



Juho Humalainen

# Logistiikka korkeassa rakentamisessa, Case Kirkkonummi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

16.5.2025

## Tiivistelmä

Tekijä:	Juho Humalainen
Otsikko:	Logistiikka korkeassa rakentamisessa, Case Kirkkonummi
Sivumäärä:	66 sivua + 1 liite
Aika:	16.5.2025
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto:	Infrarakentaminen
Ohjaaja:	Yliopettaja, Mika Lindholm Projektipäällikkö, Andreas Elsing

---

Korkean rakentamisen yleistyessä Suomessa on rakennusurakoitsijoiden tulevaisuudessa arvioitava työmaan logistiikan hallinnan käytäntöjään ja niiden toimivuutta korkeassa rakentamisessa. Korkean rakentamisen logistiikan haasteena on pystyysuuntaisen logistiikan suuri tarve, haastavat sääolosuhteet ja voimakkaat tuulet sekä työmaa-alueen ahtaus ja varastointitilan puute.

Tässä työssä korkean rakentamisen logistiikan case-kohteena käytettiin Kirkkonummelle rakennettavan 185 metriä korkean kaapelinvalmistustornin työmaata, jonka pääurakoitsijana toimi YIT Infra Oy. Case-kohteeksi valikoitunut työmaa poikkesi rakenteeltaan yleisimmistä korkean rakentamisen kohteista, kuten asuinkerrostaloista, jonka vuoksi kohteella syntyi tarve selvittää tämän erityiskohteen logistiikan onnistumista ja erityispiirteitä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli dokumentoida case-kohteen työmaan logistiikan suunnittelu sekä toteutus ja tunnistaa tämän pohjalta korkeaan rakentamiseen liittyviä logistiikan erityispiirteitä ja haasteita sekä case-työmaan erityispiirteitä. Opinnäytetyö toteutettiin toimintatutkimuksena, jossa tutkimuksen toteuttaja toimi osana case-kohteen työmaaorganisaatiota työmaainsinöörin tehtävässä. Tutkimuksen aineistona käytettiin rakentamisen logistiikkaan keskittynyttä kirjallisuutta, case-kohteen työmaa-asiakirjoja sekä tutkimuksen toteuttajan havainnointia työmaan toiminnasta.

Työn lopputuotteena syntyi korkean rakentamisen logistiikan muistilista, jonka tavoitteena on toimia apuvälineenä uusien korkean rakentamisen hankkeita suunniteltaessa ja toteutettaessa.

Avainsanat: korkea rakentaminen, logistiikka, logistiikkamalli

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Juho Humalainen  
Title: Logistics in high-rise construction, Case Kirkkonummi  
Number of Pages: 66 pages + 1 appendices  
Date: 16 May 2025

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Degree Programme in Civil Engineering  
Specialisation option: Professional Major Environmental Construction  
Instructors: Mika Lindholm, Principal Lecturer  
Andreas Elsing, Project Manager

---

As high-rise construction becomes more common in Finland, construction contractors will need to evaluate their site logistics management practices and their functionality in high-rise construction in the future. The challenges of high-rise construction logistics are the high need for vertical logistics, challenging weather conditions and strong winds, cramped construction site area and the lack of storage space.

In this thesis, the construction site of a 185-meter-high cable manufacturing tower built on Kirkkonummi, for which YIT Infra Oy acts as the main contractor, is used as the case study for high-rise construction logistics. The construction site selected as the case study differed in structure from the most common high-rise construction sites, such as residential apartment buildings, which created a need to investigate the success and special characteristics of the logistics of this special site.

The aim of the thesis was to document the planning and implementation of the logistics of the case site and based on this, to identify the special features and challenges of logistics related to high-rise construction and the special features of the case site. The thesis was carried out as an action research, in which the researcher worked as part of the case site organization in the role of a site engineer. The research material used was literature focused on construction logistics, the case site documents and the researcher's observations of the site operations.

The final product of the work was a high-rise construction logistics checklist, the aim of which is to serve as an aid when planning and implementing new high-rise construction projects.

Keywords: high-rise construction, logistics, logistics model

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Logistiikka	3
2.1	Korkea rakentaminen	3
2.2	Logistiikka rakentamisessa	6
2.2.1	Työmaan materiaalitoimitukset	7
2.2.2	Työmaan sisäinen materiaalilogistiikka	13
2.3	Logistiikan erityispiirteet korkeassa rakentamisessa	15
2.3.1	Haasteet	15
2.3.2	Mahdollisuudet	18
3	Case Kirkkonummi	20
3.1	Tutkimuksen toteutus	20
3.2	Kohteen esittely	21
3.3	Logistiikan suunnittelu ja prosessit	24
3.4	Logistiikan toteutus	26
4	Havaintoja ja päätelmiä logistiikan toimivuudesta Case-kohteessa	43
4.1	Onnistumiset	43
4.2	Haasteet	46
4.3	Case-kohteen ja korkean rakentamisen erityispiirteet	54
4.4	Muistilista korkean rakentamisen logistiikkaan	60
5	Yhteenveto	61
	Lähteet	64
	Liitteet	67
	Liite 1. Muistilista korkean rakentamisen logistiikkaan	67

# 1 Johdanto

Korkean rakentamisen yleistyessä Suomessa on rakennusurakoitsijoiden tulevaisuudessa arvioitava työmaan logistiikan hallinnan käytäntöjään ja niiden toimivuutta korkeassa rakentamisessa. Rakentaminen on pohjimmiltaan suuri logistiikkaprojekti, jossa hankitaan suuri määrä rakennusmateriaaleja, tarvikkeita ja tuotantoresursseja samaan paikkaan, koostaen niistä toimivan rakennuksen (RIL 276-2021, 2021). Korkeassa rakentamisessa toimivan työmaalogistiikan merkitys korostuu edellä mainittujen rakennusmateriaalien, tarvikkeiden ja tuotantoresurssien matalaa rakennusta suuremman määrän sekä rakentamiseen käytössä olevan tilan rajallisuuden seurauksena.

Opinnäytetyö toteutetaan toimintatutkimuksena, jossa tutkimuksen toteuttaja toimii osana case-kohteen työmaaorganisaatiota työmaainsinöörin tehtävässä. Tutkimuksen aineistona käytetään rakentamisen logistiikkaan keskittynyttä kirjallisuutta, case-kohteen työmaa-asiakirjoja sekä tutkimuksen toteuttajan havainnointia työmaan toiminnasta.

Tässä työssä korkean rakentamisen logistiikan case-kohteena käytetään Kirkkonummelle rakennettavan 185 metriä korkean kaapelinvalmistustornin työmaata, jossa pääurakoitsijana toimii YIT Infra Oy. Case-kohteeksi valikoitunut työmaa Kirkkonummella poikkeaa rakenteiltaan yleisemmistä korkean rakentamisen kohteista, kuten asuinkerrostaloista, jonka vuoksi kohteella syntyi tarve selvittää tämän erityiskohteen logistiikan onnistumista ja erityispiirteitä sekä laatia kehitysehdotuksia. Opinnäytetyön tavoitteena on dokumentoida case-kohteen työmaan logistiikan suunnittelu sekä toteutus ja tunnistaa tämän pohjalta korkeaan rakentamiseen liittyviä logistiikan erityispiirteitä ja haasteita sekä case-työmaan erityispiirteitä.

Työn lopputuotteena syntyy korkean rakentamisen logistiikan muistilista, jonka tavoitteena on toimia apuna korkean rakentamisen kohteen logistiikan suunnittelussa ja toteutuksessa.

Työn luvussa 2. käsitellään kirjallisuuden avulla korkeaa rakentamista, rakentamisen logistiikkaa yleisesti sekä rakentamisen logistiikan erityispiirteitä korkeassa rakentamisessa. Luvussa 3. esitellään työssä käytetty case-kohde ja kohteen logistiikan suunnittelu sekä toteutus. Luvussa 4. käsitellään työn toteuttajan havainnointiin ja päättelyyn perustuen case-kohteen logistiikan onnistumisia, haasteita, case-kohteen ja korkean rakentamisen logistiikan erityispiirteitä sekä esitellään sanallisesti työn lopputuote.

## 2 Logistiikka

### 2.1 Korkea rakentaminen

Korkean rakentamisen määritelmä vaihtelee hieman eri maiden ja kaupunkien välillä. Korkea rakentaminen Helsingissä -selvityksessä käytettiin seuraavaa määritelmää, joka ei perustu rakennuksen kerrosmäärään tai absoluuttiseen korkeuteen.

Korkealla rakentamisella tarkoitetaan tässä raportissa kaupunkimaisemassa alueen siluettiin tai keskeisiin näkyymiin vaikuttavaa, ympäröivän rakennuskannan korkeuksista selkeästi poikkeavaa ja kauas näkyvää rakentamista (Lindroos A. 2011).

Helsingin kaupungin teettämässä korkean rakentamisen rakentamistapaohjeessa määritelmä oli seuraavanlainen.

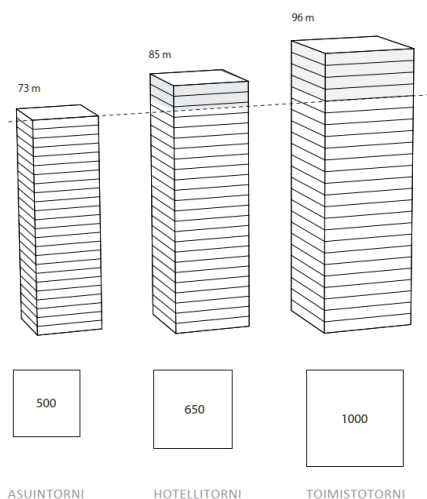
Korkean rakentamisen ohjekortteja on noudatettava aina, kun rakennettava rakennus on 16 kerrosta tai yli (mukaan lukien mahdolliset kellarikerrokset). Paloteknisiä ohjekortteja on lisäksi noudatettava aina, kun rakennuksen korkeus ylittää 56 metriä (Helsingin kaupunki, 2018).

Rakennukset määritellään ”korkeiksi” usein kerrosluvun perusteella, mutta kerrosmäärät vaihtelevat maittain. Virossa yli kymmenkerroksiset rakennukset ovat korkeita rakennuksia, mutta Israelissa taas korkeiksi rakennuksiksi määritellään yli 20-kerroksiset rakennukset (Seppänen, O. 2021). Kööpenhaminassa korkeaksi rakennukseksi määritellään rakennus, joka on vähintään 40 metrin tai 13 kerroksen korkuinen (Lindroos A. 2011). Tampereella korkeaksi rakennukseksi määritellään rakennus, joka on vähintään 35 metriä tai 12 kerrosta korkea (Ylä-Anttila, K. & Moisala, A. 2012).

Korkean rakentamisen taustalla on monia tekijöitä. Kaupunkisuunnittelun osalta korkeita rakennuksia perustellaan kaupunkirakenteen paremmalla hahmotettavuudella, ekotehokkuudella ja kaupunkikuvan vaihtelevuudella. Kalliiden infrastruktuurihankkeiden yhteydessä korkeaa rakentamista perustellaan usein maankäytön tehostamisella. Yritysmaailmassa korkeita rakennuksia saatetaan

perustella halulla näkyä kaupunkikuvassa. (Lindroos A. 2011) Lisääntyvä kysyntä uusille tiloille ja tonttien vähyys on kasvattanut maailmanlaajuisesti tarvetta rakentaa korkeita rakennuksia. Sama ilmiö on tunnistettu myös Suomessa, erityisesti pääkaupunkiseudun alueella. (Seppänen, O. 2021) Suomessa korkea rakentaminen on ollut suhteellisen vähäistä, mutta viimeisen vuosikymmenen aikana Suomeen on rakennettu useampia yli 100 metrin korkeuteen kohoavia rakennuksia mm. Helsingin Kalasatamaan ja Vuosaareen. Useat suomalaiset kaupungit ovat teettäneet selvityksiä korkeasta rakentamisesta ja sen vaikutuksista. Helsingissä ja Espoossa on kehitteillä hankkeita, jotka sisältävät korkeita rakennuksia, esimerkiksi Pasilan ja Keilaniemen alueille. (Lindroos A. 2011)

Korkeat rakennukset voidaan jakaa toiminnallisesti neljään eri pääryhmään: asuinrakennus, hotelli, toimistorakennus ja hybridirakennus, jossa yhdistyy useampi edellä mainituista toiminnallisuuksista. Rakennuksen toiminnallisuudella on vaikutus rakennuksen ulkomuotoon, niiden vaatiman kerroskorkeuden ja kerrosten pohjapinta-alan vaihdellessa. Kuvassa 1 on esitetty kolme 24-kerroksista rakennusta, joiden toiminnallinen sisältö eroaa toisistaan. Tämän myötä niiden kokonaiskorkeus ja pohjapinta-ala poikkeaa toisistaan. (Lindroos A. 2011.)

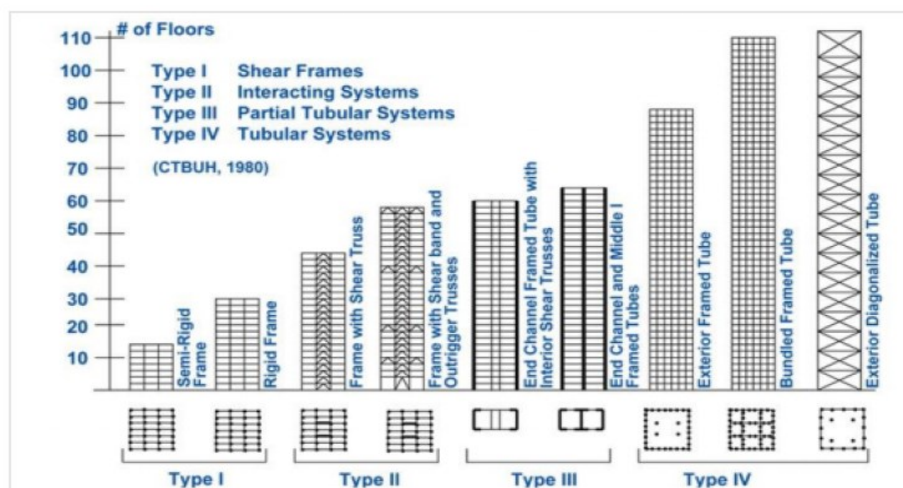


Kuva 1. Sama kerrosmäärä aiheuttaa erikokoisen pohjapinta-alan sekä kokonaiskorkeuden riippuen rakennuksen toiminnallisesta sisällöstä (Lindroos A. 2011).

Historiallisesti korkea rakentaminen on eroteltu kolmeen sukupolveen.

- Ensimmäinen sukupolvi (1900-luvun alku): Korkeiden rakennusten ulkoseinät olivat pääasiassa kiveä tai tiiltä.
- Toinen sukupolvi (1900-luvun puoliväli): Korkeat rakennukset olivat pääosin teräsrakenteisia läpi rakennuksen.
- Kolmas sukupolvi (2000-luvusta nykypäivään): Korkeat rakennukset ovat usein hybridijärjestelmiä ja niissä on enemmän kuin yksi rakennejärjestelmä. Tämän ajan korkeat rakennukset on usein rakennettu teräksestä, paikallavaletusta betonista tai näiden yhdistelmästä. (Seppänen, O. 2021.)

Korkeiden rakennusten runkojärjestelmiä on luokiteltu eri tavoilla. Käytetyt järjestelmät muuttuvat rakennuksen kerrosmäärän kasvaessa. Korkean rakentamisen rakenneratkaisut on yleisemmällä tasolla jaettu kahteen luokkaan. Sisäisten rakenteiden luokkaan kuuluu rakennukset, joiden kantavat rakenteet ovat pääosin rakennuksen sisällä. Näihin kuuluvat kehäjäykistys (rigid frames), jäykistävä seinä (shear wall) ja vaakasuuntaiset jäykistävät "outrigger" -rakenteet. Ulkoisten rakenteiden luokassa kantavat rakenteet sijaitsevat rakennuksen ulko-kuorella. Tähän luokkaan kuuluvat kehämäinen putkirakenne (framed tube), jäykistetty putkirakenne (braced tube) ja niputettu putkirakenne (bundled tube). Esimerkkityyppejä korkeiden rakennusten runkojärjestelmistä on esitetty kuvassa 2. (Seppänen, O. 2021.)



Kuva 2. Korkean rakentamisen runkoratkaisujen kehitys ja tyypit (Seppänen, O. 2021).

## 2.2 Logistiikka rakentamisessa

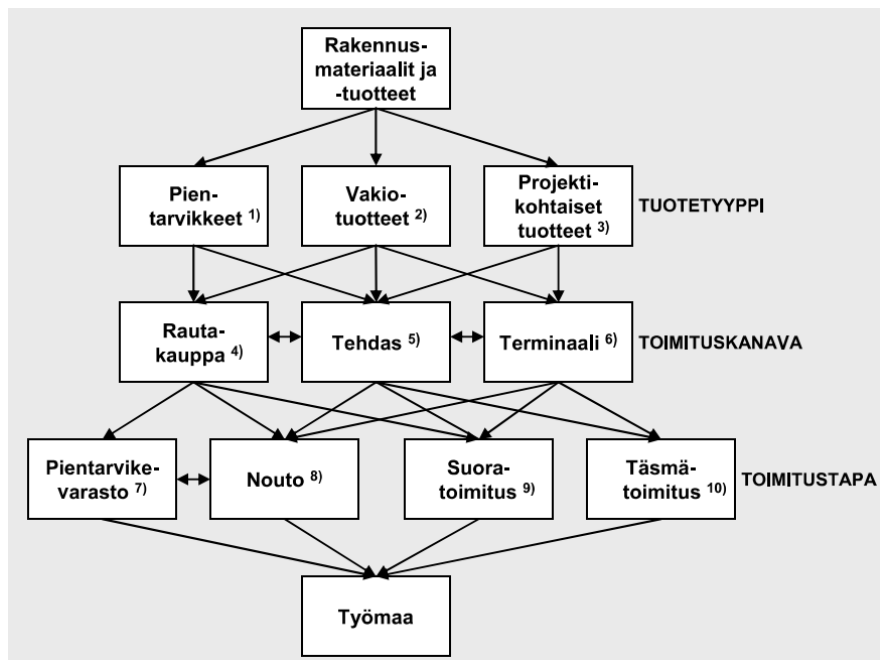
Logistiikkaa on toteutettu niin kauan kuin tuotteiden tai palveluiden vaihdantaa on tapahtunut. Käsitettä on alettu käyttämään Yhdysvalloissa liikkeenjohdon terminä 1950-luvulla. Tätä ennen logistiikka on yhdistetty lähinnä armeijan toimintoihin. Myöhemmin huomio on siirtynyt suuremmissa määrin kustannusten vähentämiseen sekä kuljetusten ja varastoinnin kehittämiseen. Koko tilaus-toimitusketjun hallintaan keskittyminen on alkanut 2000-luvulla. (Ritvanen, V. 2011.) Logistiikka merkitsee materiaali- ja tietovirtojen, hankinta-, huolto- ja kuljetuspalveluiden, tuotannon ja jakelun, palvelutoiminnan sekä asiakassuhteiden kokonaisvaltaista johtamista ja kehittämistä (Logistiikan Maailma, 2.11.2024). Logistiikka voidaan myös määritellä lyhyesti olevan tuotteen tai palvelun ja siihen liittyvän tiedon ja rahan hallintaa organisaatiossa asiakastarpeiden tyydyttämiseksi (Ritvanen, V. 2011).

