiset talotekniikka-asennukset ja laatoitukset. Setitys yhdistettynä täsmätoimitukseen vähentää materiaalihukkaa työmaalla ja nopeuttaa ja vakioi asennustyön edistymistä, koska oikea määrä materiaalia on oikeassa paikassa lähellä asennusmestaa. Materiaalien esiasennuksella setityspisteessä asennustyötä voidaan edelleen tehostaa. Perinteiseen täsmätoimitukseen verrattuna setitys koskee useimmiten pienempiä bulkkimateriaaleja. Haasteena voi olla riittävän tarkan suunnittelutiedon ja työmaan aikataulutiedon saaminen setityksen pohjaksi sekä puute tilasta, jossa materiaalien setitys paketteihin tehdään.

Osana hanketta tutkittiin asennussarjojen todellisia vaikutuksia rakennushankkeissa. Tetikin ym.[4] tutkimus paljasti, että asennuspakettien käyttö lisäsi työkohteen käyttöastetta eli työmesta oli tyhjänä vähemmän aikaa, kun oikeat materiaalit löytyivät läheltä työkohdetta oikeaan aikaan. Lisäksi aiheesta tehty diplomityö[5] osoitti, että asennuspakettien avulla tehtäväkohtainen tuottavuus nousi putkiremonttikohteessa, kun asentaja käytti merkittävästi vähemmän työaikaa materiaalien etsimiseen ja siirtämiseen. Tutkimukset on kuitenkin tehty yksittäisissä hankkeissa ja siksi ratkaisun vaikutuksista tarvitaan vielä lisätutkimuksia.

3.3 Toimittajien hallinnoimat varastot ja toimitukset

Toimittajien hallinnoimat varastot ja toimitukset (engl. vendor managed inventory) tarkoittavat työmaalla sijaitsevaa tavarantoimittajan omistamaa ”kauppaa” varustettuna urakoitsijoiden tarvitsemilla, nimikkeittäin järjestetyillä, pientuotteilla, jotka voidaan nopeasti ostaa skannaamalla tuotteen viivakoodi. Varaston käytöllä on erinäisiä hyötyjä, kuten sen helppo käyttöönotto ja logistiikan vastuun siirtyminen toimittajalle. Lisäksi varasto vähentää hukkaa, sillä kalustoa käytetään tehokkaasti ja turhat noudot ja kuljetukset jäävät pois.

3.4 Logistiikkakeskus (consolidation center)

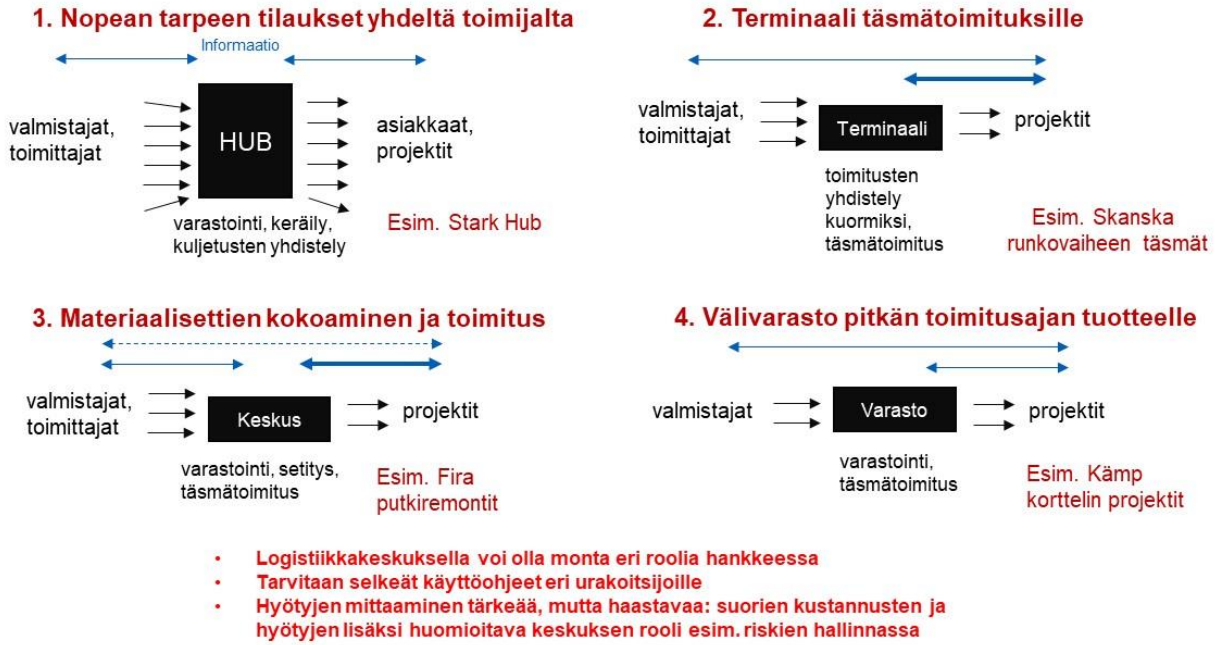
Logistiikkakeskusta (joskus nimellä terminaali) hyödynnetään, kun tuotteet halutaan välivarastoida, esim. tiettyyn työkohteeseen tarvittavien materiaalien paketoimista varten, ja myöhemmin toimittaa työmaalle oikeaan aikaan. Keskuksessa voidaan välivarastoida esim. vakiotuotteita, kuten sahatavaraa, laattoja, kaakeleita, tiilejä, huuveja tai lattiamattoja.

