Tampereen yliopisto

Tomi Koivula

ONTELOLAATTOJEN VARASTOINTITA-POJEN VERTAILU

Tapaustutkimus

Diplomityö
Johtamisen ja talouden tiedekunta
Tarkastaja: Heikki Liimatainen
Tarkastaja: Erika Kallionpää
Toukokuu 2023

TIIVISTELMÄ

Tomi Koivula: Ontelolaattojen varastointitapojen vertailu
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Tietojohtamisen diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2023

Ontelolaattojen varastoinnissa haasteena on niiden suuri koko, joka tekee niiden siirtämisestä aikaa vievää ja vaati suuria koneita ja laitteita. Lisäksi jokainen ontelolaatta on lähestulkoon oma uniikkiyksilönsä, mikä luo oman haasteensa varastonhallintaan.

Tapaustehtaan varastointi perustuu nosturivarastoon ja jalkakuormapaikkoihin tehtaan alueella. Ongelmaksi tehtaalla koetaan erityisesti lastauksien ruuhkautuminen nostureilla kiireellisinä toimituspäivinä. Tätä pyritään tasoittamaan tekemällä valmiskuormia jalkojen päälle. Tulevaisuudessa tapaustehtaan tuotantokapasiteettia ollaan nostamassa, joten lastauskapasiteettia tarvitaan yhä enemmän. Tämä tarkoittaa myös tarvetta varastointitilan lisäykselle, sillä puskurivaraston täytyy olla tarpeeksi tilava, jotta pystytään varmistamaan toimitusten onnistuminen vaihtelevassa kysynnässä.

Tutkimuksessa kartoitettiin aluksi tehtaan nykytilanne. Varastotilan riittävyyttä arvioitiin vertaamalla varaston kiertoa varaston kokoon suhteutettuna tehtaan tuotantokapasiteettiin. Nosturien lastauskapasiteetti määritettiin tutkimalla, millä kuormamäärällä nosturit ruuhkautuvat siten, että kuljetusliikkeen odotusvaateet ja myöhästymiset tilatuista toimitusajoista kasvavat merkittävästi. Jalkakuormien lastauskapasiteetti määritettiin olevan kaksi kuormaa viikossa yhdeltä jalkakuormapaikalta. Tehtaan nykytilanteen todettiin olevan kohtuullinen, ainoastaan lastauskapasiteetti uhkaa loppua kiireellisinä päivinä.

Tämän hetken varastointilaa ja lastauskapasiteetin sovittaminen tavoitteelliseen tuotantokapasiteettiin osoitti varaston laajentamisen olevan välttämätöntä. Skenaarioita varaston laajentamiselle luotiin tapaustehtaan vapaiden tila-alueiden pohjalta. Skenaarioiksi valikoitui yhden lisänosturin rakentaminen, jalkakuormapaikkojen lisääminen ja uusi varastointitapa, lukkivarastointi, jota käytetään muilla ontelolaattatehtailla. Jalkakuormapaikkojen ja lukkivarastoinnin skenaarioissa oli kaksi eri aluevaihtoehtoa, jotka olivat uuden nosturin alue ja betonimurskausalue.

Skenaarioiden vertailuun otettiin kolme näkökulmaa: operatiivisen toiminnan sujuvuus sisältäen varaston koon ja lastauskapasiteetin, kustannustaso ja vaikutus turvallisuuteen. Skenaarioiden sovittamisessa tavoitteellisen tuotantokapasiteetin vaatimuksiin selvisi, että lukkivarasto betonimurskausalueelle on ainoa skenaario, joka täyttää operatiivisen toiminnan sujuvuuden vaatimukset. Tähän skenaarioon liittyy kuitenkin paljon epävarmuustekijöitä lukkivaraston käytännön toteuttamisessa. Selvää on joka tapauksessa, että lukkivarastointia on kannattavaa tutkia potentiaalisena vaihtoehtona varaston laajentamisessa. Varavaihtoehtona tulisi tulee tutkia tapaustehtaan lähialueelta potentiaalisia tontteja jalkakuormapaikkoja varten. Jalkakuormapaikkojen kaksinkertaistaminen ja uuden nosturin rakentaminen olisi myös operatiivisen toiminnan sujuvuuden kriteerit täyttävä vaihtoehto.