Rakentaminen on pohjimmiltaan suuri logistiikkaprojekti, jossa hankitaan suuri määrä rakennusmateriaaleja, tarvikkeita ja tuotantoresursseja samaan paikkaan, koostaen niistä toimivan rakennuksen (RIL 276-2021, 2021). Toimitusketjulla tarkoitetaan palveluiden tai tavaroiden tuotannossa raaka-aineiden ja loppuasiakkaan välille muodostuvaa erilaisten materiaali- raha- ja tietovirtojen verkostoa (Logistiikan Maailma, 2.11.2024). Rakentamisen toimitusketjussa kaikki rakennusmateriaali ohjataan työmaalle, jossa niistä kootaan halutunlainen rakennus. Rakennus on tämän toimitusketjun ainoa tuote, toisin kuin tuotantojärjestelmissä, joissa useita tuotteita kulkee tehtaan lävitse ja ne jaetaan useille asiakkaille. Rakentamisen toimitusketju on harvoja poikkeuksia lukuun ottamatta väliaikainen toimitusketju, joka tuottaa kertaluonteisia rakennusprojekteja projektiorganisaation toistuvien uudelleenjärjestelyiden kautta. Tämän vuoksi rakentamisen toimitusketjulle tyypillisiä piirteitä ovat epävakaus, pirstoutuminen ja rakennuksen suunnittelun sekä varsinaisen rakentamisen toisistaan erillään oleminen. Tämä on tyypillinen tilauksesta valmistus – toimitusketju, jossa jokaiseen rakennusprojektiin luodaan uusi tuote ja toistoa on vähän, pieniä poikkeuksia lukuun ottamatta. (Vrijhoef, R. 2000.)

Rakennustyömaan toimitusten suunnittelulla ja ohjauksella varmistetaan, että tarvittavat rakennusmateriaalit ja -tuotteet saadaan työmaalle pienin kustannuksin, oikeaan aikaan ja oikean suuruisina toimituserinä sekä varastoidaan ja käsitellään tehokkaasti. Tyypillisiä seurauksia huonosti hoidetusta toimitusten suunnittelusta ja ohjauksesta ovat töiden viivästyminen toimitusten myöhästyessä, tuotteiden vaurioituminen virheellisen tai pitkän varastoinnin vuoksi, ylimääräiset materiaalien siirtoerot työmaalla, työnjohdon ajan kuluminen toimitusongelmien ratkomiseen sekä kiiretoimituksista ja rautakauppanoudoista aiheutuvat turhat kustannukset. (Palolahti T. 2009.) Työmaan logistiikkaa voi pitää onnistuneena, jos materiaali on käytettävissä oikeaan aikaan asennuspai- kalla ilman, että se on häirinnyt työn tehokasta toteuttamista (Peltokorpi, A. 2018-2019).

### 2.2.1 Työmaan materiaalitoimitukset

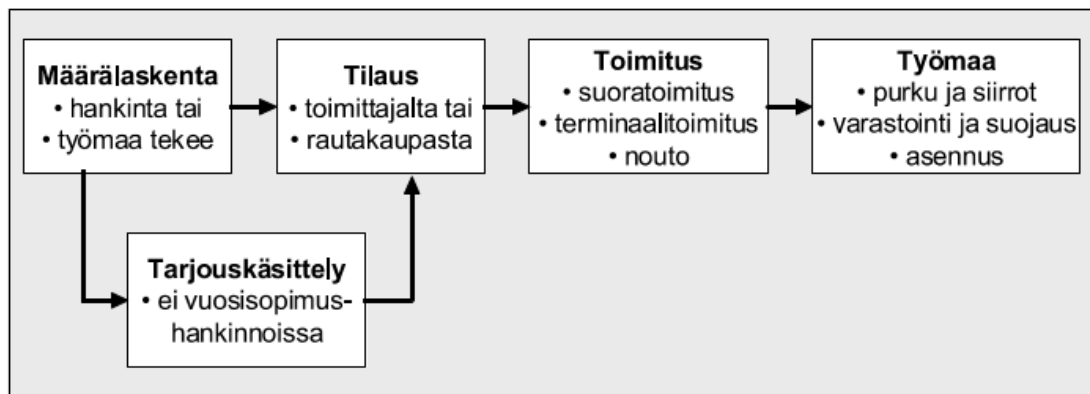
Rakennustyömaan materiaalitoimituksia voidaan hahmottaa jaotteleamalla niitä tuotetyyppien, toimituskanavien ja toimitustyyppien mukaan (Palolahti T. 2009).



Kuva 3. Toimitusten jaottelu tuotetyypin, toimituskanavan ja toimitustavan mukaan (Palolahti T. 2009).

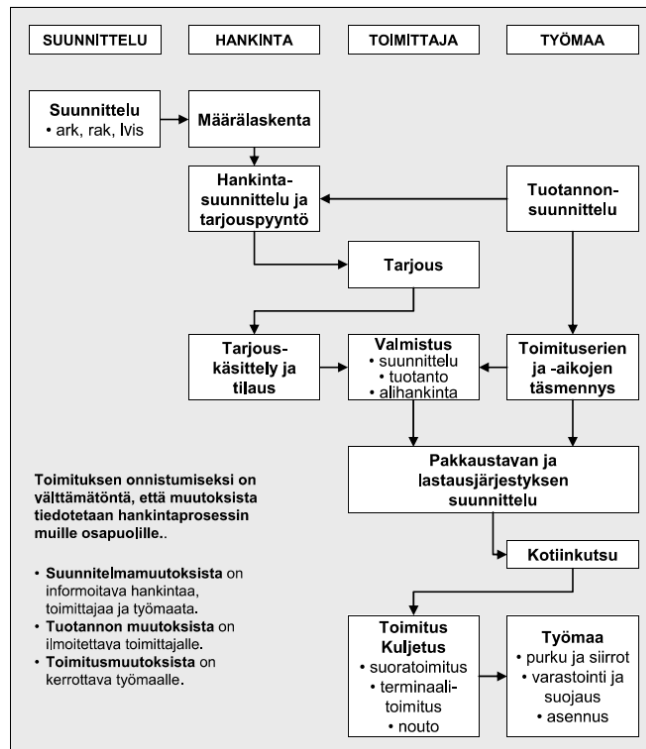
## Tuotetyypit

Vakiotuotteilla ei ole hankekohtaisia erityispiirteitä ja ne eivät vaadi kohdekohtaista suunnittelua, vaan ne kuuluvat valmistajan yleisesti saatavilla olevaan tuotevalikoimaan. Osa vakiotuotteista, kuten levytuotteet ja puutavara, valmistetaan varastoon ja osa tehdään tilauksesta tiettyyn kohteeseen, kuten betonimassa. Vakiotuotteista urakoitsijalla on mahdollista sopia kausi- ja vuosisopimuksia toimittajan kanssa, jolloin kilpailutusta ei tarvitse suorittaa useaan kertaan eri työmailla. (Palolahti T. 2009) Vakiotuotteet varastoidaan usein työmaan runkovaiheen aikana rakennuksen sisälle tai työmaan ulko-varastoon (Peltokorpi, A. 2018-2019).



Kuva 4. Vakiotuotteiden hankinta- ja toimitusketjun päävaiheet (Palolahti T. 2009).

Projektikohtaiset tuotteet suunnitellaan ja valmistetaan yksilöllisesti rakennuskohteeseen sopiviksi. Projektikohtaisia tuotteita ovat muun muassa ikkunat ja betonielementit. Projektikohtaisien tuotteiden logistiikassa korostuu tiedonkulun varmistaminen suunnittelun, tuotetoimittajan ja urakoitsijan välillä suunnitelmien tai toimitusaikataulun muuttuessa. (Palolahti T. 2009.)



Kuva 5. Projektikohtaisten tuotteiden hankinta- ja toimitusketjun päävaiheet (Palolahti T. 2009).

Pientarvikkeet ovat kohteesta riippumattomia tuotteita, kuten työkaluja, poranteriä ja katkaisulaikkoja. Pientarvikkeita hankitaan tarpeen mukaan pientarvikevarastosta tai rautakaupasta. (Palolahti T. 2009)

### *Toimituskanavat*

Tehdastoimituksessa materiaalit ja tuotteet kuljetetaan suoraan tuotteen valmistajan tai maahantuojan varastosta työmaalle ja kuljetuksessa on vain kyseisen valmistajan tuotteita (Palolahti T. 2009).

Terminaali-toimituksessa valmistajat toimittavat tuotteensa terminaaliin, joka toimii tuotteiden välivarastona ennen työmaalle toimitusta. Tämä mahdollistaa useiden eri toimittajien tuotteiden yhdistämisen samaan täsmätoimitukseen työmaalle kerroksittain tai lohkoittain sekä tuotteiden setittämisen tietyn työvaiheen ja alueen asennuspaketiksi. (Palolahti T. 2009.) Terminaalin, josta puhutaan myös logistiikkakeskuksena, hyötyinä ovat työmaalla tarvittavan varastointitilan

vähentyminen, tilaus-toimitus-viiveen pienentyminen, saatavuusriskin vähentyminen ja täsmätoimitusten sekä setittämisen mahdollistuminen. Terminaali voi toimia myös pitkän toimitusajan omaavien tuotteiden välivarastointi paikkana. (Peltokorpi, A. 2018-2019.) Puskurivarastolla tarkoitetaan varastoa, jolla turvataan materiaalin saanti täydennystoimitusten epävarmuudesta ja kysynnän vaihteluista huolimatta (Logistiikan Maailma, 8.10.2024). Materiaalin puskurivarastolla työmaalla tai logistiikkakeskuksessa on parantava vaikutus työmaan työnkulun luotettavuuteen, mutta puskurivarastointi vähentää työmaan käytössä olevan tilan määrää (Seppänen, O., & Peltokorpi, A. 2016). Logistiikkakeskuksen käyttö mahdollistaa tuotteiden setityksen eli tietyssä työvaiheessa tarvittavien materiaalien pakkaamisen asennuspaketiksi, esimerkiksi huoneistokohtaisesti. Tämä edellyttää tarkkaa alue- ja mestakohtaista materiaaliilistausta, suunnittelun, työmaan, alirakkoitsijoiden ja logistiikkakeskuksen hyvää yhteistyötä sekä dynaamista aikataulunhallintaa. (Peltokorpi, A. 2018-2019.)

Rautakaupasta tai tukkuliikkeen varastosta toimitettaessa kuormiin voidaan yhdistellä eri toimittajien tuotteita, mutta setitys työkohteittain tai pakkaaminen esimerkiksi huoneistokohtaisesti ei ole kuitenkaan käytännössä mahdollista (Palo-lahti T. 2009).



Kuva 6. Logistiikkakeskusten hyödyntäminen erilaisissa käyttötapauksissa (Peltokorpi, A. 2018-2019).

### *Toimitustavat*

Täsmätoimituksessa toimitussisältö on pakattu toimituskohteittain, kuten kerros- tai asuntokohtaisesti. Täsmätoimituksen tullessa terminaalista, voidaan toimitukseen pakata useiden toimittajien tuotteita. Täsmätoimituksen onnistuminen vaatii tiedonkulun varmistamista työmaan, toimittajan ja terminaalin välillä. (Palolahti T. 2009.) Täsmätoimitusten päätarkoituksena on vähentää varastointia työmaalla, josta aiheutuu materiaalihukkaa, käsittelykustannuksia sekä haittaa muiden työvaiheiden tehokkaalle toteuttamiselle (Peltokorpi, A. 2018-2019). Täsmätoimitusten onnistumisen kannalta tärkeää on täsmällinen työmaan tuotannon aikataulut, jossa työvaiheet etenevät ennustetulla nopeudella ja alkavat sekä päättyvät suunniteltuun aikaan (RIL 276-2021, 2021). Building 2030 Rakentamisen logistiikkaratkaisut – osahankkeen loppuraportissa esitetään elementtien täsmätoimituksia suoraan tehtaalta toimivaksi tavaksi runkorakentamisvaiheeseen. Esitetyssä mallissa rungon elementit toimitetaan tehtaalta työmaalle asennusaikataulun mukaisesti ja asennus tapahtuu suoraan kuormasta. Raportissa nostetaan ratkaisun toimivuuden kannalta keskeisiksi asioiksi reaaliaikaisesti päivittyvä elementtikohtainen asennussuunnitelma ja tilannetiedon jakaminen suunnittelun, tuotannon ja työmaan välillä muutostilanteissa. (Peltokorpi, A. 2018-2019.)

Rautakauppatoimituksessa tuotteet toimitetaan rautakaupan tai tukkuliikkeen varastosta työmaalle. Toimitus voi sisältää useiden eri toimittajien tuotteita. (Palolahti T. 2009.)

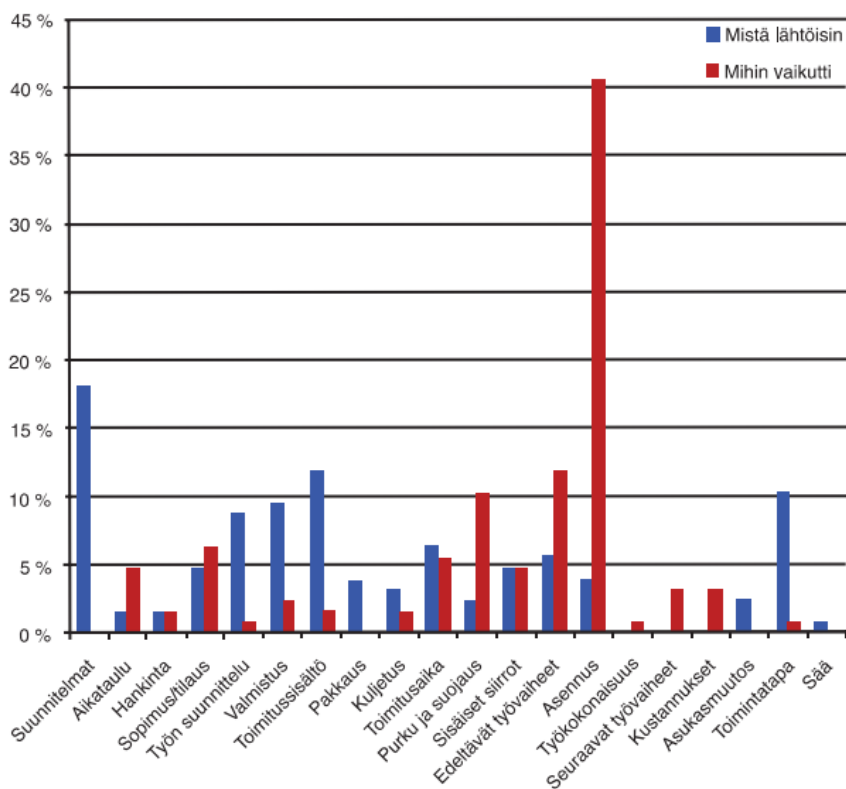
Suoratoimituksessa tuotteet toimitetaan työmaalle ja työmaan henkilöstö varastoi ne sovittuun paikkaan tai siirtää asennuskohteeseen (Palolahti T. 2009).

Pientarvikevarasto on työmaalla sijaitseva varasto, jota voi ylläpitää työmaa itse, rautakauppa tai toimittaja (Palolahti T. 2009). Pientarvikevaraston käytöllä on useita hyötyjä työmaalle, kuten logistiikan vastuun siirtyminen toimittajalle, tehokas osto- ja laskutusprosessi, hukan vähentyminen ja turhien noutojen ja kuljetuksien poisjääminen. Pientarvikevarastosta saatavan hyödyn kannalta

oleellista on ajantasainen tieto eri urakoitsijoiden tarvitsemista pientarvikkeista eri rakennusvaiheissa ja vuodenaikoina. (Peltokorpi, A. 2018-2019.)

Materiaalin nouto valmistajan, maahantuojan tai rautakaupan varastosta kertoo usein huonosta toimitusten hallinnasta ja sitä voidaan vain harvoin pitää perusteltuna ja tehokkaana toimitustapana (Palolahti T. 2009). Materiaalien noutamista tulisi välttää ja täten vapauttaa työntekijöiden aikaa tuottavaan työhön (Peltokorpi, A. 2018-2019).

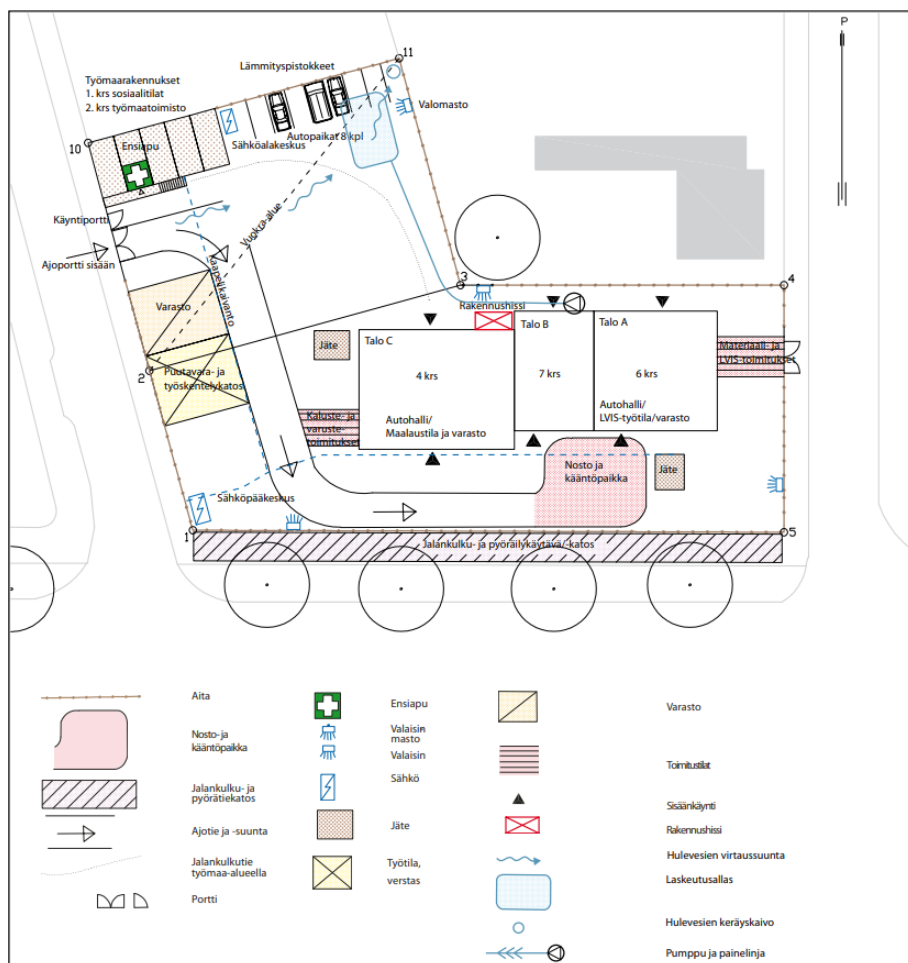
Rakennustyömaan toimitusten ohjaus -kirjan laadinnan yhteydessä kirjoittajat seurasivat useiden työmaiden materiaalitoimituksia ja totesivat työmaan toimitusten hallinnassa suurimmaksi poikkeamien aiheuttajaksi suunnitelmat ja toimittussisältö. Tärkeänä asiana nostettiin hyvä tiedonkulku suunnitelmamuutoksista suunnittelusta työmaahenkilökunnalle ja työmaalta eteenpäin toimittajille. (Palolahti T. 2009.)



Kuva 7. Työmaan haitallisesti tai neutraalisti vaikuttaneiden poikkeamien aiheutumissyyn ja ilmenemisen (Palolahti T. 2009).

## 2.2.2 Työmaan sisäinen materiaalogistiikka

Työmaan logistiikan suunnittelu on tärkeää aloittaa riittävän aikaisessa vaiheessa ja siinä on otettava huomioon materiaalien vastaanotto-, purku- ja varastointipaikat, ajo- ja kulkureitit, materiaalien siirtoreitit, listaus runkovaiheessa holveille nostettavista materiaaleista ja niiden suojauksesta sekä työmaan suunniteltu lohko- ja paikkajako. Asiat esitetään nosto- ja siirtokalustusuunnitelmissa ja työmaan aluesuunnitelmassa. (Palolahti T. 2009.) Aluesuunnitelmassa esitetään työmaa-alueen rajat, työmaatilojen sijainti, liikenneväylät sekä kulkutiet, työmaan jätehuoltojärjestelyt, työmaan nosto- ja siirtojärjestelyt, tilavaraukset ja purku-, lastaus ja varastointialueet (Auli O. 2017). Aluesuunnitelmaa tulee päivittää työmaan edetessä vähintään maanrakennus-, runko- ja sisävalmistusvaiheittain (Palolahti T. 2009).