[4] Tetik, M., Peltokorpi, A., Holmström, J. and Seppänen, O. (2018). “Impacts of an assembly kit logistic solution in renovation projects: a multiple case study with camera-based measurement.” In Proc: 25th Annual EurOMA Conference 24-26 June 2018, Budapest, Hungary.

[5] Leväniemi, M. (2018) Effects of Kitting on Labour Productivity in a Building Renovation Project. Master’s thesis. Aalto University.

Logistiikkakeskus on hyvä vaihtoehto, jos työmaalla on riittämättömät varastotilat ja toimitusten saapumisajankohdat ovat epätarkat (esim. ulkomailta tilatut valaisimit tai ammeet). Keskuksen käyttö tuo yleensä kustannussäästöjä ja vähentää saatavuusriskiä, sillä keskukseen voidaan tilata isompia eriä ja tilaus-toimitus viivettä työmaalle voidaan lyhentää. Keskuksesta voidaan toimittaa optimoidusti materiaaleja useille työmaille, ja isompia tilauseriä voidaan hyödyntää useiden työmaiden tapauksissa[6].

Kuva 1 esittää miten logistiikkakeskuksia voidaan hyödyntää erilaisissa käyttötarkoituksissa. Hub-tyyppisestä logistiikkakeskuksesta voidaan tehdä tarpeen tullen nopeasti tilaukset yhdeltä toimijalta, kunhan materiaalisuunnitelma on tehty riittävän yksityiskohtaisella tasolla. Keskus myös auttaa toteuttamaan täsmätoimituksia ja se voi toimia välivarastona pitkän toimitusajan omaaville tuotteille. Lisäksi keskuksessa voidaan koota materiaalisettejä ja lajitella esimerkiksi rakennusjätteitä.



Kuva 1. Logistiikkakeskuksia voidaan hyödyntää erilaisissa käyttötapauksissa.

4 Rakennushankkeen logistiikan kokonaisratkaisu

4.1 Lähtökohtia kokonaisratkaisulle

Tässä luvussa esitetään edellisiä logistisia ratkaisuja hyödyntävä kokonaisratkaisu rakennushankkeen logistiikalle. Logistiikan on tarkoitus palvella työmaan rakennusprosessia. Logistiikan toimivuutta tulee mitata seuraamalla työnvirtausta ja tuottavuutta, ei siis pelkästään materiaaliprosessia. Logistiikka on onnistunutta, jos oikea materiaali on käytössä oikealla hetkellä, siten ettei ylimääräinen materiaali häiritse asennustyötä. On lisäksi vältettävä sitä, että materiaalit siirtyvät työmaalla useaan kertaan. Lisäksi toimitustavoissa on vältettävä materiaalien noutoa, jolloin työntekijöiden työaikaa vapautuu enemmän tuottavaan työhön.

[6] Miettinen, T. (2019) “Implementing a logistics center solution in city construction”. Master’s thesis. Aalto University. (työn alla)

Logistiikan kokonaisratkaisun tulee kattaa kaikki tuotetyypit ja sen pitää hyödyntää joustavasti erilaisia toimituskanavia ja kehittyneitä logistiikkamenettelyjä. Logistiikan kokonaisratkaisun tulisi olla liiketoimintayksikkötasolla skaalautuva, ei joka projektissa räätälöintiä vaativa ratkaisu. Lisäksi sen tulisi hyödyntää mahdollisimman paljon olemassa olevaa suunnittelu- ja tuotetietoa.

4.1.1 Tuotetyypit

Logistiikkaratkaisun tulee kattaa kaikki keskeiset tuotetyypit. Tuotetyypit voidaan jakaa kolmen otsikon alle: 1) *Projektikohtaiset tuotteet* suunnitellaan ja valmistetaan yksilöllisesti tiettyyn rakennukseen. Projektikohtaisia tuotteita ovat muun muassa betonielementit, ikkunat, erikoisovet ja kalusteet. 2) *Vakiotuotteet* ovat yleisesti saatavilla usealta valmistajalta eli ne kuuluvat perustuotevalikoimaan. Vakiotuotteet voidaan vielä jakaa kahteen: varastoon tehtävät tuotteet (esim. kipsilevyt, puutavara, eristevillat, vaatenaulakot) ja tilauksesta tehtävät tuotteet (esim. väliovet). Vakiotuotteet varastoidaan yleensä runkovaiheen aikana rakennuksen sisällä tai ulkovarastossa. 3) *Pientarvikkeet* ovat myös yleisesti saatavilla olevia, lähes kaikissa rakennuksissa käytettäviä tuotteita, joihin kuuluvat esim. työkäsineet, naulat ja pientyökalut.