Kustannustasojen vertailussa ei löydetty suuria eroja skenaarioiden välille. Tarvittava varastointitilan lisäys tulee vaatimaan joka tapauksessa suuria investointeja. Turvallisuusnäkökulmasta katsottuna lastauskapasiteetin riittävyys on ratkaisevassa osassa. Riittävä lastauskapasiteetti vähentää kiirettä ja siten myös tapaturmariskiä. Lukkivarastoinnin skenaariossa täytyy tarkemmissa suunnitelmissa varmistaa, ettei turvallisuus heikkene uuden varastointitavan myötä.

Avainsanat: Ontelolaatta, varastointitapa, varastointitehokkuus, varaston kiertoaika, lastauskapasiteetti, jalkakuorma, lukkinosturi

ABSTRACT

Tomi Koivula: Comparison between different storage methods of hollow core slabs
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Information and Knowledge Management
May 2023

The challenge in storing hollow core slabs is their large size, which makes moving them time-consuming and requires large machines and equipment. In addition, each hollow core slab is almost own unique individual, which creates challenge for inventory management.

The storage of the case factory is based on the crane warehouse and ready-made leg-load places at the factory area. The problem at the factory is especially the congestion of loading with cranes on urgent delivery days. This is attempted to be moderated by placing ready-made loads on the legs. In the future, the production capacity of the case factory is being increased, so more loading capacity is needed. This also means the need for an increase in storage space, as the buffer warehouse must have enough space to be able to ensure successful deliveries in demand changes.

The study first mapped the factory's current situation. The adequacy of the storage space was evaluated by comparing the stock turnover with the size of the stock in relation to the production capacity of the factory. The loading capacity of the cranes was determined by studying the number of loads, which the cranes become congested in a such way that the transport company's waiting time and delays in the ordered delivery times increase significantly. The loading capacity of leg-loads was determined to be two loads per week from one leg-load place. The factory's current situation was found to be reasonable, only the loading capacity on urgent days threatens to run out.

Matching the current storage space and loading capacity to the targeted production capacity showed that expanding the warehouse was necessary. Scenarios for expanding the warehouse were created based on the free space areas of the case factory. The scenarios chosen were the construction of one additional crane, the addition of leg-loading places and a new storage method, a straddle carrier storage, which is used at other hollow core slab factories. There were two different area options for leg-load places and straddle carrier storage, which were the new crane area and the concrete crushing area.

Three points of view were taken to compare the scenarios: the smoothness of the operational activities, including the size and loading capacity of the storage, the cost level of expanding and the impact on safety. Matching the scenarios to the requirements of the targeted production capacity revealed that the straddle carrier storage for the concrete crushing area is the only scenario that meets the requirements for the smoothness of operational activities. However, this scenario involves a lot of uncertainties in the implementation of the operation of the straddle carrier storage. In any case, it is worthwhile to study straddle carrier storage as a potential option for expanding the warehouse. As a back-up option, potential land areas near the case factory should be investigated for leg-loading places. Doubling the leg-loading places and building a new crane would also be an option that meets the criteria for operational smoothness.

In the comparison of cost levels, no big differences were found between the scenarios. The necessary increase in storage space will require large investments in any case. From the safety point of view, the adequacy of the loading capacity is a decisive factor. Sufficient loading capacity reduces congest and therefore also the risk of accidents. In the straddle carrier storage scenario, more detailed plans must be ensured that safety level does not drop with the new storage method.

Keywords: Hollow core slabs, storage method, storage efficiency, stock turnover, loading capacity, leg-load, straddle carrier

ALKUSANAT

Työn tekeminen viivästyi tarpeettoman kauan, mutta nyt se on vihdoin tehty. Haluan kiittää tapaustehdasta mahdollisuudesta tehdä diplomityö tehtaan tarpeisiin. Diplomityön tarkastajia haluan kiittää mahdollisuudesta tehdä diplomityö nopealla aikataululla ja rohkaisusta, että työ tulee valmiiksi. Läheisille kiitos kannustuksesta ja mielenkiinnosta diplomityötäni kohtaan, mikä tsemppasi tekemään työn valmiiksi. Erityiskiitos siskolleni Virpille tekstin oikolukemisesta ja pilkkujen viilaamisesta paikoilleen.