Kuva 8. Esimerkki työmaan aluesuunnitelmasta (Auli O. 2017).

Työmaan nosto- ja siirtojärjestelyitä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon torninosturin sijoittaminen siirrettäviin kuormiin nähden keskeiseen sijaintiin ja varmistaa nostokyky ja -ulottuvuus sekä maapohjien kantavuus nostopaikoilla. Työnaikaisten henkilö- ja tavarahissien sijoittamista varten on kartoitettava hissien käytön tarve, sijoituspaikat työmaalla, hissien tuentatarve ja maapohjan kantavuus sekä työmaan kulkutiet. (Auli O. 2017.) Työmaan nosto- ja siirtokalusto voidaan jakaa päänostokoneeseen sekä muuhun nosto- ja siirtokalustoon (Kone-Ratu 04-3009, 1990). Päänostokoneena voi toimia torninosturi tai ajoneuvonosturi ja sillä tehdään työmaan tärkeimmät, aikataulun kriittisellä polulla olevien työvaiheiden nostot ja siirrot. Kriittisen polun työvaiheiden nostoja ovat usein runkovaiheen betonielementtien nostot tai paikallavalukohteessa muottikaluston, raudoitteiden ja betonin nostot. Päänosturityypin valintaan vaikuttaa tarvittavat nostoetäisyydet ja -momentit, rakennusajan kesto ja työmaan laajuus. (Koski H. 2010.) Päänostokoneen lisäksi työmaalla voidaan tarvita apunostokonetta ja muuta nosto- siirtokalustoa (Kone-Ratu 04-3009, 1990).

NOSTO- JA SIIRTOKONEET	NOSTO- JA SIIRTOAPUVÄLINEET
<ul style="list-style-type: none"> <li>* ajoneuvonosturi</li> <li>* torninosturi</li> <li> </li> <li>* dumpperi</li> <li>* mikrokuormaaja</li> <li>* moottoroitu kuljetusvaunu</li> <li>* pienkuormaaja</li> <li>* traktori</li> <li>* kauhakuormaaja</li> <li>* teleskooppikuormaaja/trukki/kurottaja</li> <li> </li> <li>* materiaalipumppu</li> <li>* materiaalin siirtopuhallin</li> <li>* suurtehoimuri</li> <li>* hihnakuljetin</li> <li> </li> <li>* rakennus-/tavara-/telinehissi</li> <li>* tikasnostin</li> <li>* lavanostin</li> <li>* purkukouru/-kuilu</li> <li>* rakennuksen hissi</li> <li> </li> <li>* teleskooppipuominostin</li> <li>* teleskooppinen nivelpuominostin</li> <li>* nivelpuominostin</li> <li>* ajettava nivelpuominostin/kuukulkija</li> <li>* saksilava/teleskooppi/hissityölava</li> <li>* riipputeline/nostokori/nostoistuin</li> <li> </li> <li>* helikopteri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* kottikärry</li> <li>* kärry/vaunu</li> <li>* kuljetusalusta/-rullat</li> <li>* moottoroitu siirtoalusta</li> <li>* haarukkavaunu</li> <li> </li> <li>* porrasapulaite</li> <li>* asennusteline</li> <li> </li> <li>* nostohäkki/-lava/-astia/-verkko</li> <li>* nostoraksit/ketjut/liinat</li> <li> </li> <li>* nostotunkki/nostotyyny</li> <li> </li> <li>* vinssi/talja</li> </ul>

Kuva 9. Työmaalla käytettäviä nosto- ja siirtokoneita sekä nosto- ja siirtoapuvälineitä (Kone-Ratu 04-3009, 1990).

Työmaan nosto- ja siirtokaluston suunnittelu voidaan jakaa neljään vaiheeseen, joiden aikana tavoitteena on saada valittua kohteeseen soveltuva kalusto ja suunnitella sen käyttö.

- Suunnitteluperusteiden selvittäminen.
- Järjestelmävaihtoehtojen määrittäminen.
- Järjestelmävaihtoehtojen vertailu ja valinta.
- Käytön suunnittelu.

Suunnitteluperusteiden selvittämisessä analysoidaan hankkeen perustietojen, kuten aikataulun, määräluettelon ja suunnitelmien pohjalta, nosto- ja siirtotarpeet sekä kalustolle asetetut vaatimukset ja rajoitteet. Suunnitteluperusteiden, kuten siirtomäärien, maksimikuormien, ulottuman, nostokorkeuden ja nostomomentin, perusteella määritellään kohteeseen soveltuvat järjestelmävaihtoehdot. Kohteeseen soveltuvien järjestelmävaihtoehtojen teknistä soveltuvuutta ja kustannuksia vertailemalla päästään tekemään hyvin perusteltu valinta nosto- ja siirtokalustosta hankkeelle. Kaluston käytön suunnitteluvaiheessa varmistetaan koneiden ja laitteiden saatavuus, niiden tehokas ja turvallinen käyttö sekä resurssien oikea jako. (Kone-Ratu 04-3009, 1990.)

## 2.3 Logistiikan erityispiirteet korkeassa rakentamisessa

Tässä kappaleessa käydään läpi korkean rakentamisen logistiikan erityispiirteitä sekä millaisia haasteita tai mahdollisuuksia rakennuksen korkeus logistiikan toteuttamiselle aiheuttaa.

### 2.3.1 Haasteet

#### *Pystysuuntaisen logistiikan suuri tarve rakentamisaikana*

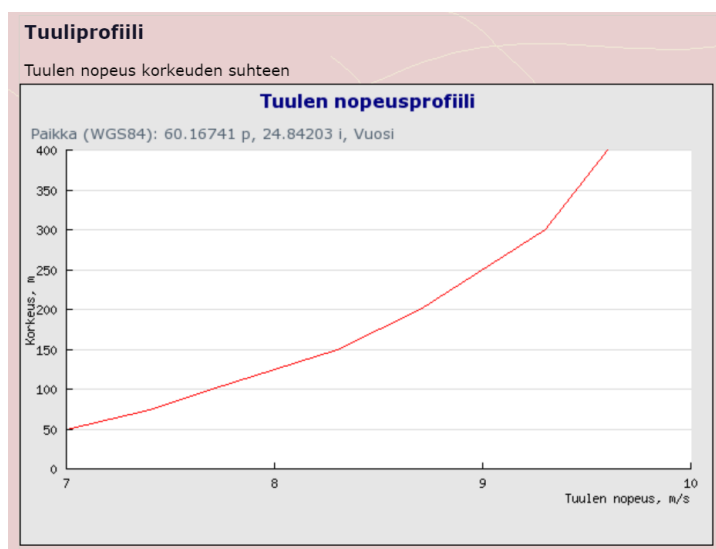
Building 2030 korkea rakentaminen -tutkimuksessa mainitaan korkean rakentamisen pystylogistiikka, eli työvoiman ja materiaalien kuljetus oikeaan kerrokseen, työmaan logistiikan kannalta yhdeksi tärkeimmistä asioista. Tutkimuksessa haastatellut pitivät erityisesti hissien ja nosturien hallintaa keskeisenä

asiana tuotannon onnistumisen kannalta. Tutkimuksessa israelilainen yritys Tidhar Construction nosti torninosturien ja työmaahissien määrän sekä sijoittelun onnistuneen suunnittelun yhdeksi tärkeimmistä asioista pystylogistiikan onnistumisen kannalta. Tutkimuksessa todetaan kansainvälisten vieraiden kiinnittäneen huomiota nosturien alhaiseen käyttöasteeseen Suomessa. Korkeassa rakentamisessa viiveet rakennusaikaisten hissien odotusajoissa ja materiaalien kerrokseen toimituksessa kertaantuvat pystysuuntaisten kulkumatkojen ollessa pitkiä. Tutkimuksessa luotiin simulaatiomalli, jolla pystyttäisiin arvioimaan eri strategioita logistiikan toteuttamiseen, kuten työnaikaisten hissien määrää, materiaalien siirtojen ja taukotilojen sijoittelun vaikutuksia työmaan pystylogistiikan tehokkuuteen. Simuloinnissa arvioinnin mittareina toimi järjestelmän viive eli kuinka kauan työntekijällä kestää siirtyä työmaalla kerroksesta toiseen ja käyttöaste eli kuinka suuren osan työpäivästään työntekijä oli aikataulun mukaisessa työkohteessa. Tutkimuksen huomattiin, että korkeassa rakentamisessa taukotilojen sijoittaminen kerrokseen sen sijaan, että taukotilat olisivat vain pohjakerroksessa, vaikutti järjestelmän viiveeseen jopa enemmän kuin hissien määrän muuttaminen. (Seppänen O. 2021.) Erityisesti korkeassa rakentamisessa valmistuvan rakennuksen lopullisten hissien käyttöönotto jo rakentamisaikana tehostaa työmaan pystylogistiikkaa. Tehokas työmaan pystysiirtojärjestelmä parantaa työmaatuotannon tuottavuutta, joustavuutta ja työolosuhteita. (Lehtinen, J. 1995.) Korkeassa rakentamisessa tulisi panostaa tarkkoihin materiaalilueteloihin, jotta kerrokseen saadaan haalattua juuri oikea määrä materiaalia. Materiaalin ylimääräinen siirtely kerroksesta toiseen tai rakennuksesta ulos lisää hissien turhaa käyttöä. (Seppänen O. 2021.)

### *Olosuhteet*

Korkeassa rakentamisessa tarvittavan nostokorkeuden ylittäessä 40 m työmaan päänostokoneeksi valikoituu todennäköisesti torninosturi ja rakennushissejä tarvitaan materiaalin ja henkilöiden kuljettamiseen kerrokseen (Kone-Ratu 04-3009, 1990). Nostureilla suoritettavan nostotyön tuuliraja on yleisesti 15 m/s ja riippuen nostettavan kappaleen ominaisuuksista, tätäkin matalampi. Suuren pinta-alan omaavat kappaleet ovat tuulelle herkkiä. (Palolahti T. 2010.) Potain

MDT 389 torninosturin käyttöohjekirjassa mainittu suurin käytönaikainen tuulenopeus puuskissa on 20 m/s (Potain MDT 389 käyttöohjekirja). Alimak Scando 10/30 henkilötavarahissin käyttöohjeissa rakennuksen ulkopuolelle asennettuna hissien käytön tuuliraja on 20 m/s (Alimak Scando 10/30 käyttöohjekirja).



Kuva 10. Vuoden tuulen keskinopeus korkeuden suhteen Espoossa Keilaniemen alueella (Suomen Tuuliatlas, 2024).

Tuulen voimakkuuden kasvaessa korkeammalle mentäessä, on tuulen nostotyöhön ja rakennushisseihin aiheuttamien häiriöiden huomioon ottaminen rakentamisen suunnittelussa erityisen tärkeää korkeassa rakentamisessa. Korkeassa rakentamisessa nostotyötä voi myös haitata matalalla olevat pilvet ja sumu, joka voi estää torninosturin kuljettajan näkyvyyttä ja noston turvallinen toteuttaminen estyy.

### *Työmaa-alueen ahtaus ja varastointitilan puute*

Korkeaa rakentamista perustellaan maankäytön tehostamisella, tiiviin rakentamisen hyödyillä joukkoliikenteelle ja infrastruktuurin vähäisemmälle tarpeelle verrattuna haja-asutusalueihin. Tornitalot rakennetaan tämän vuoksi tyypillisesti keskeisille sijainneille. (Lindroos A. 2011.) Rakentamisen keskittyminen ahtaille kaupunkialueille korostaa logistiikalle asetettuja vaatimuksia (Peltokorpi A.

2017-2018). Korkeiden rakennusten sijainti kaupunkien keskeisillä paikoilla tarkoittaa, että näillä työmailla varastointitilaa on usein hyvin vähän ja logistiikan toimivuuteen kohdistuu tämä johdosta tavanomaista suurempi paine.

### 2.3.2 Mahdollisuudet

#### *Teollinen rakentaminen ja tahtituotanto*

Tahtituotannon on esitetty tuovan hyötyjä erityisesti suuren toistuvuuden omaavissa rakennushankkeissa, joihin korkean rakentamisen hankkeet lukeutuvat kerrosten suuren määrän vuoksi. Tahtituotannon rytmitetty eteneminen on hyvin yhdistettävissä korkeiden rakennusten suureen määrään toistuvia kerroksia ja tiloja. Materiaalivirtojen sitominen tarkkaan tahtisuunnitelmaan voisi auttaa erityisesti pystylogistiikan hallinnassa sekä juuri-oikeaan-aikaan toimitusten mahdollistamisessa. (Seppänen O. 2021.) Peltokorpi A, ym. mainitsevat tutkimuksensa keskeisenä johtopäätöksenä sen, että työmaiden tulisi laatia sijaintikohtaisiin tehtäviin sidottu materiaalityösuunnitelma ja aikataulu osaksi työmaan toiminnanohjausta (Peltokorpi A. 2017-2018). Seppänen O. ym. tutkimuksessa haastatellut rakentamisen asiantuntijat kokivat, että korkea rakentaminen antaa hyvän mahdollisuuden teollisten prosessien, kuten tahtituotannon, hyödyntämiseen ja nämä nähtiin keskeiseksi onnistumistekijäksi korkeassa rakentamisessa. Tahtituotannon nähtiin myös antavan hyvän pohjan materiaalityösuunnittelulle. Korkea rakentaminen tarjoaa erinomaiset mahdollisuudet hyödyntää skaalautuvuutta edukseen. Tahtituotannon rytmiin päästään usein vasta 4-5 kerroksen jälkeen, ja rytmin löytymisen hyödyistä ei matalissa rakennuksissa täten päästä hyötymään. Tarkalle tasolle viety tahtisuunnittelu vaatii paljon aikaa ja resursseja, mutta haastateltujen mukaan se maksaa itsensä takaisin korkeassa rakentamisessa, kun samaa toistuvaa prosessia voidaan hyödyntää kerroksesta toiseen. (Seppänen O. 2021.)

### *Työskentelyn siirtäminen pois korkeasta rakennuksesta ja esivalmistus*

Materiaalien siirtoa työmaalla sisävalmistusvaiheessa voidaan vähentää siirtämällä kokoonpanoa mahdollisimman paljon pois työmaalta käyttämällä esivalmisteita. Esivalmistusasteen nostaminen nousi Seppänen O. ym. toteuttamassa kansainvälisessä tutkimuksessa olennaiseksi onnistumistekijäksi korkean rakentamisen kohteissa (Seppänen O. 2021). Esivalmisteiden hyödyntäminen yksinkertaistaa ja helpottaa työmaan toiminnan suunnittelua ja työmaan toteutusta sekä siirtää osan tuotannosta tehokkaamman teollisen valmistuksen piiriin (RIL 276-2021, 2021). Visio 2030 Teollinen rakentaminen -tutkimusenyhteydessä haastateltujen pääurakoitsijoina toimivien henkilöiden mielestä esivalmistus mahdollistaa hankkeiden nopeamman läpimenoajan ja työmaan johtaminen ja logistiikka helpottuu (Peltokorpi A. 2017-2018).

### *Työmaan logistiikan keskittäminen ja logistiikkakeskuksen käyttö*

Työmaan logistiikan keskittäminen ja erottaminen arvoa tuottavasta työstä koettiin tutkimuksessa haastateltujen keskuudessa keskeisenä onnistumisen mahdollistajana korkeassa rakentamisessa (Seppänen O. 2021). Logistiikkakeskuksen käyttö vähentää yleensä saatavuusriskiä ja lyhentää tilaus-toimitus-viivettä työmaalle. Logistiikkakeskus auttaa täsmätoimituksien toteutuksessa ja voi toimia myös välivarastona pitkän toimitusajan omaaville tuotteille. Logistiikkakeskus myös mahdollistaa materiaalien setityksen. (Peltokorpi A. 2017-2018.) Tuotannon suunnitteluvaiheessa on kriittistä ottaa huomioon logistiikkaurakoitsijan osaaminen työmaalogistiikan hallinnassa, jotta tehokas tuotanto on mahdollista (Seppänen O. 2021). Keskitetyllä logistiikkamallilla, jossa käytetään logistiikkakeskusta, voidaan olettaa olevan työmaan materiaalivarastoja pienentävä ja koko toimitusketjun kustannustehokkuutta parantava vaikutus (Hamzeh, F. 2007).

## 3 Case Kirkkonummi

### 3.1 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutettiin toimintatutkimuksena, jossa tutkimuksen toteuttaja toimi osana case-kohteen työmaaorganisaatiota työmaainsinöörin tehtävässä. Tutkimuksen aineistona käytettiin case-kohteen työmaa-asiakirjoja ja tutkimuksen toteuttajan havainnointia työmaan logistiikan toimivuudesta. Tutkimusaineistona käytettiin mm. työmaan kokouspöytäkirjoja, aluesuunnitelmia, logistiikkasuunnitelmia ja aikatauluja. Työmaalla kerättiin tietoa mm. voimakkaan tuulen aiheuttamista häiriöistä, materiaalien toimitusvarmuudesta, häiriöistä materiaalitöimiuksissa ja niiden aiheuttajista, suunnittelemattomista materiaalitöimiuksista, materiaalin siirroista kerroksesta toiseen tai ulos rakennuksesta ja jätehuoltoon liittyvistä häiriöistä. Tutkimuksen toteuttaja käytti kerättyä tietoa päätelmien tekemiseen logistiikan toimivuudesta case-kohteessa.

Tutkimuksen tavoitteena oli dokumentoida case-kohteen logistiikan suunnittelu ja toteutus. Dokumentoinnin pohjalta tavoitteena oli tunnistaa case-kohteen avulla tärkeimmät korkean rakentamisen logistiikan erityispiirteet ja haasteet. Case-kohte poikkesi rakenteeltaan yleisemmistä korkean rakentamisen kohteista, kuten asuinkerrostaloista. Tämän takia kohteella oli tarve selvittää erityiskohteen logistiikan onnistumista ja erityispiirteitä sekä laatia kehitysehdotuksia.

Tutkimuskohteena toimii kohdeyrityksen työmaa Kirkkonummella ja tutkimusta lähestytään rakennushankkeen päätoteuttajan näkökulmasta. Logistiikan suunnittelun ja toteutuksen osalta tutkimus rajataan koskemaan urakan tarjousvaiheen ja rakentamisvaiheen välistä ajanjaksoa ja logistiikan toimitusketjusta käsitellään lähinnä rakentamisaikaista työmaan sisälogistiikkaa.

Tutkimuksen lopputuotteena syntyi korkean rakentamisen logistiikan muistilista, jonka tavoitteena on toimia apuna korkean rakentamisen kohteen logistiikan suunnittelussa ja toteutuksessa.

### 3.2 Kohteen esittely

Case-kohteena tässä työssä toimii 185 metriä korkea teollisuusrakennus Kirkkonummella. Rakennuttajana kohteessa toimii Prysmian Group Finland Oy ja pääurakoitsijana YIT Infra Oy. Torni on osa suurjännitteisen merikaapelin tuotantolinjaa. Tornissa tulee toimimaan merikaapelin valmistuslinjan pystysuora vulkanointi- eli eristyslinja (Työmaa-aineisto).

Torni sijaitsee Kirkkonummella tehdasalueella, jolla on ollut kaapelinvalmistustoimintaa yli 70 vuotta. Ensimmäinen Suomen Kaapelitehtaan tehdashalli valmistui alueelle jo vuonna 1961 ([www.porssitieto.fi](http://www.porssitieto.fi), Vierailtu 27.10.2024).

Tornin rakennustyömaata voidaan pitää suhteellisen ahtaana, lähimpien rakennusten ollessa vain noin 6 metrin päässä rakennettavasta tornista. Tornin länsi- ja eteläpuolella viereiset tehdasrakennukset ovat 6 metrin etäisyydellä tornista, tornin itäpuolella työalue rajautuu 22 metrin etäisyydellä olevaan tehdasrakennukseen ja tornin pohjoispuolella työmaa rajautuu 15 metriä korkeaan kallioseinämään (Työmaa-aineisto, Asemapiirustus).