4.1.2 Toimituskanavat

Toimituskanavat voidaan myös jakaa kolmeen: 1) Rautakauppa, josta noudetaan tai pyydetään lähettämään pientarvikkeita ja esim. tilauksesta tehtäviä tuotteita. 2) Tehdastoimitus tarkoittaa toimitusta, jossa tuotteet toimitetaan suoraan, ilman välivarastointia, työmaalle. 3) Logistiikkakeskustoimitus (joskus nimellä terminaalitoimitus) on käytössä, kun tuotteet halutaan välivarastoida, esim. tiettyyn työkohteeseen tarvittavien materiaalien paketoimista varten, ja myöhemmin toimittaa työmaalle oikeaan aikaan. Logistiikkakeskustoimitus on hyvä vaihtoehto, jos työmaalla on riittämättömät varastotilat toimitusten saapumisajankohdat ovat epätarkat. Keskusten hyödyntämisellä on erinäisiä hyötyjä. Keskuksen käyttö tuo yleensä kustannussäästöjä ja vähentää saatavuusriskiä, sillä voidaan tilata isompia eriä ja työmaan tilausajat lyhenevät. Keskuksista voidaan toimittaa optimoidusti materiaaleja useille työmaille, ja isompia tilauseriä voidaan hyödyntää useiden työmaiden tapauksissa.

4.1.3 Materiaalilogistiikan kehittyneet osaratkaisut

Kehittyneet neljä logistiikkaratkaisua kuvattiin tässä raportissa otsikon *Materiaalilogistiikan kehittyneet osaratkaisut* alla: 1) Täsmätoimitukset, 2) Asennussarjat ja –paketit, 3) Toimittajien hallinnoimat varastot ja 4) Logistiikkakeskusten hyödyntäminen.

Nykyään on tarjolla myös logistiikka-ammattilaisten tarjoamia palveluita, joihin kuuluu esim. logistiikka-analyysi ja -suunnitelma tietylle työmaalle, työmaan tulo- ja lähtölogistiikan organisoinnin ja käytännön toteutus, materiaalitilausten käsittely sekä niiden aikataulutus ja reititys työmaalla ja materiaalivarastojen ja työmaaliikenteen suunnittelu. Ammattilaisen hyödyntäminen mahdollistaa rakennusammattilaisten keskittymisen ydinosaamiseen ja paremman kuivaketjun/materiaalin säilyvyyden. Ammattilaisen käytössä on tärkeää sitouttaa kaikki urakoitsijat toimimaan ammattilaisen johdolla laaditun suunnitelman mukaan.

4.2 Tyyppihankkeen materiaalilogistiikan kokonaisratkaisu

Seuraavaksi kuvaamme tyyppihankkeen materiaalilogistiikan kokonaisratkaisun, joka on jo mahdollista tänä päivänä toteuttaa suurelta osin. Tyyppihankkeella tarkoitamme tässä raportissa isohkoa asunto- tai toimitilakohdetta, jossa on mukana monta suunnittelijaa ja urakoitsijaa.

Kokonaisratkaisu lähtee liikkeelle runkorakentamisvaiheesta. Projektin runkorakentamisessa itse runko toimitetaan täsmätoimituksena suoraan tehtaalta, ja elementtien toimitus tahdistetaan asennustyön aikataulun mukaisesti (Kuva 2). Rungon asennus tapahtuu suoraan kuormasta, ja elementtien asennustietoa kerrytetään automaattisesti.

Keskeistä tässä ratkaisussa on varmistaa, että työmaalla ja tehtaalla on käytössä elementtikohtainen, reaaliaikaisesti päivittyvä asennusaikataulu. Monilla tehtailla on jo käytössä toiminnanohjausjärjestelmä, jota voi päivittää ja josta elementtien tilaa voi seurata nettipalvelusta. Asennusaikataulua hyödynnetään elementtisuunnittelun ja –tuotannon aikataulun tahdistamiseen. On tärkeää, että reaaliaikaista elementtejä koskevaa tilannetietoa (mm. tuotemuutokset, tehtävän status, aikataulu, laatureklamointi) jaetaan suunnittelun, tuotannon ja työmaan välillä.

Kuva 2. Runko toimitetaan asennustyön tahdistamana täsmätoimituksena suoraan tehtaalta.