Tuusula, 11.05.2023

Tomi Koivula

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. TUTKIMUSPROSESSI 2
3. KIRJALLISUUSKATSAUS 7
    3.1 Hakusanat 7
    3.2 Löydetyt lähteet 8
    3.3 Soveltaminen yleiseen logistiikan kirjallisuuteen 10
4. ONTELOLAATTA 12
    4.1 Historia Suomessa 12
    4.2 Ominaisuudet 12
    4.3 Markkinat 13
5. ONTELOLAATAN TOIMITUSKETJU 15
    5.1 Ontelolaattojen ja ontelolaattakuormien suunnittelu 15
    5.2 Tuotannonsuunnittelu 16
    5.3 Valmistaminen 17
    5.4 Varastointi 18
    5.5 Kuljetus 19
    5.6 Toiminta asiakkaalla ja paluukuorma 21
6. ONTELOLAATTOJEN VARASTOINTI- JA LASTAUSTAVAT 23
    6.1 Nosturivarasto 23
    6.2 Valmiskuormat jaloilla 27
    6.3 Lukkivarastointi 28
7. VARASTOINTITAPOJEN VERTAILUJEN NÄKÖKULMAT 31
    7.1 Käytetyt tietolähteet mittareihin 31
    7.2 Varastoinnin tehokkuus 32
    7.3 Lastauksen tehokkuus 33
    7.4 Kustannustehokkuus 33
    7.5 Turvallisuusarviointi 34
8. TAPAUSTEHTAAN VARASTON NYKYINEN OPERATIIVINEN TOIMINTAKYKY 36
    8.1 Varastoinnin tunnusluvut 36
    8.2 Lastauksen tunnusluvut 39
9. VARASTOINTITAPOJEN SKENAARIOT TAPAUSTEHTAALLA 43
    9.1 Lähtökohdat skenaarioille 43
    9.2 Nosturivaraston laajennus 44

9.3 Valmiskuormapaikkojen lisääminen 45
9.4 Lukkivaraston käyttöönottaminen 47
10. TULOKSET 49
10.1 Varastointiskenaarioiden vertailu toisiinsa 49
10.2 Varastointiskenaarioiden SWOT-analyysi 51
10.3 Parhaan varastointiskenaarion valinta 54
10.4 Optimoidun varastointiskenaarion laskeminen 55
11. JATKOTUTKIMUS SUOSITUKSET 56
12. YHTEENVETO 57
LÄHTEET 59
LIITE A: TOIMINNANOHJAUSJÄRJESTELMÄN DATAKOKOELMIEN ESITTELY 62

KUVALUETTELO

Kuva 1. Tutkimusprosessi yksinkertaistettuna (muokattu Saunders et al. 2019 s 12) 2
Kuva 2. Tutkimusprosessin lähestymistavat Saunders et al. 2019 s 130 3
Kuva 3. Hakusanojen hakuprosessi kirjallisuuskatsauksessa (muokattu Saunders et al. 2019 s 75) 4
Kuva 4. Ontelolaatta (Rakentaja.fi) 13
Kuva 5. Ontelolaatan koko toimitusketju ja toimitusajankohdan tarkentuminen 15
Kuva 6. Valukone valamassa valupedille ontelolaattoja (Elematic 2023) 17
Kuva 7. Ontelolaatan toimitusketju valmistuksesta alkaen 19
Kuva 8. Vasemmalla jatkettava puoliperävaunu ja oikealla kahden puoliperävaunun yhdistelmä eli B-linkki. Molemmat perävaunut ovat avomallisia. (Vasen kuva SDC trailers 2023 ja oikea kuva Reitnouer 2023) 20
Kuva 9. Oikeanlaisesti sidottu ontelolaattakuorma (Turvapuisto 2023) 21
Kuva 10. Ontelolaattoja asennettuna työmaalla (Rakentaja.fi 2023) 22
Kuva 11. Hahmotelmakuva nosturivarastosta (ei mittakaavassa) 23
Kuva 12. Siltanosturi nosturivarastossa (Oma kuva 2023) 24
Kuva 13. Nippunostoraudoilla voidaan nostaa useampi ontelolaatta kerralla (Oma kuva 2023) 25
Kuva 14. Esimerkki jaloitetusta kuormasta (Oma kuva 2023) 28
Kuva 15. Lukkinosturi siirtämässä ontelolaattakuormaa ajoneuvon lavalle (Combilift 2023) 29
Kuva 16. Kuukausittainen toimitusmäärä suhteutettuna vuoden 2022 keskiarvoon 37
Kuva 17. Vuosien 2018 – 2022 toimitusmäärien jakautuminen kuukausittain 38
Kuva 18. Vuoden 2022 kuormamäärien jakautuminen prosentuaalisesti verrattuna keskimääräiseen kuormamäärään 41
Kuva 19. Uuden nosturin rakentamisen SWOT-analyysi 52
Kuva 20. Jalkakuormien lisäämisen SWOT-analyysi 52
Kuva 21. Lukkivarastoinnin käyttöönottamisen SWOT-analyysi 53