Kuva 11. Tornin sijoittuminen olemassa olevalle tehdasalueelle (Kirkkonummi karttapalvelu, Karttatiimi).

Torni on muodoltaan pyöreä, ulkohalkaisijan ollessa noin 24 metriä. Kerroksia rakennuksessa on kellarin lisäksi 23 kappaletta ja torni on 185 metriä korkea.

Kerroskorkeus rakennuksessa on keskimäärin 8 metriä (Työmaa-aineisto, rakennesuunnitelmat).



Kuva 12. Kuva rakennuksesta 27.11.2023 liukuvalun ollessa loppusuoralla. Valukorko kuvan ottamisen hetkellä +184,12 merenpinnasta (Kuva Juho Humalainen).

Rakennuksen sisätiloja jakaa kantava väliseinä, jonka toisella puolen on kaapelivalmistukseen varattu prosessitila ja toisella pienempiä pystykuiluja. Pienemmissä pystykuiluissa sijaitsee evakuointihissi, tavarahissi, porraskuilu, hissiaula sekä talotekniikalle varattuja kuiluja. (Työmaa-aineisto, rakennesuunnitelmat)

Tornin rakenteen erityispiirteinä voidaan pitää sitä, että tornin kantavat pystyrakenteet ulko- sekä väliseinät toteutettiin liukuvalutekniikalla. Liukuvalu toteutettiin yhtäjaksoisesti perustuksista vesikatolle asti. Tornin vaakarakenteiden rakentaminen suoritettiin alhaalta ylöspäin kerros kerrallaan, tornin liukuvalettujen ulko- ja väliseinien ollessa jo harjakorkeudessaan. (Työmaa-aineisto, rakennesuunnitelmat.)



Kuva 13. Liukuvalun valmistuttua tornissa ei ollut vielä vaakarakenteita. Kuva tornin suurimmasta tilasta, prosessitilasta, joihin rakentui myöhemmin tuotantolinja (Kuva Juho Humalainen).

Liukuvalutekniikalla toteutettujen betonisten ulkoseinien paksuus on 600 mm ja väliseinät ovat 300 mm - 400 mm paksuisia. Porraskuilun ja hissiaulan tasot sekä portaat toteutettiin betonielementeistä ja prosessitilan välipohjat koostuvat kantavasta teräspalkistosta, poimupelistä ja paikallavaletusta laatasta. Talotekniset kuilut toteutettiin esivalmisteisista teräsrunkoisista moduuleista, jotka nostettiin noin 8 metrin korkuisina kokoonpanoina pystykuiluun yläkautta. Moduulien teräsrungot koottiin työmaalla logistiikkakeskuksessa. Moduulien teräsrunkoihin asennettiin talotekniikan putkien pystyrungot ja putket eristettiin logistiikkateltalla ennen asennusta. (Työmaa-aineisto, rakennesuunnitelmat.)

### 3.3 Logistiikan suunnittelu ja prosessit

Tässä kappaleessa käydään lyhyesti läpi esimerkkiprojektille hankkeen kehitysvaiheessa suunniteltua logistiikan toimintamallia ja sen periaatteita. Case-kohteessa työmaa päätyi toteutusmalliin, jossa logistiikasta vastaa suurimmalta osin rakennustyöstä erillään oleva rakennustyömaiden logistiikkaan erikoistunut yritys.

#### *Logistiikan toimintamalli case-kohteessa*

Pääurakoitsija muodostaa työmaalle tahtiaikataulun, jonka pohjalta aliurakoitsijat muodostavat alue ja työpakettikohtaisen materiaalisuunnitelman. Materiaalisuunnitelmaa päivitetään niin, että näkymä on kolmeksi viikoksi eteenpäin. Aliurakoitsijat ilmoittavat mahdollisista häiriöistä aikataulussa välittömästi pääurakoitsijalle. Aliurakoitsijat sekä logistiikkaurakoitsija osallistuu viikoittaisiin pääurakoitsijan vetämiin aikataulukokouksiin. (Työmaa-aineisto, Logistiikkasuunnitelma.)

Materiaalin varastoinnin osalta käytetään logistiikkakeskusta ja täsmätoimituksia työmaalle. Työmaa-alueen läheisyydessä tehdasalueella sijaitsevaa noin 3000 m<sup>2</sup> kokoista logistiikkakeskusta hallinnoi logistiikkaurakoitsija. Varastoalueelle toimitetaan ja sieltä noudetaan materiaaleja vain yhteistyössä logistiikkaurakoitsijan kanssa. Logistiikkaurakoitsija vastaanottaa saapuvat materiaalkuormat ja tarkastaa toimitettujen materiaalien oikeellisuuden ja ehjyyden sekä tiedottaa materiaalin tilaajaa mahdollisista poikkeamista. Logistiikkaurakoitsija ylläpitää logistiikkakeskuksessa olevien materiaalien varastosaldoja. Suoraan työmaalle tilatuissa materiaaleissa logistiikkaurakoitsija ohjeistaa kuorman sovitulle purkupaikalle ja materiaalin tilaaja vastaanottaa toimituksen. (Työmaa-aineisto, Logistiikkasuunnitelma.)

Aliurakoitsijat tilaavat logistiikkakeskuksen kautta kulkevat materiaalit varastolle 2 viikkoa ennen suunniteltua tarvetta ja ylläpitävät kolmen viikon materiaalisuunnitelmaa. Aliurakoitsijat ilmoittavat saapuvista kuormista tuotenimikkeet

sekä määrät vähintään yhtä työpäivää aiemmin logistiikkaurakoitsijalle. Logistiikkaurakoitsija ottaa kuormat vastaan ja kirjaa materiaalit omaan varastonhallintaan järjestelmäänsä. Pientarvikkeita varastoidaan välivarastossa ja täydennetään kulutuksen mukaan torniin kerroksiin. Logistiikkakeskukseen ei voida toimittaa materiaalia, jonka asennuspaikka ja -aikataulua ei ole ilmoitettu etukäteen ja toimituksissa tulee olla sovitut tunnistetiedot toimituksen kohdistamiseksi. Toimitusten tulee suojattu materiaalin vaatimalla tavalla. (Työmaa-aineisto, Logistiikkasuunnitelma.)

Aliurakoitsijat ilmoittavat viimeistään kuluvan viikon torstaihin mennessä seuraavalla viikolla kerroksiin toimitusta vaatimat materiaalipaketit logistiikkaurakoitsijalle. Logistiikkaurakoitsija toimittaa materiaalit asennuskohteeseen viimeistään päivää ennen tarvepäivää. Aliurakoitsija tarkastaa toimitetut materiaalit ja ilmoittaa mahdollisesti havaituista puutteista tai vaurioista logistiikkaurakoitsijalle. Logistiikkaurakoitsija myös toteuttaa materiaalien siirtoja kerroksesta toiseen tarvittaessa. Myöhässä tulleet toimituspyynnöt käsitellään kiiretilauksina ja tehdään lähtökohtaisesti suunniteltujen tilausten jälkeen. Tilanteessa, jossa toimitukset ruuhkautuvat, päättää pääurakoitsijan logistiikan yhteyshenkilö priorisoinnin. (Työmaa-aineisto, Logistiikkasuunnitelma.)

Pääurakoitsija ja logistiikkaurakoitsija laativat työmaan aluesuunnitelman yhteistyössä. Logistiikkaurakoitsija suunnittelee ja valvoo työmaa-alueen varastointipaikkoja yhdessä pääurakoitsijan kanssa. Materiaalien varastointi työmaalla ilman, että siitä on sovittu pääurakoitsijan ja logistiikkaurakoitsijan kanssa on kiellettyä. Logistiikkaurakoitsijalle ilmoitetaan kaikista työmaalle saapuvista materiaalityötoimituksista ja logistiikkaurakoitsija ohjaa saapuvat kuormat oikeille purkupaikoille. (Työmaa-aineisto, Logistiikkasuunnitelma.)

Pääurakoitsija tarjoaa aliurakoitsijoille sovituissa laajuudessa materiaalien vastaanoton, välivarastoinnin sekä siirrot asennuskohteeseen logistiikkaurakoitsijan toimesta. Logistiikkaurakoitsija vastaa logistiikan sovittujen materiaalien haa-lauksesta suunniteltuun asennuskohteeseen. Urakoitsijat vahvistavat suunnitelun materiaalin tarkan toimitusajankohdan logistiikkaurakoitsijalle viimeistään

toimitusta edeltävän viikon torstaina. Logistiikkaurakoitsija varmistaa haalausreitit ja toimituskerroksen varastotilan olevan vapaa ja suorittaa haalauksen viimeistään tarveajankohtaa edellisenä yönä. (Työmaa-aineisto, Logistiikkasuunnitelma.)

Kerroksiin perustetaan jätepiestet, jossa on työmaan jätehuoltosuunnitelman mukaiset lajitteluastiat ja lajitteluohjeet. Logistiikkaurakoitsija vastaa kerroksissa olevien jäteastioiden tyhjennyksestä ja tyhjien jäteastioiden palauttamisesta kerrokseen. Urakoitsijat on veloitettu lajittelemaan kerroksissa syntyvän jätteen sovitulla tavalla jäteastioihin. Aliurakoitsijoiden tulee ilmoittaa ja merkitä kerroksissa olevat ylisuuret jätteet, jotka eivät mahdu jäteastioihin. Väärin lajitelluista jätteistä pääurakoitsija veloittaa lajittelutyön vaatiman ajan kyseiseltä aliurakoitsijalta. Urakoitsijoilla on mahdollisuus tilata erillisenä palveluna ylijäämämateriaalin siirto seuraavaan kerrokseen halutessaan logistiikkaurakoitsijalta. Logistiikkaurakoitsija raportoi poikkeamista pääurakoitsijalle. (Työmaa-aineisto, Logistiikkasuunnitelma.)

Logistiikkaurakoitsija perehdyttää aliurakoitsijoita toimimaan sovitun logistiikkamallin mukaan. Logistiikkaurakoitsija analysoi kerätyn datan pohjalta logistiikan toimivuutta ja raportoi tilanteesta pääurakoitsijaa viikoittain. Poikkeamia logistiikkamallista kerätään ylös ja niiden pohjalta ohjataan toimintaa. (Työmaa-aineisto, Logistiikkasuunnitelma.)

### 3.4 Logistiikan toteutus

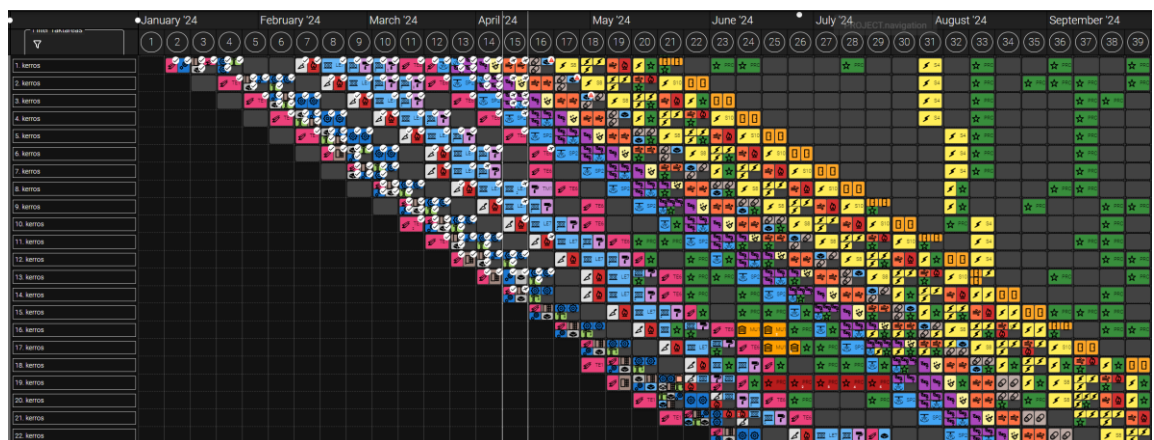
Tässä kappaleessa esitetään logistiikan käytännön toteutusta työmaalla suunnitellun logistiikan toimintamallin ja periaatteiden mukaisesti. Osiossa käydään läpi aikataulunhallintaa, aluesuunnittelua sekä käytettyä nosto- ja siirtokalustoa.

#### *Aikataulunhallinta*

Työmaa loi kohteen pääaikataulun tahtiaikataulumuodossa ja sitä läpikäytiin pääurakoitsijan toimihenkilöiden kesken kolmesti viikossa ja kaikkien urakoitsi-

joiden edustajien kanssa vähintään kerran viikossa torstaisin aikataulupalaverissa (Työmaa-aineisto, Kokouskalenteri). Työmaa velvoitti aliurakoitsijat osallistumaan näihin kokouksiin jo hankintavaiheessa (Työmaa-aineisto, Sopimusaineisto). Lisäksi työmaa laati tiettyjen kuilujen ja kerrosten työvaiheista tarkemman viikkoaikataulu, jota he seurasivat erikseen tarkemmalla tasolla (Työmaa-aineisto, 3-viikkoisaikataulu). Viikoittaisessa aikataulupalaverissa työmaa kävi läpi kuluvan viikon työvaiheiden edistymisen, seuraavien viikkojen tahtien aloitusedellytykset ja ovatko ne toteutumassa suunnitellusti. Työmaa saattoi tässä vaiheessa vielä muuttaa tarkentaa seuraavan viikon haalaussuunnitelmaa vastaamaan aikatauluun tulleita muutoksia. Logistiikkaurakoitsijan työnjohto osallistui kyseisiin kokouksiin. Työmaan logistiikalle oli kokouksessa varattu myös oma osionsa, jossa kaikilla osapuolilla oli mahdollisuus nostaa esiin asioita liittyen mm. kerroshuoltoon ja materiaalilogistiikkaan. Pääurakoitsija varmisti aliurakoitsijoilta kokouksessa, että he ovat ilmoittaneet sovituksi tiedot seuraavan viikon saapuvista materiaali- ja työvoimatoimituksista ja tarvittavista materiaalihaalauksista kerroksiin (Työmaa-aineisto, Aikataulu- ja urakoitsijakokous muistio).

Logistiikkaurakoitsijan työnjohtaja muodosti logistiikan toiminnoille oman viikkoaikataulun. Aikatauluun merkittiin saapuvien kuormien purkuajat, materiaalien siirrot logistiikkakeskukselta työmaalle ja haalaukset kerroksiin. Aikataulua pidettiin sähköisesti kalenterimuodossa sekä työmaatoimiston valkotaululla (Työmaa-aineisto, Logistiikan aikataulu).



Kuva 14. Ote projektin tahtiaikataulusta (Lähde, Case-kohteen aikataulunhallinta ohjelmisto).

## *Aluesuunnittelu*

Case-työmaalla laadittiin logistiikan aluesuunnitelma työmaa-alueesta, logistiikkakeskuksesta ja sitä ympäröivästä alueesta sekä ajoreiteistä tehdasalueella (Työmaa-aineisto, Työmaan aluesuunnitelma).

Työmaan logistiikan aluesuunnitelmassa määritettiin mm.

- Torninosturin sijainti ja ulottuma.
- Työnaikaisten hissien sijainnit.
- Ajo- ja siirtoreitit
- Henkilöstön kulkureitit.
- Jätelavojen ja puristimien sijainti.
- Sosiaalitilojen sijainti.
- Varastokonttien, lämmityskonttien, kaasupullojen ja muun kaluston sijainnit.
- Materiaalikohtaiset varastointialueet.
- Betonipumpun sijainti valujen aikana ja betoniautojen reitti.
- Betonielementtien varastointipaikka asennuksen aikana.
- Putoavilta kappaleilta suojaavat kulkureitit työntekijöille.

Tämän lisäksi työmaalla laadittiin kerroskohtaisia aluesuunnitelmia pohjautuen eri työvaiheiden vaatimiin varastointi ja työskentelytiloihin. Kerroskohtaiset aluesuunnitelmat päivittyivät työvaiheiden vaihtuessa ja niiden päätarkoituksena oli varmistaa riittävä työskentelytila ja minimoida tarvittavien vaakasiirtojen tarve. (Työmaa-aineisto, Kerroskohtaiset aluesuunnitelmat.)

Kohteen rungon toteutus liukuvalutekniikalla aiheutti tarpeen saada rakennuksen ylimpiin kerroksiin telineet, joilta tornin sisään nostettavia kappaleita oli mahdollista ohjata hallitusti ja oikeassa asennossa sisään kuiluihin (Työmaa-aineisto, Elementtiasennussuunnitelma). Telineet rakennettiin välittömästi liukuvalun jälkeen ja niille kuljettiin rakennushissillä (Työmaa-aineisto, 3-viikkoisaikataulu).

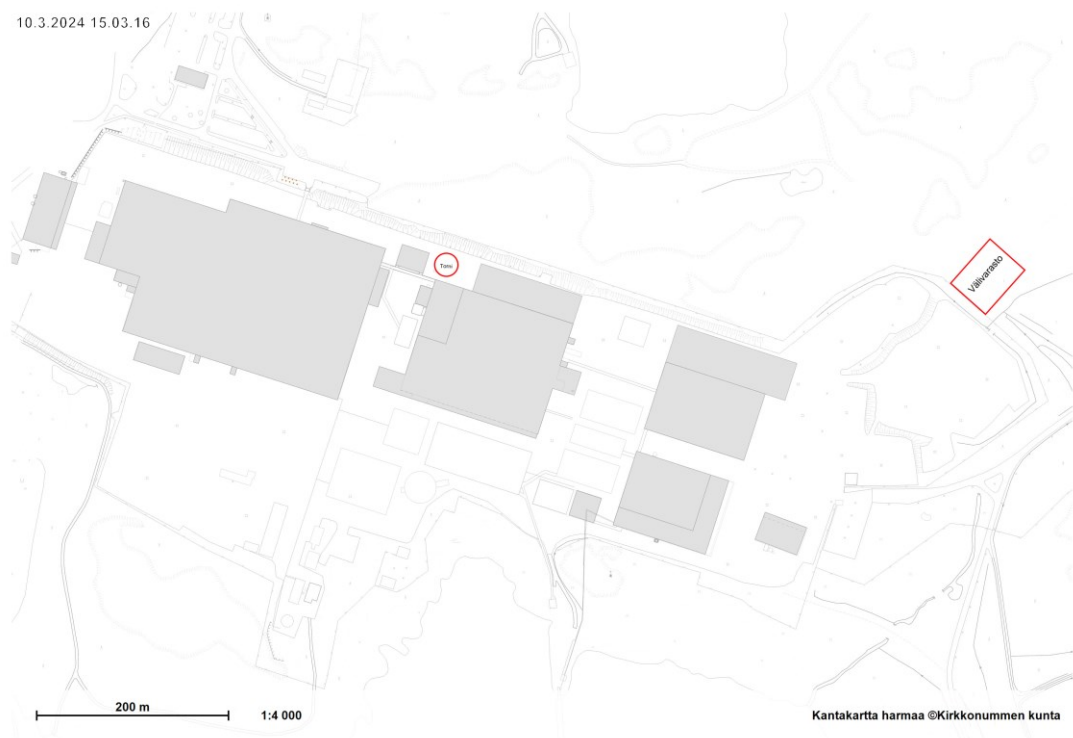


Kuva 15. Tornin huipulle rakennettiin telineet, joilta päästiin ohjaamaan tornin sisälle nostettavia kappaleita kuluun (Kuva Tomi Rolig).

Työmaan aluesuunnitelmassa osoitettiin putoavilta kappaleilta henkilöitä suojaavat kulkukatokset. Työmaan määritti suoja-alueen rakennuksen ympärille, jonka sisällä työmaan henkilöstön tuli kulkea suojakatosten alla työmaalle ja rakennushisseihin. Suojatut kulkukatokset ulottuivat tavanomaista kauemmas rakennuksesta, sen korkeuden vuoksi. Työmaa rakensi suojatut kulkureitit pääosin rakennustelineistä ja puutavarasta. (Työmaa-aineisto, Aluesuunnitelma.)