Runkorakennusvaiheessa täydentävät rakenteet ja talotekniikka toimitetaan täsmätoimituksena logistiikkakeskuksesta (terminaalista) holville (Kuva 3). Tämä ratkaisu edellyttää suunnittelun, työmaan, logistiikkakeskuksen ja toimittajan yhteistyötä ja tiedonvaihtoa. Lisäksi määrälaskennan on oltava tarkkaa. Esimerkiksi materiaalilistaukset on voitava tuottaa kerros- tai aluekohtaisesti, jolloin materiaalit voidaan toimittaa suoraan oikeaan asennuskohteeseen. Valmiit kollit toimitetaan tehtaalta/maahantuojalta logistiikkakeskukseen, jossa tehdään autokohtaiset kuormat. On tärkeää varmistaa, että materiaalien suojaus on kunnossa, tiedossa on tarkka nostoajankohta, ja että nostoliinat ja muu tarvittava välineistö ovat valmiina materiaalien siirtoon. Tämä ratkaisu toimii parhaiten asuntorakentamisessa, ja soveltuu hyvin myös esim. isojen talotekniikkaesivalmisteiden toimituksiin.

Kuva 3. Täydentävät rakenteet ja talotekniikka toimitetaan täsmätoimituksena logistiikkakeskuksesta (terminaalista) holville.

Sisävalmistusvaiheen pintarakenteisiin, kalusteisiin ja viimeistelyyn liittyvät materiaalit voidaan toimittaa päiväkohtaisina materiaali- ja tarvikesetteinä logistiikkakeskuksesta oikeaan asennuskohteeseen (Kuva 4). Keskeistä tässä ratkaisussa on suunnittelun, työmaan, aliurakoitsijoiden ja logistiikkakeskuksen yhteistyö ja yksityiskohtainen päivittäinen tiedonvaihto koskien alue- ja asennuskohtaisia materiaalilistauksia ja materiaalien toimituspisteitä. Tehtäväkohtaiset materiaalit ja tarvikkeet tilataan logistiikkakeskukseen, jossa ne setitetään 1-2 päivän toimituksiin. Projektin aikataulun hallinnan tulisi olla dynaamista ja reaaliaikaista, jotta oikeat materiaalit saadaan toimitettua päivittäin oikeaan asennuskohteeseen. Tärkeää olisi myös huomioida ylijäämämateriaalien paluuvirran hallinta, etteivät käyttämättömät materiaalit jää työmaalle pilaantumaan ja haittaamaan muuta työtä.

Setitys sisävalmistusvaiheessa soveltuu etenkin tilanteisiin, joissa tilaa on vähän ja toimituksilla halutaan vakauttaa työnkulkua ja estää työryhmien vapaa mestan valinta. Ratkaisun tehokkuuden hyöty heikkenee, jos osa materiaaleista toimitetaan jotain toista kautta työmaalle. Tämä ratkaisu tuottaa työtä ja kustannuksia logistiikkaan, mikä on huomioitava sopimuksissa ja kustannuslaskennassa. Kustannushyötyä kuitenkin syntyy kaikille osapuolille nopeutuneena asennustyönä.

Kuva 4. Pintarakenteiden, kalusteiden ja viimeistelyn materiaalit tilataan päiväkohtaisesti logistiikkakeskuksesta.

Koko hankkeen aikana tarvittavat pientarvikkeet noudetaan toimittajan hallinnoimasta varastosta, joka sijaitsee lähellä työmaata (Kuva 5). Keskeistä tässä ratkaisussa on tuotesortimentin suunnittelu, jonka pohjaksi tarvitaan sortimenttitietoa eri urakoitsijoiden tarpeesta. Sortimentin tulee muuttua työmaan vaiheen ja vuodenajan mukaisesti eli kyseessä tulee olla niin sanottu oppiva järjestelmä. Oleellista on saada hyvän palvelutason avulla riittävä käyttö, jonka mahdollistamisessa pääurakoitsijalla on iso rooli.

Ratkaisu edellyttää varastonhallintaohjelmaa ja materiaalien varaston täydentämisprosessia. Lisäksi tarvitaan tehokas osto- ja laskutusprosessi. Osto pitää pystyä kohdistamaan urakalle tai tehtävälle.

Kuva 5. Pientarvikkeet noudetaan toimittajan hallinnoimasta varastosta.

Taulukossa 1 on esitetty eri osaratkaisujen hyötyjä. Ratkaisujen hyödyt vaihtelevat, jotkut korostavat enemmän tehokasta asennustyötä, toiset varaston tai haalauksen minimointia, laskutusta tai aikataulun vakauttamista.