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Lähteiden etsimiseen käytettyjen hakusanojen löydetyt tulokset 7
Taulukko 2. Löydettyjä lähteitä betonielementtien toimitusketjusta 9
Taulukko 3. Varaston avainlukuja viideltä viime vuodelta 36
Taulukko 4. Kuormaryhmät päivän nosturilastauksien mukaan ja niiden vertailu keskimääräiseen päivään nähden vuonna 2022 39
Taulukko 5. Kiireellisten lähetteiden vertailu ei-kiireellisiin lähetteisiin 40
Taulukko 6. Varastointiskenaarioiden vertailu toiminnan operatiivisten mittareiden avulla (Tuotannon tavoitekapasiteetin luvuilla) 49
Taulukko 7. Varastointiskenaarioiden vertailu arvioitujen kustannusten näkökulmasta 50
Taulukko 8. Varastointiskenaarioiden vertailu turvallisuuden näkökulmasta 51
Taulukko 9. Koonti muodostettujen skenaarioiden tuloksista tarkastelluista näkökulmista 58
Taulukko 10. Rahtikirja datakokoelman tietueet ja niiden ominaisuuksia 62
Taulukko 11. Elementtiluettelo datakokoelman tietueet ja niiden ominaisuuksia 62

LYHENTEET JA MERKINNÄT

JIT	Tuotantofilosofia, jossa tuote valmistuu juuri ennen toimitusta (Just In Time)
LTIF	Poissaoloon johtaneiden tapaturmien määrä miljoonaa työtuntia kohden (Lost Time Incident Frequency)
TRIF	Tapaturmien määrä miljoona työtuntia kohden (Total Recordable Incident Frequency)
JalKap	Jaloituspaikkojen kapasiteetti yhtä työpäivää kohden
JalKus	Jalkakuormien tekemisen kustannus
KHP	Kysynnän huippupäivä
KHKK	Kysynnän huippukuukausi
KuM	Keskimääräinen kuormamäärä päivässä
NosKap	Nosturilastausten kapasiteetti yhtä työpäivää kohden
ToM	Vuosittainen toimitusmäärä
TuM	Vuosittainen tuotantomäärä
Varkus	Varastoinnin kustannus

.

1. JOHDANTO

Ontelolaatat ovat betonista valmistettuja esijännitettyjä laattaelementtejä, joilla rakennetaan erilaisten rakennuskohteiden lattioita ja kattoja. Jokaiseen rakennuskohteeseen ontelolaatat suunnitellaan erikseen, joten käytännössä jokainen ontelolaatta on uniikki kappaleensa. Varaston näkökulmasta tämä tekee sen, että eri tuotteita on todella paljon vaikkakin varsinaisia tuotelajikkeita on muutamia. Tämän lisäksi tapaustehdas on kapasiteetiltaan suurehko, jolloin myös tuotteiden määrä on myös valtava. Tämä asettaa varaston toimivuuden erityisen suureen rooliin koko toimitusketjun kannalta.

Ontelolaattojen varastoinnissa on kaksi erilaista päälinjaa. Ensimmäisessä ontelolaatat varastoidaan nosturivarastoon, josta laatat lastataan joko yksitellen tai nipuittain kuljetuskalustoon. Toinen vaihtoehto on varastoida kuormat valmiiksi kuormatuiksi kuormiksi jalkojen päälle, josta kuljetuskalusto saa kuorman suoraan kokonaan kyytiin.