## Materiaalinhallinta

Työmaan logistiikkakeskus toteutettiin rakentamalla teräsrunkoinen halli asfaltoidulle kentälle 350 metrin etäisyydelle työmaasta. Logistiikkakeskus sijaitsi tehdasalueen sisäpuolella, jolloin työmaan ja logistiikkakeskuksen välillä liikuttaessa ei ollut tarvetta liikkua tehtaan porttien läpi (Työmaa-aineisto, Aluesuunnitelma). Halli oli pohjapinta-alaltaan noin 800 m<sup>2</sup> ja 6 metriä korkea (Työmaa-aineisto, Yleispiirustus logistiikkakeskus).



Kuva 16. Työmaan välivarasto sijaitsi tehdasalueella 350 metrin etäisyydellä rakennettavasta tornista (Kirkkonummi karttapalvelu, Karttatiimi).

Työmaan logistiikkasuunnitelman mukaisesti valtaosa materiaalista kulki työmaan logistiikkakeskuksen kautta, mutta oli myös suoraan työmaa-alueelle toimitettavia materiaaleja (Työmaa-aineisto, Logistiikkasuunnitelma). Työmaa linjasi, että työmaa-alueella torninosturin ulottuman sisällä varastoitiin vain erikseen sovittuja materiaaleja lyhytaikaisesti (Työmaa-aineisto, Hankinta-aineisto).

Esimerkkinä voidaan käyttää prosessitilan välipohjien teräsrakenteita, jotka tulivat suoraan täsmätoimituksina konepajalta kerroskohtaisesti työmaa-alueelle ja purku tapahtui sovitulle varastopaikalle torninosturin ulottuman sisälle. Toimitukset tulivat teräsasennuksen alkamista edeltävänä päivänä (Työmaa-aineisto, Aikataulu). Toisena esimerkkinä voidaan käyttää tornin ulkoseinään muurattua lämmöneristeharkkoa. Lämmöneristeharkot tulivat täysinä rekkakuormina tehtaalta suoraan työmaa-alueelle. Purku tapahtui varastointipaikalle työmaan rakennusaikaisen tavarahissin läheisyyteen, josta ne haalattiin tulevana yönä kerroksiin (Työmaa-aineisto, Haalaus aikataulu). Työmaa piti logistiikkakeskuksessa myös 1 viikon asennusmäärän verran eristeharkkoa varastossa toimitusvarmuuden takaamiseksi (Työmaa-aineisto, Eristeharkon toimitusaikataulu).

Rakennusmateriaalien haalaustavat rakennuksen kerroksiin voidaan jakaa kolmeen kategoriaan.

- Torninosturilla ennen seuraavan kerroksen umpeutumista nostettava materiaali.
- Rakennushisseillä kerroksiin haalattava materiaali.
- Rakennuksen julkisivussa olevista aukoista lastaussiltojen avulla haalattava materiaali. (Työmaa-aineisto, Logistiikkasuunnitelma.)

Työmaa nosti torninosturilla kerroksiin lähtökohtaisesti vain materiaalit tai laitteet, joiden haalaaminen hissillä myöhemmin ei olisi ollut mahdollista. Osaa materiaaleista ja laitteista ei voitu haalata rakennushisseillä niiden suuren koon tai painon vuoksi (Työmaa-aineisto, Logistiikkasuunnitelma). Tällöin työmaan toimintatavaksi muodostui nostaa laitteet ja materiaalit torninosturilla kerroksiin ennen seuraavan kerroksen välipohjan rakentamista. Kohteessa tällaisia materiaaleja olivat mm. osa prosessitekniikan laitteista, lopullisten henkilö- ja tavarahissien johtimet sekä prosessi- ja talotekniikan yli 4 m pituiset putket. Toimintatavan onnistuminen työmaan kokonaisuuden kannalta edullisella tavalla vaati työmaaorganisaatiolta onnistunutta ennakkosuunnittelua. Materiaalien varastointi pyrittiin suunnittelemaan kerroksissa siten, että se muodostaisi mahdollisimman pientä haittaa seuraaville työvaiheille ja mahdolliset materiaalien sivuttaissiirrot minimoitaisiin (Työmaa-aineisto, Kerroskohtainen aluesuunnitelma).

Välipohjien 6 vuorokauden valukierto tarkoitti, että välipohjia oli tarve kuormittaa nopeasti valun jälkeen. Työmaa pyrki hallitsemaan tilannetta betonireseptin optimoinnilla, valuolosuhteiden hallinnalla, valetun laatan suojaamisella vanerein sekä nostojen sijainnin suunnittelulla (Työmaa-aineisto, Työvaiheen toteutus-suunnitelma).

Havainnoinnin perusteella kerrokseen varastoon nostettavien materiaalien suunnittelun osalta työmaan prosessi oli muodostunut seuraavanlaiseksi.

- Materiaali ja laite määrien, koon ja painon kartoitus aliurakoitsijoilta ja muilta osapuolilta.
- Nostojen välttämättömyyden sekä hyötyjen ja haittojen arviointi.
- Kerroksen aluesuunnittelu ja varastointipaikkojen määrittely.
- Nostettavan materiaalin ja laitteiden katselmointi ennakkoon noston suorittavan urakoitsijan, logistiikkaurakoitsijan, laitteen asennuksesta vastaavan urakoitsijan, turvallisuuskoordinaattorin ja -päällikön toimesta nostotyön turvallisuuden varmistamiseksi.

Työmaa otti huomioon nostettavien materiaalien ja laitteiden sijoittelussa kerrokseen välipohjan rakenteellisen kantavuuden, valua seuraavien työvaiheiden tilantarpeen ennen varastoidun materiaalin asennusta ja varastoitujen laitteiden lopullisen sijainnin kerroksessa. Työmaa muodosti kerroskohtaiset aluesuunnitelmat näiden reunaehtojen puitteissa. Nostettava materiaali ja laitteet siirrettiin logistiikkakeskukselta torninosturin ulottuville nostettavaksi sovittuihin sijainteihin nostopäivänä. Noston jälkeen materiaalit ja laitteet suojattiin ja töiden edessä tornissa sisävaiheeseen, logistiikkaurakoitsija teki tarvittavia sivuttaissiirtoja näille materiaaleille ja laitteille pois kulloinkin vuorossa olevan työvaiheen tieltä. (Työmaa-aineisto, Kerroskohtainen aluesuunnitelma.)

Rakennushissillä haalattavan materiaalin logistiikkaurakoitsija siirsi kerrokseen tahtiaikatauluun pohjautuen täsmätoimituksina logistiikkakeskuksesta. Rakennushissillä materiaalin haalaus toteutettiin pääosin yövuorossa, jotta sillä olisi mahdollisimman pieni vaikutus tuottavaan työhön. (Työmaa-aineisto, Logistiikan aikataulu.)

Työmaalla toteutettiin myös materiaalsiirtoja kerroksiin torninosturilla nostamalla ja lastaustasoa hyödyntäen siirtämällä materiaali rakennuksen ikkuna-aukosta kerrokseen. Työmaa käytti tätä siirtotapaa, jos nostoa ei ollut mahdollista suorittaa suoraan kerrokseen ja hissin käyttö ei ollut mahdollista materiaalin suuren painon tai koon vuoksi. Työmaa käytti tätä siirtotapaa vain tarpeen vaatiessa ja toteutus suunniteltiin aina tapauskohtaisesti. (Työmaa-aineisto, Kokousmuistio.)

Työmaalla oli käytössä etälukutekniikalla toimiva toimittajan ylläpitämä pientarvikevarasto, josta työmaalla pystyttiin ostamaan kellon ympäri yleisimpiä pientarvikkeita, kuten poranteriä ja kiinnikkeitä. Toimintamalli mahdollisti nopean reagoinnin kiirehankintoihin. Talotekniikan urakoitsijalla oli käytössä kiinnikekontti, josta löytyi eniten käytettyä tarviketta talotekniikan asennuksiin. Osalla työmaan alirakkoitsijoista oli pientarvikevarastokärry, jota kuljetettiin kerroksissa mukana töiden edetessä. (Työmaa-aineisto, Aluesuunnitelma.)

### *Nosto- ja siirtokalusto*

#### *Rakennushissit*

Työmaalla oli käytössä 2 rakennushissiä rakennuksen vastakkaisilla sivuilla. Hissit oli sijoitettu tornin ulkopuolelle ja käynti kerroksiin tapahtui rakennuksen ikkuna-aukoista (Työmaa-aineisto, Aluesuunnitelma). Toinen hisseistä oli varattu rakennusmateriaalin sekä jätteiden siirtoihin ja toinen työmaan henkilöliikenteelle (Työmaa-aineisto, Urakoitsijakokous pöytäkirja).

Työmaan materiaalin haalaukseen varattuna hissinä toimi Raxtar RX2040 -tyypin rakennushissi sivuovella (Työmaa-aineisto, Rakennushissi ohjekirja). Työmaa järjesteli rakennukseen menevälle materiaalille hissin läheisyyteen noin 400 neliömetrin varastointoalueen (Työmaa-aineisto, Aluesuunnitelma). Toimintamalliksi työmaalla muodostui, että tälle alueella siirrettiin kerroksiin menevä materiaali päivävuorossa ja yövuorossa materiaali haalattiin kerroksiin (Työmaa-aineisto, Logistiikka aikataulu).

## §2.2 RX2040

Kapaciteetti		2040 F(T)
Suurin sallittu käyttökuorma	kg	2000
Suurin sallittu käyttökuorma asennuksen aikana	kg	500
Nopeus	m/min	0-42
Suurin nostokorkeus	m	200
Hissikorin mitat		
Hissikorin sisämitat (pituus x leveys x korkeus) (lisävarusteena saatavan sivuoven kanssa)	mm	3950 x 1380 x 2480 (3950 x 1500 x 2480)
Oviaukko (leveys x korkeus) (lisävarusteena saatava sivuovi)	mm	1380 x 2020 (2900 x 2020)

Kuva 17. Esimerkkityömaalla materiaalien haalauksessa käytetty rakennushissin perustietoja (Rakennushissi ohjekirja).



Kuva 18. Raxtar RX2040 -hissiä käytettiin työmaalla materiaalien haalaukseen (Kuva Juho Humalainen).

Henkilöliikenteen käytössä työmaalla oli Alimak Scando 10/30 -henkilötavara-hissi. Hissimallin valinnassa korostui työmaahenkilöstön kokemusperäinen tieto mallin yhteensopivuudesta liukuvalutekniikan kanssa käytettäväksi (Työmaa-aineisto, Kokouspöytäkirja). Hissin maksimikuorma oli 1000 kilogrammaa tai 10 henkilöä. Hissi tuettiin eli harustettiin torniin noin 7,5 metrin välein ja hissikorin reuna oli 1,73 metrin etäisyydellä tornin ulkoseinästä (Työmaa-aineisto, Rakennushissi ohjekirja ja Liukuvalumuotti suunnitelma). Alkuperäisen suunnitelman mukaan työmaan oli tarkoitus purkaa hissi liukuvalun päättymisen jälkeen ja rakentaa se uudelleen lähemmäksi rakennuksen ulkoseinää, mutta aikataulullisista syistä hissi päädyttiin jättämään samaan sijaan koko hissinkin käyttöajaksi (Työmaa-aineisto, Aikataulu). Kerrosten ikkuna-aukkoihin rakennettiin uloke kulkutasoja, joilta kulkeminen kerroksiin onnistui (Kuva 11).



Kuva 19. Alimak-henkilötavarahissille rakennettiin uloke kulkusiltaja tornin ikkuna-aukkoihin mahdollistamaan kulkeminen kerroksiin (Kuva Juho Humalainen).

Rakennuksen lopullinen henkilöhissi otettiin työmaan rakentamisaikaiseen käyttöön heti sen valmistuttua ja tämä mahdollisti Alimak-rakennushissin purkamisen (Työmaa-aineisto, Aikataulu). Rakennuksen tavarahissia ei hyödynnetty rakentamisaikaiseen logistiikkaan.

### *Nostokalusto*

Kohteen päänostokoneena toimi torninosturi. Torninosturiksi työmaa valitsi Potain MDT389L16, 40 metrin puomilla. Torninosturi pystytettiin vapaasti seisovana noin 61 metrin korkeuteen rakennuksen perustuksien rakentamisen jälkeen, ennen liukuvalutyön aloitusta. Liukuvalun edetessä nosturi harustettiin eli tuettiin torniin sekä korotettiin tunkkaamalla neljä kertaa, nosturin ns. koukku-korkeuden ollessa lopulta noin 201 metrissä. Nosturin pystytys aloituskorkeuteen tehtiin apunosturin avulla ja korotukset tämän jälkeen kiipeämiskehikon eli tunkkauskehikon avulla (Työmaa-aineisto, Työvaiheen toteutussuunnitelma).

Työmaan havaitsemia haasteita torninosturin harustamiselle aiheuttaneet tekijät (Työmaa-aineisto, Kokousmuistio).

- Tuulinen sijainti merenrannan läheisyydessä.
- Tornin korkeus.
- Tornin vaakarakenteiden puute liukuvalutekniikan johdosta, jolloin tornissa ei ollut työntekijöillä pääsyä muualle kuin tornin huipulle liukuvalutelineelle.
- Liukuvalutelineen tullessa noin 1,5 metriä valettavasta betoniseinästä ulospäin, nosturilla nostaminen seinän lähelle vaikeutui.

Nosturin harustamisen ja korottamisen työnkuvaus, esimerkki työmaalla (Työmaa-aineisto, Työvaiheen toteutussuunnitelma).

- Tunkkauskehikon nostaminen ja kiinnitys nosturin kääntökehälle
- Köysityöskentelijöiden laskeutuminen alas liukuvalutelineeltä harusten kiinnityspaikalle tornin seinällä.
- Haruskorvakkeiden nostaminen tasapainopuomin avulla ja kiinnittäminen seinään köysityöskentelijöiden toimesta.
- Haruskauluksen asennus torninosturin rungon ympärille.

- Harustankojen asennus torninosturilla ja nosturin tasapainotus koe-painolla.
- Harusten kiinnitys ja tunkkauskehikon kiilaaminen.
- Tunkattavan nosturin runkopalan nosto ja liu´uttaminen kääntöke-hälle.
- Runkotappien irrotus ja tunkkaus ylöspäin.
- Runkopalan liu´uttaminen rungon sisään, laskeminen tunkkauskehi-kolla alaspäin ja runkotappien kiinnitys.
- Tunkkauskehikon irrotus kääntökehästä ja laskeminen alas haruk-sen päälle.



Kuva 20. Nosturin korotus tunkkaamalla käynnissä case-kohteessa (Kuva Juho Humalainen).

Case-kohteen julkisivun työvaiheissa, kuten julkisivumaalauksessa, logistiikkaan ja työvaiheen suorittamiseen työmaa käytti nostokoriautoja, mastolavoja,

torninosturilla nostettavaa henkilönostokoria, rakennushissin katolta työskentelyä sekä köysityöskentelyä (Työmaa-aineisto, Työvaiheen toteutussuunnitelma).



Kuva 21. Yleiskuva Case-kohteen julkisivulle asennetusta mastolavasta (Kuva Juho Humalainen).

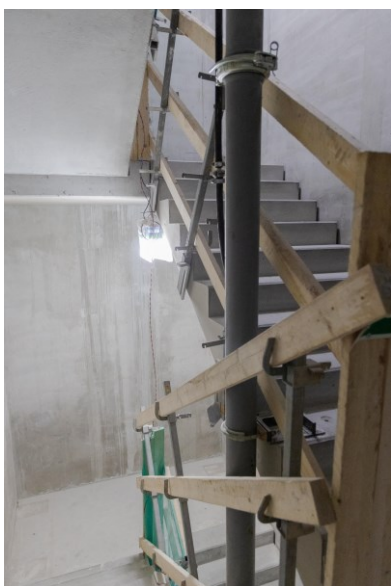
### *Betonointikalusto*

Rakennuksen rungon liukuvalun betonoinnista ensimmäiset 30 nousumetriä työmaa toteutti betonipumpulla valamalla maantasolta. Tämän jälkeen liukuvalua jatkettiin torninosturilla betoninnostoastiaa käyttäen liukuvalun loppuun asti (Työmaa-aineisto, Liukuvalu aikataulu). Työmaan käytössä oli 2 kappaletta, 4 kuutiometriä tilavuudeltaan olevia betoninnostoastioita ja molemmille nostoastioille oma lastauspaikka. Toisen nostoastian ollessa käytössä valutyössä, toinen nostoastia täytettiin betonilla (Työmaa-aineisto, Vuokrakalusto listaus).



Kuva 22. Liukuvalussa käytettiin betoninnostoastiaa, jonka tilavuus oli 4 kuutiometriä (Kuva Juho Humalainen).

Työmaa valoi tornin välipohjat 7. kerrokseen asti betonipumppuautolla, viemällä letku rakennuksen ikkuna-aukoista sisään. Tämän jälkeen tornin porraskuiluun rakennettiin kiinteä betonipumppauslinja ja loput kerrokset valettiin pumppauslinjan avulla (Työmaa-aineisto, Työvaiheen toteutus suunnitelma).



Kuva 23. Esimerkkikohteessa kiinteä pumppauslinja rakennettiin porraskuiluun (Kuva Juho Humalainen).

### *Siirtokalusto*

Siirtokalustona työmaalla oli jatkuvassa käytössä nosturiauto vähintäänkin päivävuorossa. Nosturiautolla purettiin kuormia ja kuljetettiin materiaalia työmaan ja logistiikkakeskuksen välillä (Työmaa-aineisto, Työmaapäiväkirja).

Kuvaus runkovaiheen elementtiasennuksen logistiikan toimintamallista (Työmaa-aineisto, Kokouspöytäkirja).

- Tehdas toimitti betonielementit logistiikkakeskukseen noin 2 viikkoa ennen asennusajankohtaa.
- Logistiikkaurakoitsija lastasi päivävuorossa peräkärryn asennussuunnitelman mukaiset seuraavan työvuoron elementit.
- Peräkärri siirrettiin työmaalle torninosturin ulottuville päivävuoron päätteeksi.
- Elementtiasennus suoritettiin yövuorossa.
- Aamulla peräkärri, kyydissään mahdollisesti asentamatta jääneet elementit, ajettiin takaisin logistiikkakeskukseen.

Materiaalien vaakasiirroissa kerroksissa käytettiin pinoamisvaunuja ja haarukka-vaunuja (Työmaa-aineisto, Kalustolistaus). Suurien ja painavien laitteiden siivutussiirtoihin kerroksissa käytettiin erillistä vaativiin haalauksiin erikoistunutta yritystä (Työmaa-aineisto, Katselmusmuistio).

Torninosturilla nostettavaa tasapainopalkkia käytettiin kohteella rakennuksen seinän läheisyyteen nostamisen ollessa estynyt. Esimerkiksi torninosturia rakennuksen ulkoseinään harustettaessa liukuvaluteline oli tornin ulkoseinää ulompana, jolloin torninosturilla ei pystynyt nostamaan kappaleita tarvittavan lähelle rakennuksen ulkoseinää (Työmaa-aineisto, Työvaiheen toteutussuunnitelma). Tasapainopalkilla nostettiin myös materiaaleja julkisivussa olevista aukoista sisään (Työmaa-aineisto, Työvaiheen toteutussuunnitelma).

Työmaalla työskenneltiin useissa korkeissa ja ahtaissa pystykuiluissa. Materiaalien pystysiirrot kuiluissa toteutettiin väkipyörillä ja vinsseillä. Työmaa muun mu-

assa rakensi ja myöhemmin purki n. 185 metriä korkean telineporrastornin pystykuilussa. Työmaa ei voinut tuoda tai viedä telinemateriaaleja yläkautta torninosturilla ja täten työmaa liikutti telinemateriaalit väkipyörien ja sähkövinssien avulla kuilun alaosan kautta maantasolta. Myös ulkoseinän lämmöneristystä toteutettiin ahtaissa pystykuiluissa, jolloin eristeharkot ja muu materiaali jouduttiin laskemaan ylemmältä tasolta vinsseillä muuraustelineelle (Työmaa-aineisto, Työvaiheen toteutussuunnitelma).