Taulukko 1. Osaratkaisujen erilaiset hyödyt

	Tehokas asennustyö	Varastoinnin minimointi	Haalauksen minimointi	Tehokas laskutus	Aikataulun stabilointi
Runkorakentaminen täsmätoimituksena	★	★★★	★		★★
Runkovaiheen täsmätoimitukset	★	★	★★★		★
Päiväkohtaiset materiaalisetit	★★	★★★	★		★★★
Pientarvikevarastot	★	★★	★	★★	★

5 Materiaalitoimitusten ohjausprosessi

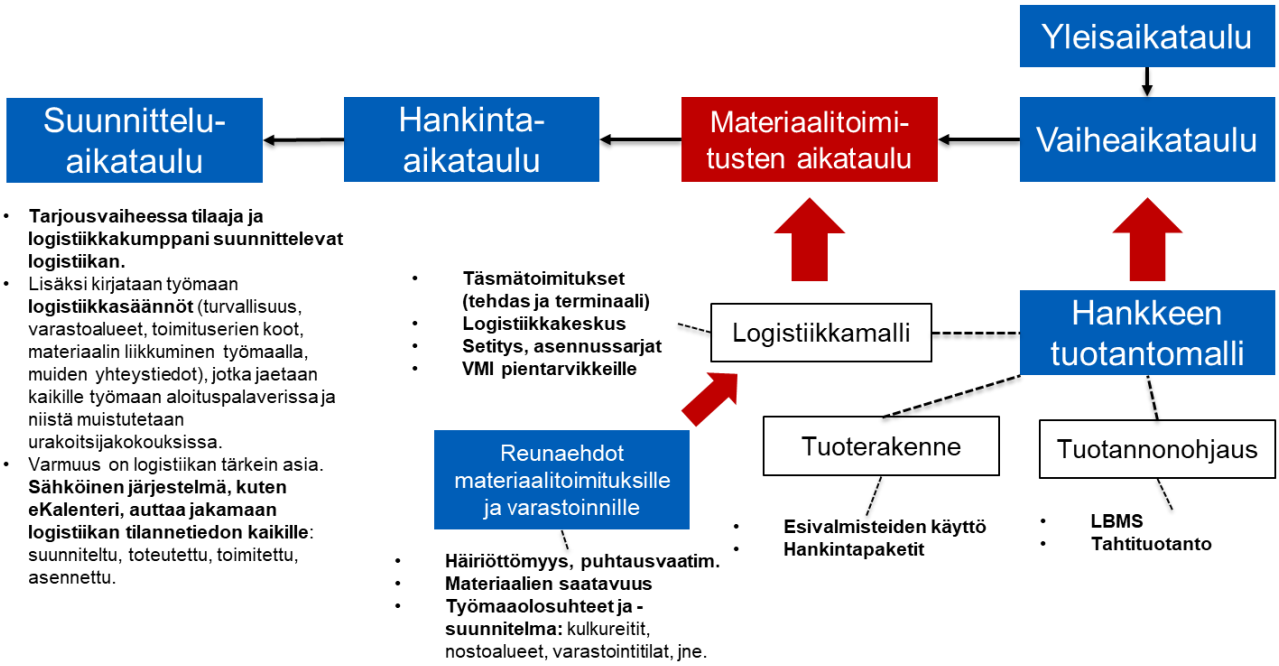
Materiaalitoimitusten ohjausprosessi (Kuva 6) tähtää reaaliaikaiseen toimitusten hallintaan, jotta oikea materiaali olisi oikealla henkilöllä käytössään oikeaan aikaan. Onnistuakseen ohjausprosessi edellyttää kaikkien rakennusprojektin toimijoiden sitoutumista siihen, että reaaliaikaista (mitä, missä ja milloin) tietoa materiaaleista jaetaan projektiin osallistuvien kesken. Prosessi lähtee liikkeelle projektin yleisaikataulusta, josta johdetaan vaiheaikataulu. Hankkeen tuotantomalli, johon liittyy käytetyt tuoterakenteet ja tuotannonohjausmenetelmät, vaikuttaa vaiheaikataulun laadintaan. Esimerkiksi tahtituotanto edellyttää tietynlaista tila- tai aluekohtaista viikko- ja päiväsuunnittelua.

Hankkeen tuotantomalliin liittyy myös valittu logistiikkamalli, joka voi koostua edellämainituista täsmätoimituksista, logistiikkakeskuksesta, setityksestä ja/tai toimittajan hallinnoimasta pienvarastosta. Valittavaan logistiikkamalliin vaikuttavat lisäksi mahdolliset materiaalitoimitusten ja varastoinnin asettamat reunaehdot,

joita voivat olla häiriöttömyys, puhtausvaatimukset, materiaalien saatavuus ja työmaaolosuhteet ja –suunnitelmat, kuten kulkureitit, nostoalueet ja varastointitilat. Vaiheaikataulu ja valittu logistiikkamalli antavat yhdessä raamit materiaalitoimitusten aikataululle, joka puolestaan raamittaa materiaalien hankinta-aikataulua. Hankintaa palvelevan toteutussuunnittelun aikataulun puolestaan tulee perustua hankinta-aikatauluun. Oleellista siis on, että materiaalien toimitusaikataulu suunnitellaan ja esitetään yhtenä osana suunnittelu-, hankinta- ja vaiheaikataulujen ketjua.