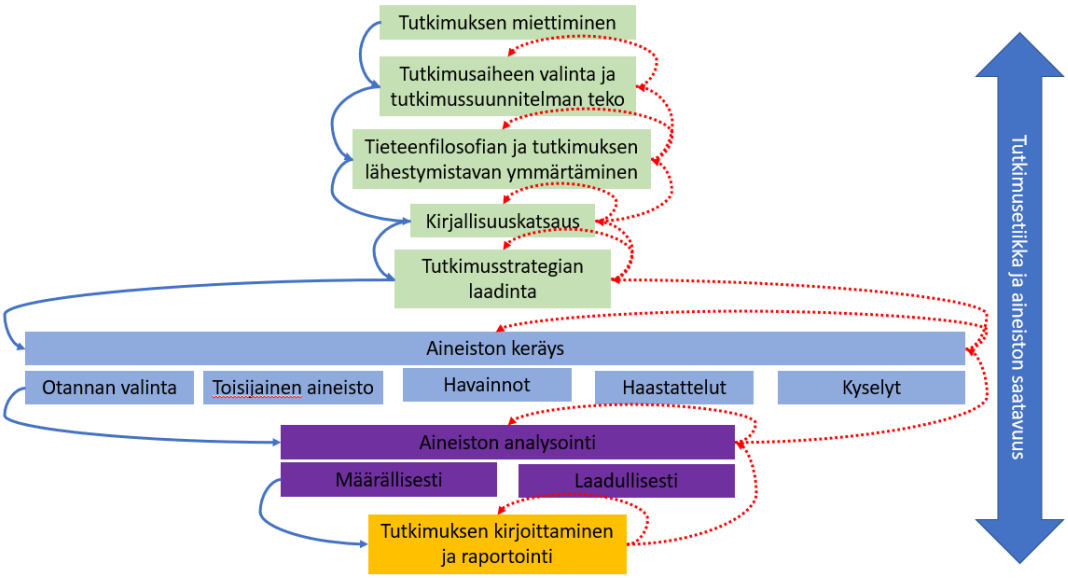
Tärkeimpiä tavoitteita ontelolaattojen varastoinnissa on turvallisuus ja toimivuus laattojen ehjänä säilymisessä. Varastoinnin tehokkuudessa tärkeää on varastoinnin nopeus ja varastoinnin viemä pinta-ala laattojen pinta-alaan verrattuna. Lisäksi varastointitapa vaikuttaa suuresti lastausnopeuteen, joka on hyvin kriittinen ominaisuus ontelolaattojen toimitusketjun kannalta.

Tämän tutkimuksen tapaustehtaalla suureksi ongelmaksi koetaan lastausten ruuhkautuminen. Tämä aiheuttaa kustannuksia odotusvaateina kuljetusliikkeeltä. Lisäksi tämä aiheuttaa toimitusten myöhästymisiä työmailta, mikä tuottaa kustannuksia asiakasreklamaatioiden muodossa ja myös mainehaittaa elementtejä valmistavalle yritykselle. Tulevaisuudessa tapaustehtaan kapasiteettia ollaan nostamassa, mikä entisestään tekee tärkeämmäksi varaston toimivuuden.

Päätutkimuskysymyksenä on selvittää miten tapaustehtaan varastoa tulisi laajentaa, jotta varasto palvelisi tulevaisuudessa mahdollisimman tehokkaasti tapaustehtaan tarpeita. Tähän kysymykseen haetaan vastauksia viime vuosien datasta, josta selviää varastoinnin ja lastauksen tunnusluvut. Näiden avulla arvioidaan, miten eri laajentamisvaihtoehdot täyttävät suuremman toimituskapasiteetin tarpeet. Operatiivisen tehokkuuden lisäksi arvioidaan eri vaihtoehtojen kustannukset ja vaikutus turvallisuuteen.

2. TUTKIMUSPROSESSI

Tämä tutkimus on tapaustutkimus eräästä eteläsuomalaisen ontelolaattatehtaan varastointitapojen soveltumisesta tehtaan tarpeisiin nyt ja tulevaisuudessa. Työn tavoitteena on löytää toimivin skenaario varastotoiminnoille eri näkökulmia painottaen.