Case-kohteen rakennuksen kerroskorkeuden ollessa keskimäärin 8 metriä, päättyi työmaa käyttämään useissa työvaiheissa kerroksissa saksilavanostimia. Saksilavanostimet siirrettiin kerrokseen, ja tarvittaessa kerroksesta toiseen, rakennushissillä. Saksilavat osoittautuivat työmaan henkilöstön mielestä suurimmassa osassa työvaiheita tehokkaammaksi tavaksi toteuttaa työ, rakennustelineisiin verrattuna. Työmaan suunnitellessa tornin ulkoseinän lämmöneristeen muurausta, oli heidän alkuperäinen ajatuksensa rakentaa kerrokseen telineet, joita siirrettäisiin kerroksesta toiseen ylöspäin. Näille telineille sitten nostettaisiin pinoamisvaunulla, hihnakuljettimella tai muulla nostimella harkkoja ja laastia. Työmaa totesi saksilavan olevan kuitenkin nopein ja toimivin ratkaisu kyseisessä työvaiheessa (Työmaa-aineisto, Kokousmuistio).

Case-työmaalla jätteet kerättiin kerroksissa lajiteltuina jäteastioina toimiviin kerroskärryihin, jassikoihin ja rullakoihin. Kerroskärryt ja rullakot kuljetettiin rakennushissillä alas tornista ja tyhjennettiin tornin välittömässä läheisyydessä sijainneihin jätelavoihin ja puristimiin. Jassikoita työmaa käytti jätteen siirtoihin runkovaiheessa ja niitä nostettiin torninosturilla. Urakoitsijoiden vastuulla oli lajitella omat jätteensä jäteastioihin kerroksissa ja logistiikkaurakoitsijan vastuulla oli kuljettaa jätteet tornista ulos hissillä ja tyhjentää ne jätelavoille ja puristimille. Logistiikkaurakoitsija vastuulla oli myös tilata tyhjennykset jätelavoille ja puristimille (Työmaa-aineisto, Logistiikkasuunnitelma).

Työmaan jätehuoltoa hoidettiin logistiikkaurakoitsijan toimesta pääsääntöisesti iltavuorossa kello 14:00 ja 22:00 välillä sekä osittain yövuorossa materiaalien

haalauksen yhteydessä kello 22:00 ja 06:00 välillä. Case-työmaa pyöri 24/7 kolmessa vuorossa, kuitenkin niin, että päivävuorossa työntekijämäärä oli selkeästi suurempi iltaja yövuoroon verrattuna. Valtaosan jätteestä voi olettaa syntyneen päivävuorossa suuren määrän työvaiheita ollessa käynnissä ja työmaa päätyi tämän vuoksi ajoittamaan kerroksien jätehuollon iltavuoroon (Työmaa-aineisto, Jätehuoltosuunnitelma).

Logistiikkaurakoitsijan vuorokausirytmissä päivävuoro oli varattu kuormien vastaanottoon, varaston ylläpitoon sekä materiaalin kuljettamiseen välivarastolta rakennukselle odottamaan kerrokseen haalausta. Logistiikkaurakoitsijan yövuoro taas oli varattu pääasiallisesti materiaalin haalaamiseen kerrokseen ja iltavuoro kerroshuoltoon (Työmaa-aineisto, Logistiikka-aikataulu).

## 4 Havaintoja ja päätelmiä logistiikan toimivuudesta Case-kohteessa

Seuraavissa kappaleissa kerrotaan case-työmaan toiminnan havainnointiin perustuen asioista, joissa työmaan logistiikka onnistui sekä työmaan kohtaamista haasteista. Havainnot ja päätelmät perustuvat toimintatutkimukseen ja insinöörityön tekijän osallistumiseen kohteeseen. Havainnot ja päätelmät ovat insinöörityön tulos.

### 4.1 Onnistumiset

#### *Tahtiaikataulu logistiikan toteutuksen pohjana*

Kohteen korkeuden ja kerrosten rakenteiden samankaltaisuuden vuoksi työvaiheet toistuivat samankaltaisina ja -laajuisina kerroksesta seuraavaan. Tahtiaikataulun soveltaminen koettiin havainnoinnin perusteella hankkeella työskentelevän henkilöstön mielestä toimivalta tavalla lähestyä hankkeen aikataulunhallintaa. Tahtiaikataulu loi selkeän pohjan työmaan logistiikan hallinnalle ja ohjaamiselle, työpakettien edetessä pääsääntöisesti kerroksen viikossa ylöspäin. Työpaketeille laskettiin kerrokseen tarvittava materiaalmäärä, asennuksesta syntyvän jätteen määrä ja jätelajit sekä määritettiin asennuksen vaatima tilantarve. Näiden tietojen pohjalta oli suunniteltavissa kunkin kerroksen logistiikka viikkotasolla haalausten, jätehuollon ja aluesuunnittelun osalta. Logistiikan kannalta tahtiaikataulu koettiin työmaalla hyväksi tavaksi toteuttaa aikataulunhallintaa sen mahdollistaessa jatkuvan oppimisen ja toiminnan kehittämisen työmaan edetessä. Havainnoinnin perusteella tahtiaikataulun luoma selkeä rytmi työn etenemisessä, mahdollisti logistiikan kehittymisen hankkeen aikana ja ensimmäisissä kerroksissa havaittuja ongelmakohtia pystyttiin korjaamaan työn edetessä kerroksia ylöspäin.

### Torninosturin käyttöasteen nostaminen ja optimointi runkovaiheessa

Työmaan aikataulua muodostettaessa oli työmaan pyrkimyksenä saada torninosturin käyttöaste korkealle, nosturiajan ollessa pullonkaula työmaan logistikkassa. Liukuvalua seuranneissa runkovaiheen työvaiheissa torninosturin käyttöastetta pyrittiin saamaan korkeammalle jakamalla nosturiaikaa vaativien työvaiheiden suoritus eri vuorokauden aikoihin. Rakennuksessa oli viisi torninosturityötä vaativaa kuilua, joissa työ eteni kerros viikossa tahtia. Nämä kuilut olivat prosessitila, porraskuilu, hissiaula, talotekniikkakuilu 8. ja talotekniikkakuilu 10. Prosessitilassa nosturityötä vaati teräspalkkien ja poimupeltien asennus, henkilönostokorista toteutetut valuvarausten purut ja tietyt holvin muotin osa-alueet sekä raudoitteiden nostot. Porraskuilussa ja hissiaulassa nosturia tarvittiin betonielementtien asennukseen ja talotekniikkakuiluissa 8. ja 10. nosturityötä vaati esivalmisteisten teräsmoduulien nosto kuiluun. Moduulit olivat yhden kerroksen korkuisia.

Työmaa päättyi toteuttamaan prosessitilan holvien työn yhtäjaksoisesti kuuden vuorokauden valukierrolla. Holvien rakennustöihin torninosturi oli varattuna kello 06:00-22:00 ajaksi ja holvin valupäivänä joka 6. päivä, oli nosturi käytettävissä muihin töihin. Valupäivän nosturiaika 06:00-22:00 käytettiin talotekniikkakuilujen 8. ja 10. moduulien asentamiseen kuiluihin. Maanantaista torstaihin yövuorot kello 22:00-06:00 käytettiin hissiaulan ja porraskuilun elementtiasennuksiin. Perjantain, lauantain ja sunnuntain yövuorot jäivät käytettäväksi muihin torninosturia vaativiin satunnaisempiin työtehtäviin.

N= Nosturi varaus	päivä	maanantai			tiistai			keskiviikko			torstai			perjantai			lauantai			sunnuntai		
		vuoro	aamu	ilta	yö	aamu	ilta	yö	aamu	ilta	yö	aamu	ilta	yö	aamu	ilta	yö	aamu	ilta	yö		
<b>Työvaihe</b>																						
Betonielementti asennukset porraskuilu ja hissiaula				N			N			N			N									
Prosessitilan holvin teräsrakenteet		N	N		N	N		N												N	N	
Prosessitila holvin rauditus								N		N	N		N	N								
Prosessitila holvin valu																						
Teräsrakenteiset TATE-esivalmiste moduulit																				N	N	
Muut satunnaisemmat torninosturia vaativat työsuoritteet																			N		N	

Kuva 24. Runkovaiheessa nosturin käyttöastetta pyrittiin pitämään mahdollisimman korkealla jakamalla nosturityötä vaativat työvaiheet eri työvuoroihin (Työmaa-aineisto, muokattu Juho Humalainen).

Havainnoinnin perusteella työmaa onnistui käyttämään torninosturia runkovaiheessa tehokkaasti ja työmaa sai nostettua nosturin käyttöasteen korkealle.

### *Lopullisen hissien käyttöönotto rakentamisaikana*

Työmaa onnistui käyttöönottamaan rakennuksen lopullisen henkilöhissin työmaakäyttöön niin, että se palveli rakennustöitä suuren osan sisävalmistusvaiheesta. Hissin rakentamisen läpimenoajan nopeuttamiseksi työmaa lisäsi työvaiheeseen resursseja alkuperäisesti suunniteltua enemmän. Hissiasennus siirrettiin kahteen vuoroon, jolloin hissiä rakennettiin arkipäivisin kello 06:00-22:00. Henkilöhissikuilun yhden sivun ollessa rakennuksen ulkoseinää vasten, täytyi ulkoseinä lämmöneristää eristeharkkomuurauksella. Muuraustyön suoritettiin yövuorossa, kello 22:00-06:00 väliseen aikaan sekä viikonloppuina kello 06:00-22:00, jolloin hissikuilua rakennettiin vuorokauden ympäri. Hissin rakentamiseen käytettyjen resurssien lisäämisellä työmaa sai hissien työmaakäyttöön suunniteltua aikaisemmin. Havaintojen perusteella tämä paransi työmaan pystysuuntaisen henkilöliikenteen toimivuutta ja työmaa koki tämän positiivisena asiana.

Uusia korkean rakentamisen hankkeita suunniteltaessa tulee selvittää keinoja, joilla hissit voidaan saada mahdollisimman aikaisessa vaiheessa työmaan rakennusaikaiseen käyttöön. Nykyisellä hissitekniikalla, kuten hissivalmistaja KONE:n Jumplift-ratkaisulla, valmistuvan rakennuksen hissejä on mahdollista ottaa entistä aiemmin rakennusaikaiseen käyttöön, tietty kerrosväli kerrallaan. Verkkoartikkelissa KONE:n projektinjohtaja Jukka Tammi listaa ratkaisun hyödyiksi hissien toimintavarmuuden, turvallisuuden ja nopeuden verrattuna perinteisiin rakennushisseihin (KONE JumpLift™- ratkaisu, 2024).

### *Työmaan logistiikan toimintamalli*

Case-kohteen työmaalogistiikan toimintamalli, jossa logistiikka on eriytetty tuotavasta työstä ja materiaalivirrat ohjattiin logistiikkakeskuksen kautta, oli havaintojen perusteella työmaalta onnistunut valinta.

Työmaan pystylogistiikkaan käytetyt hissit olivat havaintojen perusteella todella kovalla kuormituksella. Voidaan päätellä, että hajautetussa logistiikkamallissa, jossa jokainen aliurakoitsija haalaisi omat materiaalinsa kerroksiin, olisi hisseihin kohdistunut vielä suurempi kuormitus. Hajautetun logistiikan toteuttaminen case-kohteen kaltaisella työmaalla olisi havaintojen perusteella käytännössä todella vaikea toteuttaa hyvin organisoidusti ja tehokkaasti.

Havaintojen perusteella logistiikkakeskus mahdollisti hyvin kirjallisuudessa mainitut käyttötarkoitukset, kuten esivalmistuksen, täsmätoimitukset sekä setittämissen, toimitusvarmuuden parantamisen ja pitkän toimitusajan omaavien materiaalien välivarastoinnin. Esimerkiksi luvussa 3.4 esitetty elementtiasennuksen logistiikan toimintamalli mahdollisti työmaan havainnoinnin perusteella hyvän elementtien toimitusvarmuuden ja työmaa-alueelta ei ollut tarvetta varata tilaa elementtien varastointiin.

## 4.2 Haasteet

### *Toimintahäiriöt rakennushisseissä tai torninosturissa*

Työmaan keräämän aineiston perusteella torninosturin toiminnassa oli häiriöitä verrattain vähän suhteessa nosturin käytön kokonaisaikaan. Satunnaisia häiriöitä torninosturin käyttöön aiheuttivat kovat pakkaset sekä tekniset viat nosturin toiminnassa. Talvella torninostureihin kerääntyvän lumen ja jään puhdistamiseen tulee varautua ja toimenpiteet tulee suorittaa aikana, jolloin niistä ei aiheudu viivettä työmaan aikatauluun ja logistiikkaan.

Työmaan toiminnan havainnoinnin perusteella häiriöt rakennushisseissä olivat selkeä ja suuri ongelma työmaan logistiikan toimivuuden kannalta. Tapauksissa, joissa materiaalia ei saatu haalattua suunniteltuun aikaan kerroksiin, oli yleisin syy tähän tekninen häiriö rakennushissin toiminnassa.

Syitä rakennushissien toimintahäiriöihin esimerkkityömaalla.

- Ihmisen aiheuttama vaurio hissin rakenteelle.

- Ongelma hissin sähköistyksessä, rajakytkimissä tai muissa järjestelmissä.
- Vaurio rakennushissin syöttökaapelissa.
- Tuulirajan ylittyminen.
- Hissin vääränlainen lastaus.

Työmaalla rakennushisseillä kuljetettiin runsaasti materiaalia ja rakennuskoneita, kuten saksilavanostimia. Saksilavanostimien ajaminen hissiin vaatii tarkkuutta sekä osaamista ja tämän toiminnan todettiin esimerkkityömaalla aiheuttaneen useita vaurioita hissin rakenteille. Työmaan toimenpiteenä tähän ongelmaan oli saksilavojen siirron valtuuttaminen vain hissioperaattorille. Tällöin siirrostä vastaa henkilö, joka on perehdytetty siirtämään saksilavoja turvallisesti, vahingoittamatta hissiä. Hissien lastaamisessa rakennusmateriaaleilla on myös vaarana hissin rakenteiden vaurioituminen. Lastausta suorittavilla henkilöillä tulee olla tiedossa lastattavien materiaalien painot ja hissin kuormituksen rajat. Hissiin ei saa lastata ylikuormaa ja lastauksessa on myös kiinnitettävä huomiota taakkojen painopisteeseen. Raskain materiaali on sijoitettava mahdollisimman lähelle hissin mastoa. Työmaalla materiaalin hissiin lastaamisesta vastasi logistiikkaurakoitsija, jonka henkilöstöllä ymmärrys oikeista toimintatavoista. Tämän lisäksi hissiin asennettiin kamera, jolla voitiin jälkikäteen todentaa vaurioiden aiheutumisen syy.

Työmaalla otettiin käyttöön toimintamalli, jossa vain hissioperaattori ajaa hissiä työmaan ollessa käynnissä. Hissioperaattori on koulutettu hissin käyttöön sekä suorittamaan yleisimpiä pienimuotoisia huoltotoimenpiteitä hissille. Tämä toimintamalli otettiin esimerkkityömaalla käyttöön, kun välipohjista noin puolet oli valettu. Hissioperaattorin tehtäviin kuului hissin ajaminen, päivittäisen kuntotarkastelun teko hissille ja rakennuskoneiden, kuten saksilavojen ajaminen hissiin ja ulos hissistä. Työmaan henkilöstö koki hissioperaattorin käytön toimivaksi tavaksi parantaa hissien toimintavarmuutta ja työturvallisuutta.

Turvallisuussyistä rakennushissi ei lähde liikkeelle, jos rajakytkin havaitsee kerrosoven olevan auki rakennuksen kerroksista. Työmaalla havaittiin ongelma,

jossa henkilöt unohtivat sulkea kerrosoven kerrokseen mennessään. Toimenpiteenä kerrosoveen asennettiin hälytin, joka soi oven ollessa auki.

Rakennushissien pysyminen toimintakunnossa on erityisen tärkeää korkean rakentamisen työmaalla. Tärkeitä toimenpiteitä hissien toimintavarmuuden varmistamiseksi on säännöllinen hissien huolto, viikko tarkastukset ja päivittäinen silmäääräinen hissien toiminnan tarkkailu. Hissien toimintaa tulee tarkkailla päivittäin ja pyytää asiantuntija paikalle, jos poikkeavuuksia havaitaan. Korkeassa rakentamisessa ja korkeissa rakennushisseissä kaapelien pituus kasvaa suureksi ja kaapelin käyttäytymistä seuraamalla on mahdollista ennaltaehkäistä vakavampia häiriöitä, kuten kaapelin vaurioitumista. Hissien huoltoon ja vikakorjauksiin tulisi olla saatavilla nopealla varoituksella henkilökuntaa aina työmaan ollessa käynnissä. Isommalla työmaalla olisi syytä arvioida täytyykö hissihuoltoon kykenevä henkilö olla täysipäiväisesti paikalla työmaalla töiden ollessa käynnissä.

Rakennushissien virransyötön katkeaminen on turvallisuusriski hississä matkustaville henkilöille. Rakennushissien hätälaskutoiminnon käyttäminen sähkökatkotko tilanteissa vaatii osaamista, jota ei jokaisella työmaalla työskentelevällä henkilöllä ole. Talviaikaan hissiin jumiin jääminen pitkäksi ajanjaksoksi on vaarallista henkilön terveydelle. Hissien sähkönsyöttö tulisi suunnitella erityisen tarkkaan niin, että se on mahdollisimman toimintavarma. Isomman sähköverkon toimintahäiriöön varautumisen osalta voisi toimenpiteenä olla työmaan oma varavoimakone, jolla sähkökatkon kohdatessa hissikori on mahdollista tuoda turvallisesti alas.

Tärkeänä toimenpiteenä hissien kapasiteetin riittävyyden varmistamisen ja hissien toimintavarmuuden parantamisen toimenpiteenä voi case-kohteen havainnoinnin perusteella pitää työmaalla työskentelevän henkilöstön riittävää ohjeistusta hissien oikeaoppiseen käyttöön. Tämä pitää sisällään teknisen opastuksen sekä opastuksen siitä, milloin hissiä saa käyttää ja mihin tarkoitukseen. Ilman ohjeistusta ja sen toteutumisen valvontaa, hissejä käytetään väärin ja tästä aiheutuu haittaa työmaan logistiikan toimintaan.

### *Materiaalin ja kaluston väärä varastointi*

Case-työmaalla havaittuja haasteita materiaalien ja kaluston varastoinnissa.

- Päättäneistä työvaiheista yli jääneiden materiaalin ja kaluston jääminen seisomaan kerroksiin tai varastointialueille.
- Talven sääolosuhteet.
- Materiaalin saapuminen työmaalle tarpeeseen nähden liian aikaisin.
- Aikataulu- tai suunnitelmamuutosten vaikutus varastoidun materiaalin käyttöön.
- Rikkoontuneen tai tarpeettoman kaluston säilöminen työmaalla.
- Virheet materiaalien määrälaskelmissa tai menekeissä.