Tarjousvaiheessa tilaaja ja logistiikkakumppani suunnittelevat logistiikan reunaehdot ja tavoitteet ja määrittelevät sille säännöt. On esimerkiksi sovittava, kuka tekee materiaalien määrälaskennan ja miten tämä tieto jaetaan tätä tietoa tarvitseville toimijoille. Lisäksi on määritettävä toimituskanavat ja –tavat tuotteittain esim. edellä esitettyä logistiikan kokonaisratkaisua noudattaen. Kun vaiheaikataulu täsmentyy, on sovittava urakoitsijan kanssa tarkemmat toimituserät, -sijainnit ja -ajankohdat asennusaikataulun pohjalta. Nämä logistiikkasäännöt on jalkautettava kaikille, urakoitsijoille ja asennusryhmille viimeistään työmaan aloituskokouksessa. Materiaalitoimitusten ohjausprosessissa on oleellista, että projektiin osallistuvat tuntevat materiaalilogistiikan sovitut säännöt. Projektin sopimuksiin on myös sisällytettävä materiaalitoimitusten vastuut ja ehdot.

Tuotantovaiheessa noudatetaan sovittua logistiikan kokonaisratkaisua. Logistiikan yleistä onnistumista ja tilaa voidaan päivittää viikoittaisissa logistiikan päivityspalavereissa. Ohjausprosessin on pyrittävä siihen, että kaikilla on päivittäinen reaaliaikainen tilannekuva materiaalitoimitusten tilasta. Tämän saavuttamiseksi voidaan hyödyntää esim. digitaalista jaettua logistiikkakalenteria, josta näkee, mitä materiaaleja on toimitettu, sekä mitä materiaaleja ja milloin ne tullaan toimittamaan ja asentamaan. Oleellista on, että kukin suunniteltu ja toteutunut materiaalitoimitus on sidottu tiettyyn työtehtävään ja sen sijaintiin.



Kuva 6. Materiaalitoimitusten ohjausprosessi.

6 Digitaalisen tuotetiedon mahdollisuudet

Tässä osiossa käsittelemme digitalisaatioon liittyviä kehityskulkuja ja teknologioita, jotka jo tällä hetkellä mahdollistavat rakentamisen logistiikan paremman johtamisen ja uuden tyyppiset ratkaisut. Tarkastellut kehityskulut liittyvät Aalto-yliopiston tutkimukseen ja Rakennustiedon ja vastaavien pohjoismaisten organisaatioiden kehitystyöhön.

6.1.1 Digitaalinen standardoitu tuotetieto

Digitaalisen standardoidun tuotetiedon avulla on mahdollisuus kehittää rakennusmateriaalien logistiikan ohjausprosessia. Tavoitteena on, että tuote-, tilaus-, toimitus- ja laskutustiedot kulkisivat sähköisesti koko rakennushankkeen hankinta- ja toimitusketjun läpi. Rakennustiedon (RT) tuotetietojärjestelmä tarjoaa jo 55 000 rakennustuotteelle yksilöiden numeron. Järjestelmä pohjautuu kolmiportaiseen tuotehierarkiaan: tuotejärjestelmä, tekninen tuote ja artikkeli. Järjestelmä mahdollistaa nopean ja helpon oikean, vaatimukset täyttävien tuotteiden löytämisen. Järjestelmässä on tuotteeseen linkitetty siihen liittyvät käyttöturvallisuustiedotteet, kelpoisuuden osoittamiseen tarkoitetut dokumentit ja valmistajan tuotedokumentaatio.

Toistaiseksi RT tuotetieto on lähinnä tarkoitettu urakoitsijan käyttöön, jotta projektissa käytettävät tuotteet saadaan luotettavasti dokumentoitua tilaajaa ja loppukäyttäjää varten. RT tuotetieto yhdistää kuitenkin myös rakennustuotevalmistajat ja -maahantuojat, yritysten hankintatoimen ja suunnittelijat. Palvelua voivat käyttää myös omatoimirakentajat, remontoijat ja sisustajat[7]. Rakennustiedon tavoitteena on, että tuotetieto virtaisi koko rakennusprosessin läpi, tietomallista työmaan hankintaan ja logistiikkaan ja lopulta ylläpitoon.