Havainnoinnin perusteella case-työmaalla kerroksiin kerääntyi tarpeetonta materiaalia työvaiheiden edetessä. Logistiikan ollessa keskitetty yhdelle toimijalle sen sijaan, että jokainen urakoitsija vastaisi materiaalien haalauksesta ja jätteidensä poiskuljetuksesta itse, korostuu hyvä tiedonkulku urakoitsijoiden ja logistiikkaurakoitsijan välillä. Urakoitsijoiden on selkeästi merkittävät materiaalit, jotka ovat jätettä ja tulee viedä kerroksista pois sekä seuraavaan työskentelypaikkaan rakennuksessa siirrettävät materiaalit. Kerroksissa urakoitsijan osakohteen luovutus on tärkeä toimenpide ja siinä on huomioitava myös valmistuneen mestan siivous ja ylijäämä materiaalin sekä kaluston pois kuljetus tai siirto seuraavalle työskentelypaikalle. Työvaiheiden päättyessä hyvä käytäntö on, että pääurakoitsija käy aliurakoitsijan kanssa läpi välivarastolla sekä kerroksissa aliurakoitsijalle kuuluvat materiaalit sekä kaluston, jonka pohjalta sovitaan yhdessä mahdollisimman nopeasta materiaalien ja kaluston poisviennistä. Riskinä on, että aliurakoitsija pitää materiaaleja ja kalustoa varastossa, kunnes niille on käyttöä seuraavalla työmaalla ja ylimääräinen materiaali jää työmaalle pitkäksi ajanjaksoksi. Materiaalin tarpeettoman pitkä varastointiaika työmaalla lisää materiaalin vaurioitumisriskiä (Palolahti T. 2009).

Työmaalla tehdyn havainnoinnin perusteella case-kohteessa oli työmaan alkuvaiheessa puutteita varastointialueen organisoinnissa ja katetun varastointitilan

puuttuessa talvi aiheutti lisähaasteita varastoalueen hallintaan. Työmaan logistiikkaa suunniteltaessa tulee kartoittaa lähialueelta saatavilla olevat katetut varastointitilat, kuten parkkihallit, vuokrattavana olevat varastotilat tai varastointiin soveltuvat vuokra-alueet. Työmaan logistiikan vastuuttaminen yhdelle taholle selkeyttää havainnoinnin perusteella vastuunjakoa ja täten parantaa varaston järjestystä ja siisteyttä. Yhden toimijan on helpompi hahmottaa kokonaiskuva ja varastoida materiaalit suunnitelmallisesti ja hyvin organisoidusti. Välivaraston siisteyden ja järjestyksen ylläpitoon on varauduttava riittävin resurssein ja kalustoin. Katetun varastointitilan puuttuessa korostuu talvikunnossapidon tärkeys.

Korkeassa rakentamisessa työvaiheet toistuvat useita kertoja kerrosten suuren lukumäärän vuoksi. Tämä voi houkuttaa urakoitsijoita tilaamaan materiaaleja varastoinnin näkökulmasta liian suuria määriä kerralla etukäteen työmaalle varastoon. Poikkeustapauksissa voi olla perusteltua tilata jopa koko rakennukseen tarvittava materiaali kerralla työmaalle, mutta useimmissa tapauksissa tulisi pyytellä ennalta sovitun varastointiajan sisällä. Case-työmaalla oli sovittu yhteisesti, että materiaalia toimitetaan työmaalle enintään 2 viikkoa ennen aikataulutettua asennusajankohtaa. Materiaalien toimituksia kontrolloidakseen pääuraakoitsija voi verrata urakoitsijoiden ilmoittamia materiaalitöitä tahtiaikatauluun. Jos työmaalle havaitaan olevan tulossa aikatauluun nähden liian suuria määriä materiaaleja ilman perusteltua syytä, voidaan vaatia urakoitsijaa muuttamaan toimitussuunnitelmaa.

Ongelmia varastoinnin suhteen voi aiheutua myös siitä, jos rakennussuunnitelmiin tai työvaiheen aikatauluun tulee rakentamisenaikaisia muutoksia. Tällöin osa varastoiduista materiaaleista voi muuttua tarpeettomiksi tai niiden asennusaikataulu siirtyy eteenpäin. Tällaisessa tilanteessa tulee käydä välittömästi läpi se, kuinka jo varastossa olevien materiaalien kanssa menetellään. Tulee selvittää, voiko tuotteita palauttaa tai siirtää toisaalle varastoon pois työmaan varastolta.

Työmaalla työkalut ja työkoneet kuluvat ja osa vaurioituu niin, että ne vaativat korjausta. Työvaiheiden päättyessä kalustoa jää myös tarpeettomaksi. Havainnoinnin perusteella case-työmaalla ongelmaksi muodostui se, että tämä tarpeeton tai rikkoontunut kalusto jää työmaalle tarpeettoman pitkäksi ajaksi odottamaan palautusta tai korjausta. Tämä aiheuttaa tarpeettomia kustannuksia ja häiriötä työmaan toimintaan. Työvaiheen päättyessä tulisi käydä läpi kyseisen työvaiheessa käytetty kalusto ja palauttaa tai siirtää se käyttöön seuraavaan asennuspaikkaan.

### *Poikkeamat tahtiaikataulusta*

Poikkeamat suunnitellusta aikataulusta aiheuttavat häiriötä myös työmaan logistiikkaan. Havaintojen perusteella aikataulun muutokset voi aiheuttaa tilanteen, jossa materiaaleja haalataan kerrokseen liian aikaisin tai vaihtoehtoisesti liian myöhään. Tärkeäksi asiaksi aikataulun osalta nousee se, että logistiikkaa toteuttavalla henkilöstöllä on ajantasainen tieto työmaan aikataulusta ja sen toteumasta. Työmaan havaitessa aikataulun siirtyvän joidenkin työpakettien osalta, suunnitellaan toimenpiteet muuttuneen tilanteen hallitsemiseksi. Keinoina voidaan käyttää mm. tyhjän vaunun lisäämistä tai tahtialueiden järjestyksen muuttamista. Näissä tilanteissa tiedonkulku eri työvaiheiden työnjohdolta, logistiikkaurakoitsijalle täytyy olla sujuvaa ja välitöntä.

Tiedonkulkua parantamaan esimerkki työmaalla todettiin hyväksi seuraavat toimintatavat.

- Logistiikkaurakoitsijalla pääsy ajantasaiseen aikatauluun.
- Logistiikkaurakoitsija osallistuu työmaalla viikoittain järjestettyihin aikataulukokouksiin.
- Kohteen työnjohtajat ja logistiikan työnjohto ovat samassa avokonttorissa.
- Pääurakoitsijan aikataulusta vastaava henkilö on aktiivisessa kanssakäynnissä logistiikkaurakoitsijan työnjohdon kanssa koskien aikataulun toteumaa.

Havainnoinnin perusteella häiriötä työmaan logistiikkaan aiheutti myös se, jos urakoitsijat menivät suunnittelemattomasti ja kaikkien osapuolien kanssa yhteisesti sopimatta, uudelle tahtialueelle. Näissä tilanteissa tulisi pääurakoitsijan toimesta arvioida onko kokonaisuuden kannalta hyödyllistä edetä suunniteltua aikataulua nopeammin tietyn työvaiheen osalta.

Case-työmaalla todettiin havainnoinnin perusteella yhdeksi ongelmaksi se, ettei työpaketteja saatu täysin valmiiksi kerralla ja kerrokseen jouduttiin palaamaan myöhemmin viimeistelemään työvaihe. Tämä aiheuttaa häiriötä työmaan logistiikalle, koska materiaaleille ei ole varattu tilaa kerroksista. Kerrokseen palaaminen voi olla välttämätöntä, eri työsuoritteiden riippuvuuksien vuoksi ja ns. toisiin kierroksiin on monia vaikuttavia tekijöitä. Tätä tulisi kuitenkin käsitellä työntekijän mielestä riskinä työmaan logistiikan hallinnalle ja tehdä toimenpiteitä näiden tilanteiden välttämiseksi. Hyvänä perusperiaatteena voitaisiin pitää sitä, että määritetyn tahdin kesto sisältää varsinaisen työn lisäksi myös jätteiden siivoamisen, laadunvarmistuksen ja itselleluovutuksen. Tällä varmistuttaisiin siitä, ettei tahtialueelle jää korjattavia vikoja tai siivottavaa seuraavan urakoitsijan jo saavuttua tahtialueelle.

### *Muutokset työmaan piha-alueen kulkureiteissä*

Työmaat ovat muuttuvia ympäristöjä ja tämän vuoksi myös työmaan aluesuunnitelmaa tulisi päivittää tarvittavan usein. Työmaan kulkureitteihin ja varastointisekä purkupaikkoihin muutoksia aiheuttaa muun muassa kunnallistekniset kaivannot, betonivalut ja mobiilinosturit. Tiedonkulku työmaan henkilöstön välillä on tärkeää, jotta työmaa-alueella suoritettavat työvaiheet voidaan yhteensovittaa aluesuunnitelmaan. Case-työmaalla tiedonkulku työmaahenkilöstön välillä oli havainnoinnin perusteella osin puutteellista, josta aiheutui häiriötä työmaan logistiikkaan. Case-kohteessa hyväksi havaittu ja tiedonkulkua parantanut käytäntö työvaiheiden tilavarauksien keräämiseksi oli kalenteri muotoinen taulukko, johon työnjohtajat merkkasivat omien töidensä asiat. Kalenteriin kukin työnjohtaja listasi omien työvaiheidensa tiedot, jotka vaikuttivat työmaan piha-alueen

järjestelyyn. Kalenteriin merkattiin mm. saapuvat kuormat, betonivalut ja nosturien paikat. Haastavalla ja paljon piha-alueen muutoksia sisältävällä työmaalla aluesuunnitelmista tulisi tehdä jopa päiväkohtaisia, jotta varmistetaan työmaan sujuva toiminta.

*Kerroksiin varastoitu materiaali työvaiheen tiellä.*

Case-työmaalla kerroksiin jouduttiin nostamaan laitteita ja materiaaleja varastoon odottamaan myöhemmin tapahtuvaa asennusta. Tämä aiheutti häiriötä työvaiheiden toteuttamiselle ja materiaaleja jouduttiin siirtämään useita kertoja kerroksissa ennen asennusta. Kerroksiin varastoinnin suunnittelu on syytä tehdä huolella ja arvioida tämän vaikutukset muihin työvaiheisiin. Varastointipaikkoja suunnittelevan henkilön täytyy tuntea kaikkien varastoitua materiaalia edeltävien työvaiheiden työtila vaatimukset, jotta hän kykenee muodostamaan kokonaiskuvan siitä, miten materiaali tulee varastoida. Puutteellisesti toteutettu varastoinnin suunnittelu aiheuttaa tarvetta siirtää materiaaleja tarpeettoman monta kertaa muiden työvaiheiden tieltä. Materiaalien sivusiirtoja ei aina pystytä täysin välttämään ja tärkeää on tiedonkulku urakoitsijoiden ja materiaalsiirtoja toteuttavan yrityksen välillä. Case-työmaalla logistiikkaurakoitsija suoritti materiaalien sivuttaissiirtoja ja järjestelyä kerroksissa. Hyvänä toimintatapana voidaan työntekijän mukaan pitää sitä, että kukin urakoitsija laatii kerroskohtaisen pohjakuvan, josta käy ilmi asennukselle ja materiaaleille vaadittu tilantarve. Tämä tieto yhdistettynä ajantasaiseen aikatauluun mahdollistaa sen, että kerroksen järjestelystä vastuussa olevat henkilöt kykenevät aikataulua seuraamalla järjestelemään kerrokset työvaiheen vaatimaan järjestykseen ennen työvaiheen aloitusta. Epäselvissä tilanteissa tulee pitää kerroksessa katselmus työvaiheen aloitusta edeltävällä viikolla ja sopia yhdessä kerroksen järjestelyistä.

*Työmaan jätehuolto*

Case-kohteessa oli havainnoinnin perusteella ajoittain ongelmia tai viiveitä jätteiden saamisessa pois kerroksista ja työmaan kierrätysaste jäi yrityksen sisäisen tavoitetason alapuolelle. Jätteiden alkaessa kertyä kerroksiin, voi sillä olettaa olevan suorat vaikutukset työn tehokkuuteen, laatuun ja työturvallisuuteen.

Jätehuollon osalta case-työmaalla tärkeiksi koettuja asioita.

- Jätteiden oikeaoppinen lajittelu kerroksissa.
- Kerroshuollon suorittamiseen varattu riittävä resurssi.
- Pystyhaalausreittien häiriötön toiminta.

Jätteiden lajitteluun kerroksissa on panostettava, jotta sitä ei täydy suorittaa jälkikäteen työmaan piha-alueella. Jälkikäteen toteutetusta lajittelusta aiheutuu lisäkuluja ja se kuluttaa tarpeettomasti työmaan resursseja. Jätteiden lajitteluun on oltava selkeät ohjeistukset urakoitsijoille ja ohjeiden noudattamista on valvottava. Tarvittaessa jätteiden lajittelusta aiheutuvat kulut ohjataan jätteiden lajitteluvuorituksen laiminlyöväälle urakoitsijalle.

Kerroshuoltoon on varattava riittävät henkilöresurssit ja niiden riittävyyttä on tulisi käydä viikoittain läpi logistiikka toteuttavan organisaation kanssa, jätehuollon määrän vaihdellessa työmaan vaiheiden muuttuessa.

Korkeassa rakentamisessa suuri osa jätteestä haalataan hisseillä pois kerroksista, jonka vuoksi pystyhaalausreittien esteettömyys ja hissien toimintavarmuus sekä kapasiteetti, on tärkeä tekijä jätehuollon onnistumisen kannalta. Hisseille on oltava toimivat ja esteettömät kulkuyhteydet kerroksissa sekä pihalla. Hissien kapasiteettia ja toimintavarmuutta parantavia tekijöitä on käsitelty tämän työn muissa kappaleissa.

### 4.3 Case-kohteen ja korkean rakentamisen erityispiirteet

#### *Tuuliolosuhteet*

Korkean rakentamisen hanketta suunniteltaessa tulee varautua tuulen aiheuttamiin häiriöihin työmaan logistiikan toiminnassa. Torninosturin sekä rakennushissien tuuliraja oli case-kohteessa 15 m/s ja työmaa arvioi hankkeen kehitysvaiheessa tuulipäivien määräksi 14 kappaletta vuodessa. Arvio perustui Ilmatieteen laitokselta saatuun tuulimittaustietoon työmaata lähimpänä sijaitsevasta ra-

diomastosta sekä kokemusperäiseen tietoon muilta rakennushankkeilta. Työntekijän läpikäymän työmaan aineiston pohjalta tuulipäiviä oli ennustettua enemmän.

Tuuliolosuhteisiin varautumisen keinoja työmaan toteutusta suunniteltaessa.

- Nostoja vaativien kriittisen polun työvaiheiden tunnistaminen ja ajoittaminen vähätuulisimpiin kuukausiin toukokuun ja elokuun ajalle. (Viittaus Kuva 17. Ilmatieteenlaitos myrskypäivät.)
- Lopullisten hissien käyttöönotto rakennusvaiheessa.
- Nostojen määrän vähentäminen esivalmistusastetta nostamalla.

#### Merialueiden tuulipäivät

Myrskypäiväksi katsotaan päivä, jolloin ainakin yhdellä merialueavainpaikalla on mitattu 10 minuutin keskituulen nopeudeksi vähintään 21 m/s. Lisäksi tilastoitamme niitä päiviä, joihin tuulen nopeus on vähintään 14 m/s tai 10 m/s.

#### Myrskypäivät kuukausittain 2006 lähtien

Myrskytalukosta näkyvät vuodenaikojen erot ja suuret vaihtelut eri vuosien välillä.

§ Vuosi	§ T	§ H	§ M	§ H	§ T	§ K	§ H	§ E	§ S	§ L	§ M	§ J	§ kpl
2006	1	0	1	0	1	0	0	0	1	3	4	6	17
2007	10	0	0	5	0	2	1	2	3	2	5	9	39
2008	5	7	1	0	0	1	0	3	1	6	7	4	35
2009	4	0	0	1	2	0	0	1	1	4	0	4	17
2010	2	2	1	0	0	1	0	3	0	6	4	6	25
2011	2	2	4	1	1	1	0	0	3	2	3	16	35
2012	3	3	4	0	0	1	0	1	3	3	4	2	24
2013	0	1	3	1	0	0	0	0	1	1	6	11	24
2014	0	3	4	0	0	1	0	0	2	1	1	4	16
2015	6	4	1	3	2	0	0	0	2	1	7	9	35
2016	4	1	0	0	1	4	0	1	2	0	4	6	23
2017	9	1	3	0	0	2	0	1	1	4	2	6	29
2018	5	0	0	0	0	1	0	2	5	6	2	5	26
2019	7	6	3	2	1	1	1	0	1	4	0	5	31
2020	8	10	7	5	0	2	0	0	3	1	6	2	44
2021	4	0	6	4	2	1	0	1	1	6	4	1	30
2022	9	5	2	1	0	0	0	1	1	2	0	2	23
2023	5	5	3	2	0	0	0	2	2	8	4	3	34
2024	6	4											
2006 - 2024	4,7	2,8	2,4	1,4	0,6	1	0,1	1	1,8	3,3	3,5	5,6	28

Taulukon luvut kertovat yleisellä tasolla tuulisuudesta merialueillemme. Vuosikeskiarvo on **28 myrskypäivää** kaudella 2006-2022. Yhdellä merialueella tai mittausasemalla ei esiinny näin monta myrskyä vuodessa. Kun merellä mitataan myrskykulkemia, rannikolla ja usein myös sisämaassa puhalttaa vähintään naukaksi (8 -12 m/s). Sisämaassa tuulee kovaa (10 minuutin keskituulen nopeus vähintään 14 m/s) aika harvoin. Tuntureiden huipulla olevissa maastomittauksissa havaitaan talvikausi myrskykulkemia.

Tuulitoivien myrskypäivien määrittämää muutettiin kesäkuussa 2020. Historiallisista ystävä ennen katsottiin kolmen tunnin välein tehdyistä havainnoista onko 21 m/s raja ylittynyt. Nykyisin automaattihavaintojen avulla oletetaan huomioon kaikki 10 minuutin luvut keskiarvet tuulen nopeudesta. Tällä tavoin myrskyt eivät jää huomiomatta, vaikka ne osuivat 3 tunnin välein tehtävien päähavaintojen väliin. Nykymentelmällä laskettava vertailukelpoinen aineisto alkaa vuodesta 2006.

Kuva 25. Keskimäärin vähiten myrskypäiviä on toukokuun ja elokuun välisenä aikana (Ilmatieteenlaitos).

Työmaalla tehtävät toimenpiteet tuulisiin päiviin varautuessa.

- Tuuliennusteiden seuraaminen.
- Tuuliennusteisiin pohjautuvat suunnitelmat toimenpiteistä.

Työmaalla tuuliennusteita tulisi seurata tarkasti. Työmaan on suunniteltava etukäteen toimintatavat, joita noudatetaan tuulennopeuden noustessa yli asetettu-

jen rajojen. Työmaan havaitessa ennusteesta tuulennopeuden nousevan yli tuulirajojen, on valittava kyseiseen hetkeen sopivat toimenpiteet ja toimintatavat tuulihaittojen minimoimiseksi. Toimenpiteillä tarkoitetaan tässä muun muassa rakennushissien käytön estäminen, työmaahenkilöstön tiedottaminen, rakennusmateriaalien tuulen mukana lähtemisen estäminen ja mahdolliset rakenteiden tukemiset tuulen vaikutukselta suojaamiseksi. Case-työmaalla tuulelle alttiimpina kriittisen polun työvaiheina voidaan pitää liukuvalua, torninosturin ja rakennushissien korotuksia sekä prosessitilan välipohjien teräsrakenteiden asennuksia sekä välipohjien raudoitusta.

Case-työmaalla liukuvalussa raudoitteet ja betoni nostettiin liukuvalutelineelle torninosturilla. Tämä tarkoitti, että tuulen ylittäessä 15 m/s, betonin ja raudoitteiden nostot keskeytyivät. Liukuvalussa erityisen tärkeää on ennakoida, milloin tuulennopeus tulee nousemaan, jotta liukuvalu voidaan keskeyttää hallitusti ja turvallisesti. Rakennesuunnittelija määrittää koron, johon valu on rakennusteknisesti mahdollista pysäyttää ja tehdä työsauma niin, että siitä aiheutuu mahdollisimman vähän lisätyötä lisäraudoituksen ja tartuntojen osalta. Pysähtymiseen varautuminen on liukuvalussa tärkeää myös siksi, että pysähtymistä edeltävät työvaiheet, kuten muotin ajaminen ylös, muotin puhdistus ja työsauman teko vievät aikaa ja ne tulisi saada tehtyä ennen tuulen ylitymistä. Liukuvalun hallittu ja suunniteltu pysäyttäminen helpottaa valun uudelleen käynnistämistä tuulitauon päätyttyä. Tuulirajat ylittävän tuulennopeusjakson ollessa selkeästi alle vuorokauden mittainen, on mahdollista hidastinta betonissa käyttämällä päästä tuulisen jakson yli työsaumaa tekemättä. Tällaista tekniikkaa toteutettiin havainnoinnin perusteella onnistuneesti case-työmaalla.

### *Työmaan henkilöliikenne*

Case-kohteessa haasteeksi muodostui työntekijöiden pitkät siirtymäajat asennuskohteelle ja asennuskohteelta tauoille. Työmaa pyrki toteuttamaan toimenpiteitä, joilla vähennettäisiin työntekijän tarvetta liikkua kerroksesta toiseen, pois

lukien asennusmestalle siirtyminen työvuoron alussa ja pois siirtyminen työvuoron lopussa. Havainnoinnin perusteella case-työmaalla hissien odotusajat kasvoivat kuitenkin paikoitellen pitkiksi näistä toimenpiteistä huolimatta.

Case-työmaan tunnistamat työntekijän tarvetta liikkua kerroksesta toiseen luovat tekijät.

- Ruokatauot, kahvitauot ja vessassa käynnit.
- Materiaalien, työkalujen ja pientarvikkeiden hakeminen käynnissä olevan tahtialueen ulkopuolelta.
- Työn suorittamiseen vaaditun tiedon hakeminen, esimerkiksi suunnitelmien ja työnjohdon kanssa keskustelun kautta, tahtialueen ulkopuolelta.

Case-työmaalla hyväksi todetut toimenpiteet korkean rakennuksen työmaan henkilöliikenteen sujuvoittamiseksi.

- Työnaikaisten sosiaalityökalujen ja vessojen rakentaminen kerrokseen.
- Työhöntuloaikojen ja taukojen porrastus.
- Työvaiheiden siirto eri työvuoroihin.
- Työkalut työkaluvaunuissa kerroksissa.
- Yleisimmin tarvittavat pientarvikkeet vaunuissa kerroksissa.
- Toimiva materiaalilogistiikka, oikea määrä materiaalia, oikealla asennuspaikalla, oikeaan aikaan.
- Hissien käytön ohjeistaminen ja ohjeistuksen noudattamisen valvonta.
- Kattava perehdytys työvaiheisiin ja ajantasaisten rakennussuunnitelmien vieminen kerrokseen.

Työvaiheiden siirtäminen eri työvuoroihin ja viikonlopulle, todettiin työmaalla toimivaksi tavaksi vähentää hissien kuormitusta ja parantamaan työn tehokkuutta. Työn suorittaminen myös ilta-, yöaikaan sekä viikonloppuisin lisää kustannuksia suoraan urakkaan sekä pääurakoitsijan yleiskuluihin. Tasapainottavana kustannustekijänä voidaan pitää nopeutunutta aikataulua ja työn tehokkuuden nousua. Työmaan tulisi kartoittaa työvaiheet, joiden suorittaminen normaalin työajan ulkopuolella on mahdollista ja siitä saadaan eniten hyötyjä työturvallisuuden, aika-

taulun ja työn tehokkuuden kannalta. Näistä normaalin työajan ulkopuolelle siirtoa tulisi harkita urakkasummaltaan pienempien työvaiheiden kohdalla kustannusvaikutusten minimoimiseksi.

Kirjallisuudessa on mainittu hissien palvelevien kerrosten rajoittaminen tapana pystylogistiikan optimointiin (Seppänen O. 2021). Kohteessa henkilöliikenteeseen varattu rakennushissi pystytettiin niin, että sillä pääsi keskimäärin joka toiseen kerrokseen. Palveltujen kerrosten rajoittamisen voi katsoa nopeuttavan henkilöliikennettä, koska hissi ei pysähdy kaikkiin kerroksiin. Tämä kuitenkin estää palvelulta poistettuihin kerroksiin materiaalin ja painavien työvälineiden, kuten työkaluvaunun, kuljettamisen kyseisellä hissillä.

#### *Nostokaluston riittävyys liukuvalussa*

Liukuvalun ollessa käynnissä torninosturi suoritti nostoja lähes tauoitta. Betonin nostamiseen nostoastialla käytettiin kaikki mahdollinen aika ja välinostoina nostettiin tarvittava määrä raudotteita. Liukuvalussa nosturiaikaa kului eniten betonin purkamiseen nostoastiasta muottiin ja purkua hidasti korkealle ulottuvat seinän pystyteräket ja väliseinien suuri määrä, jotka hidastivat nostoastian liikuttelua. Työntekijän havainnointiin perustuen liukuvalun nousunopeutta olisi ollut mahdollista nostaa nostokapasiteettia lisäämällä ja näin lyhentää työvaiheen läpimenoaikaa. Mahdollisia tarkasteltavia toimenpiteitä betonin kuljettamisen kapasiteetin lisäämiseen voi olla esimerkiksi toisen nosturin lisääminen, pumpauslinjan rakentaminen tai betonin kuljettaminen kottikärryillä rakennushissillä. Se onko kapasiteetin lisääminen näillä keinoilla kannattavaa, on arvioitava tapauskohtaisesti katsomalla hankkeen kokonaisuutta aikataulun ja kustannusten osalta. Korkean rakentamisen työmaalla päänostokoneena toimivaa torninosturia ei kyetä korvaamaan tai nostokapasiteettia lisäämään nopeasti mobiilinosturilla, niiden ulottuvuuden ollessa riittämätön. Tämän vuoksi torninosturien määrän ja tyyppin valintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota korkean rakentamisen kohdetta suunniteltaessa.

### *Vuorotyön vaikutus tiedonkulkuun*

Työmaalla havaittiin vuorotyön aiheuttavan ongelmia tiedonkulkuun työmaaorganisaation välillä. Työmaan logistiikkaa toteutettiin vuorokauden ympäri ja tiedonkulun katkeaminen aiheutti havainnoinnin perusteella häiriöitä työmaan logistiselle toimivuudelle. Tiedonkulun parantamiseen case-työmaalla hyväksi toimenpiteeksi koettiin se, että työnjohto kirjoittaa kattavan työvuororaportin työvuoronsa päätteeksi ja se jaettiin kaikille työmaan toimihenkilöille. Raporttiin kirjattiin tehdyt työt, mihin vaiheeseen työt ovat jääneet vuoron päättyessä, mahdolliset ongelmat ja yleisesti asiat, joita seuraavan vuoron tulee ottaa huomioon. Lisäksi työnjohdon on hyvä limittää työhöntuloa niin, että he kerkeävät myös sanallisesti vaihtaa tietoja työvuoron vaihtuessa. Lisäksi työmaan viikoittaisista kokouksista on tärkeää välittää muistiot ja tärkeimmät nostettavat asiat kaikille, jotta yövuorossa oleva työnjohto saa myös ajantasaiset tiedot työmaalta.

### *Hissikapasiteetti*

Rakennushissien määrän mitoituksessa voi käyttää kokemusperäistä tietoa muilta korkean rakentamisen työmailta tai simulointia. Esimerkkityömaalla hissioperaattori todettiin hyväksi tavaksi parantamaan rakennushissien toimintavarmuutta ja tehokkuutta. Hissioperaattoria käyttämällä pystytään parantamaan turvallisuutta ja hissien toimintavarmuutta sekä väärinkäytöksiä pystytään estämään sekä valvomaan. Rakennusten lopullisten hissien käyttöönoton mahdollistaminen riittävän aikaisessa vaiheessa on hyödyllistä, niiden ollessa useissa tapauksessa nopeampia ja toimintavarmempia rakennushisseihin verrattuna.

Korkeassa rakentamisessa on tärkeää selvittää ja tehdä päätös rakentamisen aikana käytettävästä rakennushissistä ajoissa, jotta hissien mitat ja käyttökuorma osataan ottaa huomioon rakenteita suunniteltaessa. Case-työmaalla suunniteltiin monia rakenteita hissien mitat huomioon ottaen ja materiaalit saatiin täten haalattua hissien avulla.

#### 4.4 Muistilista korkean rakentamisen logistiikkaan

Tämän työn tuloksena on syntynyt muistilista korkean rakentamisen työmaan logistiikan suunnitteluun ja toteutukseen (Liite 1. Muistilista korkean rakentamisen logistiikkaan). Muistilistaan on pyritty nostamaan työmaan logistiikkaan keskeisimmiksi vaikuttavat tekijät ja muistilistan tarkoituksena on toimia apuvälineenä uusien korkean rakentamisen hankkeita suunniteltaessa ja toteuttaessa. Muistilistassa luetellut työmaan logistiikkaan liittyvät aiheet ja aiheisiin liittyvät potentiaaliset haasteet tai mahdollisuuden sekä ehdotetut toimenpiteet ovat tarkoitettu hanketta suunnittelevalle henkilöstölle huomioon otettaviksi ja pohdittaviksi aiheiksi ennen työmaan aloitusta.

Muistilista on syntynyt rakentamisen logistiikkaan keskittyvän kirjallisuuden sekä case-kohteen havainnoinnin pohjalta. Muistilistan rajoituksena on se, että muistilistaan nostetut asiat pohjautuvat vain yhden rakenteiltaan tavanomaisesta poikkeavan case-kohteen havainnointiin ja sen soveltuvuutta uusiin korkean rakentamisen kohteisiin tulee tarkastella aina erikseen tapauskohtaisesti.

Muistilistassa keskeisimmiksi korkean rakentamisen työmaan logistiikkaan vaikuttaviksi tekijöiksi nostettiin tahtiaikataulu ja esivalmisteet, nostokalusto, hissit, logistiikan toimintamalli, aluesuunnittelu ja materiaalien varastointi, jätehuolto, tuuliolosuhteet ja työmaan henkilöliikenne.

## 5 Yhteenveto

Korkean rakentamisen määritelmä poikkeaa paljonkin eri maissa ja määrittelyä voidaan tehdä numeerisesti kerrosmäärän ja rakennuksen korkeuden tai visuaalisesti kaupunkimaisemaan ja näkyymiin perustuen. Korkean rakentamisen lisääntymisen taustalla vaikuttaa mm. tonttimaan vähyys, pyrkimys maankäytön tehokkuuden parantamiseen ja kaupunkikuvan vaihtelevuuden hakeminen. Korkean rakentamisen yleistyessä Suomessa on rakennusurakoitsijoiden tulevaisuudessa arvioitava työmaan logistiikan hallinnan käytäntöjään ja niiden toimivuutta korkeassa rakentamisessa. Korkean rakentamisen erityispiirteiden, kuten sijoittumisen tiiviisti rakennettuun ympäristöön ja pitkien pystysuuntaisten materiaalien haalausreittien vuoksi, on logistiikan ennakkosuunniteluun kiinnitettävä erityistä huomiota.

Rakennustyömaa voidaan nähdä tilaus-valmistus-toimitusketjuna, jossa materiaalit, tarvikkeet ja henkilöresurssit ohjataan työmaalle, tavoitteena koostaa niistä uniikki tuote, tässä tapauksessa halutun kaltainen rakennus. Työmaan logistiikkaa voi pitää onnistuneena, jos materiaaleja on käytössä oikea määrä oikeassa paikassa oikeaan aikaan ilman, että se on häirinnyt työn tehokasta toteuttamista. Rakentamisen logistiikassa korostuu projektien kertaluonteisuus ja toiston puute, josta aiheutuu toimitusketjuihin epävakautta. Ongelmat logistiikassa ilmenevät mm. materiaalien vaurioitumisena ja ylimääräisinä siirtokertoina sekä materiaalitoimituksien häiriöistä aiheutuneina aikatauluviiveinä.

Työmaan rakennusmateriaaleille on useita toimituskanavia ja toimitustapoja. Case-kohteen perusteella korkeassa rakentamisessa vartenotettavana toimintatapana voi pitää logistiikkakeskuksen käyttöä, jossa eri toimittajien tuotteet yhdistetään asennuspaketeiksi asunto- tai kerroskohtaisesti ja asennuspaketit toimitetaan täsmätoimituksena oikea-aikaisesti asennuspaikalle.

Korkean rakentamisen logistiikan haasteena on pystysuuntaisen logistiikan suuri tarve, haastavat sääolosuhteet ja voimakkaat tuulet sekä työmaa-alueen

ahtaus ja varastointitilan puute. Korkean rakentamisen logistiikassa mahdollisuutena voi nähdä teollisen rakentamisen ja tahtituotannon, esivalmisteiden käytön sekä työmaan logistiikan keskittämisen ja logistiikkakeskuksen käytön.

Case-kohteena toiminut kaapelinvalmistustorni sijaitsi tiiviisti rakennetulla toiminnassa olevalla tehdasalueella ja oli korkeudeltaan poikkeuksellinen rakennus Suomessa. Tornin rakenteista poikkeuksellisen teki liukuvaluna toteutettu betonirunko. Logistiikka oli case-kohteessa eriytetty tuottavasta työstä erilliselle logistiikkaan erikoistuneelle yritykselle ja käytössä oli logistiikkakeskus.

Case-kohteen logistiikan onnistumisina työmaan havainnoinnin perusteella voidaan pitää tahtiaikatauluun pohjautunutta logistiikan toteutusta, torninosturin käyttöasteen korkeutta runkovaiheessa, lopullisen hissien käyttöönottoa työmaan käyttöön varhaisessa vaiheessa ja työmaan logistiikan toimintamallia yleisesti. Haasteita case-työmaan logistiikkaan aiheutti rakennushissien toimintahäiriöt, materiaalien ja kaluston vääränlainen varastointi, aikataulupoikkeamat, muutokset työmaan piha-alueen kulkureiteissä ja jätehuollon puutteet.

Työssä esiin nousseita case-kohteen ja korkean rakentamisen erityispiirteitä olivat kovat tuulennopeudet, työmaan henkilöliikenteen ruuhkautuminen, nostokaluston riittävyys liukuvalussa, vuorotyön vaikutus tiedonkulkuun projektiorganisaatiossa ja hissikapasiteetin riittävyys materiaalin haalaukselle ja henkilöliikenteelle.

Työn lopputuotteena syntyi muistilista korkean rakentamisen logistiikkaan. Muistilistan tarkoituksena on toimia apuvälineenä uusia korkean rakentamisen hankkeita suunniteltaessa ja toteuttaessa. Muistilistassa luetellut työmaan logistiikkaan liittyvät aiheet ja aiheisiin liittyvät potentiaaliset haasteet tai mahdollisuuden sekä ehdotetut toimenpiteet ovat tarkoitettu hanketta suunnittelevalle henkilöstölle huomioon otettaviksi ja pohdittaviksi aiheiksi ennen työmaan aloitusta.

Henkilöpaikannusjärjestelmien käyttö yleistyy rakennustyömailla ja niiden avulla olisi mahdollista tehdä tarkempaa tutkimusta hukkaa työmaalla aiheuttavasta työntekijöiden liikkeestä ja tutkia syvällisemmin syitä hukan takana. Tässä olisi hyvä aihe lopputyölle henkilölle, joka osallistuu korkean rakentamisen hankkeeseen.

## Lähteet

Auli Olenius/SSa, AKo, TMä, APe, RLi, CKi, MLa, 2017. Ratu suunnitteluohje, C2-0454, Rakennustyömaan aluesuunnittelu. Rakennustieto Oy © Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS

Koski H., Koskenvesa A., Mäki T., Kivimäki C. 2010. Rakentamisen tuotantotekniikka 2010 (Ratu KI-6020). Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS

Hamzeh, F., Tommelein, I., Ballard, G., Kaminsky, P.M. 2007. Logistics centers to support project-based production in the construction industry.

Helsingin kaupunki, 2018. Korkean rakentamisen rakentamistapaohje 2018. Ohjekortit. Helsinki.

KONE JumpLift™ -ratkaisu, Artikkeliverkkosivu, <https://www.kone.fi/referenssit-ja-tarinat/uudisrakennukset/hissit/jumplift-kalasadama.aspx>, Vierailtu 9.10.2024

Kone-Ratu 04-3009, Nosto- ja siirtokalusto, Suunnitteluohje, 1990.

Lehtinen, J., & Kiviniemi, M. (1995). Hissin hyödyntäminen rakennustyömaalla: Sisävalmistusvaiheen siirrot. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes No. 1698

Lindroos, A., Jalkanen, R., Kurki-Issakainen, K., Manninen, R., Saarinen, P., Silfverberg, L., Tuuttila, J., Haapanen, S., Kytösaho, I., Veijalainen, J., Levanto, R., Pyykkönen, H. & Pakkala, P. 2011. Korkea rakentaminen Helsingissä. Helsingin kaupunki, Kaupunkisuunnitteluvirasto.

Palolahti T., Lahtinen M., Mäki T. 2010. Betonielementtien nostot. Mittaviiva Oy & Betoniteollisuus ry.

Peltokorpi, A., Lavikka, R., & Tetik, M. 2019. Rakentamisen logistiikkaratkaisut: Building 2030 Rakentamisen logistiikkaratkaisut -osahankkeen loppuraportti 9/2018-8/2019. Aalto University. [https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-10/loppuraportti\\_rakentamisen\\_logistiikkaratkaisut\\_23.10.2019.pdf](https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-10/loppuraportti_rakentamisen_logistiikkaratkaisut_23.10.2019.pdf)

Peltokorpi, A., Lavikka, R., Kokko L., Seppänen O., 2017-2018. Visio 2030 Teollinen rakentaminen -osahankkeen loppuraportti 9/2017-8/2018. Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos.

<https://www.porssitieto.fi/poistuneet/skaapeli.shtml>, Vierailtu 27.10.2024

Palolahti, T., Sahlstedt, S., Riihimäki, M. & Koski, H. 2009. Rakennustyömaan toimitusten ohjaus. Rakennusteollisuus RT ry, VTT & Mittaviiva Oy.

Ritvanen, V., Inkiläinen. A., von Bell, A., Santala, J., Relander, S. 2011. Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet. Suomen Huolintaliikkeiden Liitto ry, Suomen Osto- ja Logistiikkayhdistys LOGY ry.

Seppänen, O., Lehtovaara, J., Al Barazi, A., Pikas, E., Tetik. M., Zhao, J. 2021. Building 2030 korkea rakentaminen. Aalto-yliopisto insinööritieteiden korkeakoulu.

Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2016). A New Model for Construction Material Logistics: From Local Optimization of Logistics Towards Global Optimization of On-Site Production System. In IGLC 2016 - 24<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction (pp. 73-82). (Proceedings of the Annual-Conference of the International Group for Lean Construction). National Pingtung University of Science and Technology.

Suomen Tuuliatlas, Ilmatieteen laitos, <http://tuuliatlas.fmi.fi/fi/#>, Vierailtu 9.10.2024.

Työmaa-aineisto case-kohde. 2022-2024. YIT Infra Oy.

Vrijhoef, R., & Koskela, L. (2000). The four roles of supply chain management in construction. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 6(3-4), 169-178.

Ylä-Anttila, K. & Moisala, A. 2012. Korkean rakentamisen selvitys Tampereen keskusta-alueella. Tampereen kaupunki.

RIL 276-2021, LEAN Rakentamisessa, Arvoa luovan rakentamisen periaatteet, menetelmät ja työkalut, RIL ry, 2021

Logistiikan Maailma® Verkkosivusto <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastotyypit-ja-teknikka/> Vierailtu 8.10.2024

Logistiikan Maailma® Verkkosivusto <https://www.logistiikanmaailma.fi/aineistot/logistiikka-lukiolaisille/mita-on-logistiikka/> Vierailtu 2.11.2024