Rakennustiedolla oli myös KIRA-digi projekti, nimeltään HaLo, jonka tavoitteena oli hankinta- ja logistiikkaprosessien digitalisointi ja tehostaminen. Projekti tähtäsi hankinnan ja logistiikan prosessien sähköistämiseen, jotta voidaan parantaa kommunikaatiota, vähentäen käsityötä sekä virheitä ja lisätä kilpailua. Projektissa hyödynnettiin yhteispohjoismaisia prosesseja ja standardeja, kuten sähköiseen sanomavälitykseen käytettyä eurooppalaista PEPPOL-arkkitehtuuria. Lähtökohtana HaLo-projektille oli ajatus, että pienille, keskisuurille ja suurille organisaatioille on saatavissa portaalin kautta matalan kynnyksen pääsy sähköiseen hankintaan ja toimitustenhallintaan Suomessa sekä Euroopassa PEPPOL-verkoston kautta.

6.1.2 Materiaalien reaaliaikainen paikantaminen työmaalla

Aalto-yliopiston Rakennustekniikan laitoksen iCONS[8] (Intelligent Construction Site) -projektissa kehitettiin materiaalien paikannusjärjestelmää, jossa hyödynnetään Bluetooth-radiolähettimiä (beacon). Järjestelmän avulla on mahdollisuus analysoida materiaalitoimitusten suorituskykyä, kuten toimitusvarmuutta, varastointiaikaa, kokonaisläpimenoaikaa ja materiaalien siirtoja työmaalla. Materiaalipaketteihin ja tuotteisiin tehtaalla asennettu lähetin lähettää muutaman sekunnin välein sijaintitietoa työmaalla oleviin vastaanottimiin, jotka puolestaan lähettävät sijaintitiedon pilveen.

Järjestelmää on tarkoitus kehittää siihen suuntaan, että jatkossa materiaalitieto yhdistettäisiin työntekijän sijaintiin, jotta voidaan tunnistaa työtehtävä ja analysoida sen kestoa. Tällöin voitaisiin paremmin tukea työntekijää löytämään hänen tarvitsemansa materiaalit ja työkalut sekä niihin liittyvät työkohde helposti ja nopeasti. Materiaalien paikannuksella voidaan paitsi vähentää työntekijän hukkaa, myös tutkia uusien logistiikkaratkaisujen vaikutuksia materiaaliprosesseihin ja -siirtoihin. Järjestelmän pilotointitutkimukset työmailla ovat auttaneet tutkijoita tunnistamaan, että materiaaleja siirretään työmaalla keskimäärin jopa 4-8 kertaa ennen lopullista asennusta, mikä on tehokkaan logistiikkaprosessin kannalta liikaa ja lisää näin työmaan tehottomuutta.

6.1.3 Reaaliaikainen tilannekuva valmisosatuotteiden prosessista

Aalto-yliopistossa on myös käynnissä DiCtion (Digitalizing Construction Workflows) - tutkimushanke, jonka yhdessä työpaketissa kehitetään valmisosatuotteiden logistiikkaprosessin reaaliaikaisen tilannetiedon luomista ja hyödyntämistä. Hankkeessa keskitytään betonista ja teräksestä tehtyihin valmisosatuotteisiin. Projektissa on tarkoitus hyödyntää tehtailla jo käytössä olevien toiminnanohjausjärjestelmissä olevaa tuotteiden

[7] https://www.rakennustieto.fi/index/tuotteet/rttuotetieto.html
[8] iCONS-projektin loppuraportti: https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-02/icons_final_report.pdf

tilatietoa (suunnittelussa, tuotannossa, toimituksessa, asennuksessa) ja yhdistää tämä tieto työmaan työntekijöiden tuottamaan tuotteen tilatietoon koskien esim. asennusaikataulua ja –järjestystä, tuotteen laatua tai onnistunutta asennusta. Näin tuoteosavalmistaja voisi saada reaaliaikaista tietoa työmaan etenemisestä ja näin ollen vaikuttaa esim. omaan valmisosatuotteiden suunnittelu- ja tuotantoaikatauluihin.

7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Materiaalilogistiikan rooli rakentamisen toiminnanohjauksessa ja rakennusprojektin onnistumisessa korostuu jatkuvasti. Huolimatta monista kehitysaskelista rakennusalalla, materiaalilogistiikan rooli työmaiden tuottavuuden ja tuotannon sujuvuuden parantamisessa on jäänyt vähemmälle huomiolle. Tähän raporttiin kokosimme kokemuksia ja tutkimuksia erilaisista uudemmista rakentamisen logistiikkaratkaisuista.

Hankkeen keskeiset johtopäätökset ovat seuraavia:

- Rakentamisen materiaalilogistiikkaan on kehitetty useita toimivia osaratkaisuja. Yritysten ja projektien kannalta oleellista on koostaa näistä osaratkaisuista toimiva kokonaisuus, jota voidaan liiketoiminnassa kehittää jatkuvan parantamisen periaatteella.
- Yksittäisistä osaratkaisuista asennussarjojen hyödyntäminen on vielä melko vähäistä. Ne voivat tarjota hyödyllisen keinon vakauttaa työn virtausta, parantaa aikataulussa pysymistä ja nostaa merkittävästi ammattityön tuottavuutta.
- Sijaintikohtaisiin tehtäviin sidottu materiaalitoimitusten suunnitelma ja aikataulu tulisi laatia osaksi työmaan toiminnanohjausta.
- Digitaalisella ja standardoidulla tuotetiedolla on iso potentiaali parantaa tiedon virtausta suunnittelusta toteutukseen ja tehostaa materiaaliprosessin hallintaa. Ennen laajamittaista tuotetiedon hyödyntämistä tulee tunnistaa mahdolliset esteet ja poistaa ne toimialan yritysten ja järjestöjen yhteistyöllä.

8 Lisätietoa

Ekeskär, A. and Rudberg, M. (2016) “Third-party logistics in construction: The case of a large hospital project”, *Construction Management and Economics*, Vol. 34, No. 3, pp. 174-191.

Elfving, J., Ballard, G., Talvitie, U. (2019) Standardizing logistics at the corporate level towards lean logistics in construction, Proceedings IGLC-18, July 2010, Technion, Haifa, Israel, pp. 222-231.

Hamzeh, F.R., Tommelein, I., Ballard, G. and Kaminsky, P.M. (2007) ”Logistics centers to support project-based production in the construction industry”, Proceedings IGLC-15, July 2007, Michigan, USA.

Hämäläinen, E. (2018) Materiaalilogistiikkaratkaisut rakentamisessa, kandidaatintyö, Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Kone- ja rakennustekniikka, 19 s.

Jussila, A., Kiviniemi, M., & Talvitie, U. (2012). Piloting a new information sharing method in a construction supply chain. In eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: Proceedings of the European Conference on Product and Process Modelling 2012, ECPPM 2012, pp. 707-712.

Kiljunen, J.-M. (2009) Toimitustäsmällisyyden kehittäminen rakennustyömaan tuottavuuden nostamiseksi – Case Skanska Oy. Pro gradu –tutkielma, Helsingin kauppakorkeakoulu, Logistiikka ja palvelutalous, 91 s.

Leväniemi, M. (2018) Effects of Kitting on Labour Productivity in a Building Renovation Project. Master’s thesis. Aalto University.

Miettinen, T. Implementing a logistics center solution in city construction. Master's thesis. Aalto University. (Forthcoming)

Mäkinen, M. (2012) Asuinrakentamisen sisävalmistusvaiheen täsmätoimitusten toteutus ja kannattavuus. Diplomityö, Aalto-yliopisto, Perustieteiden korkeakoulu, Tuotantotalouden koulutusohjelma, 119 s.

Rakennustyömaan toimitusten ohjaus –raportti, joka oli osa Ketju-hanketta, 2009. Saatavissa osoitteessa: https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/Rakennustyomaan_toimitusten_ohjaus_091116.pdf

Rakentamisen toimitusketjun hallinta – Ketju-hankkeen raportti: Toimitusketjun hallinta talonrakentamisessa, 2009. Saatavissa osoitteesta: https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/ketju-yhteenvetoraportti.pdf

Said, H. & El-Rayes, K. (2013) "Optimal utilization of interior building spaces for material procurement and storage in congested construction sites", *Automation in Construction*, No. 31, pp. 292-306.

Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2016). A New Model for Construction Material Logistics: From LocalOptimization of Logistics Towards Global Optimization of On-Site Production System. In IGLC 2016 - 24thAnnual Conference of the International Group for Lean Construction (pp. 73-82). (Proceedings of the Annual-Conference of the International Group for Lean Construction).

Talvitie. U. (2006). Short Time Management Procedures for Material Deliveries for Construction Sites. Licentiate thesis. Helsinki University of Technology´, Espoo, Finland, 84 pp.

Tanskanen, K., Holmström, J. and Öhman, M. (2015), "Generative Mechanisms of the Adoption of Logistics Innovation: The Case of On-site Shops in Construction Supply Chains", *Journal of Business Logistics*, Vol. 36. No. 2, pp. 139-159.

Tanskanen, K., Holmström, J., Talvitie, U., and Elfving, J. (2009). "Vendor Managed Inventory (VMI) in Construction", International Journal of Productivity and Performance Management. Vol 58 No.1 pp. 29-40.

Tetik, M., Peltokorpi, A., Holmström, J. and Seppänen, O. (2018). Impacts of an assembly kit logistic solution in renovation projects: a multiple case study with camera-based measurement. In Proc: 25th Annual EurOMA Conference 24-26 June 2018, Budapest, Hungary.

Wegelius-Lehtonen, T. (2001) "Performance measurement in construction logistics", *International Journal of Production Economics*, Vol. 69, pp. 107-116.