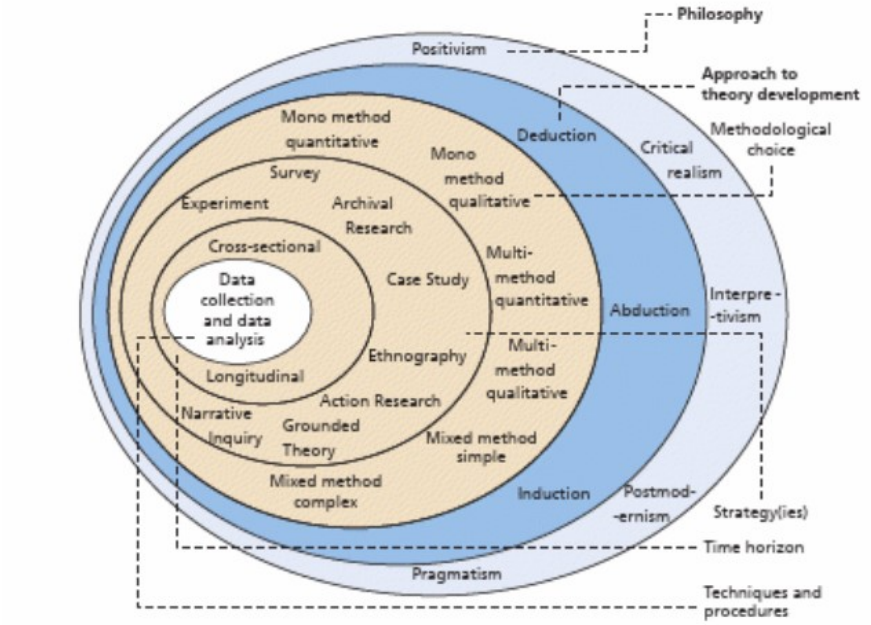


Kuva 1. Tutkimusprosessi yksinkertaistettuna (muokattu Saunders et al. 2019 s 12)

Saunders et al. esittävät kirjassaan yhden tavan, miten tieteellisen tutkimuksen prosessi etenee, joka on esitelty muokattuna kuvassa 1 (2019 s 12). Prosessi etenee ylhäältä alas vaiheittain, mitä kuvaa vasemman reunan siniset nuoliviivat. Tieteellinen tutkimus on kuitenkin prosessi, jossa voidaan edetä myös taaksepäin, jota kuvaa oikean reunan punaiset katkoviivaiset nuolet. Tätä toimintaa kutsutaan reflektioksi ”heijastamien”, jolla tarkoitetaan oman toiminnan kriittistä analysointia. Tätä oman toiminnan kriittistä analysointia suositellaan tekemään läpi tutkimusprosessin, eikä vain lopuksi. Jatkuvalla reflektiolla tutkija palaa takaisinpäin prosessissa enemmän tutkittavasta aiheesta tietäen. Tällöin tutkija pystyy paremmilla tiedoilla valitsemaan elementtejä ja vaiheita tutkimusprosessiinsa. Parhaassa tapauksessa tutkimuksen pätevyys ja luotettavuus paranee, kun tutkimusvalinnat on tehty harkiten paremmalla tietämyksellä aiheesta. (Saaranen-Kauppinen ja Puusniekka 2006a)

Erona Saunders et al. kuvaamaan tutkimusprosessiin kuvassa 1 on oikealla reunassa oleva kaksipäinen nuoli, joka kuvaa tutkimusetiikka ja aineiston saatavuutta. Saunders et al. tutkimusprosessin kuvauksessa tämä oli omana laatikkona tutkimusstrategian laadinnan jälkeen. Tässä tutkimuksessa tutkimusetiikka ja aineiston saatavuus nostetaan

esille läpi tutkimusprosessin, koska tämä on tapaustutkimus, jossa tutkimus tehdään yhdelle yritykselle. Tällöin nousee erityishuomioksi liikesalaisuudet ja niiden varjeleminen, joka on osa tutkimusetiikka (Saunder et al. 2019 s 235). Kohdeyrityksen liikesalaisuuteen vedoten täytyy ottaa huomioon kohdeyrityksen toiveet ja vaatimukset, mitä asioita voidaan tässä tutkimuksessa esittää. Mitkä tiedot jätetään kokonaan pois ja mitkä tiedot esitetään indeksien avulla kertomatta tarkkoja absoluuttisia lukuarvoja.



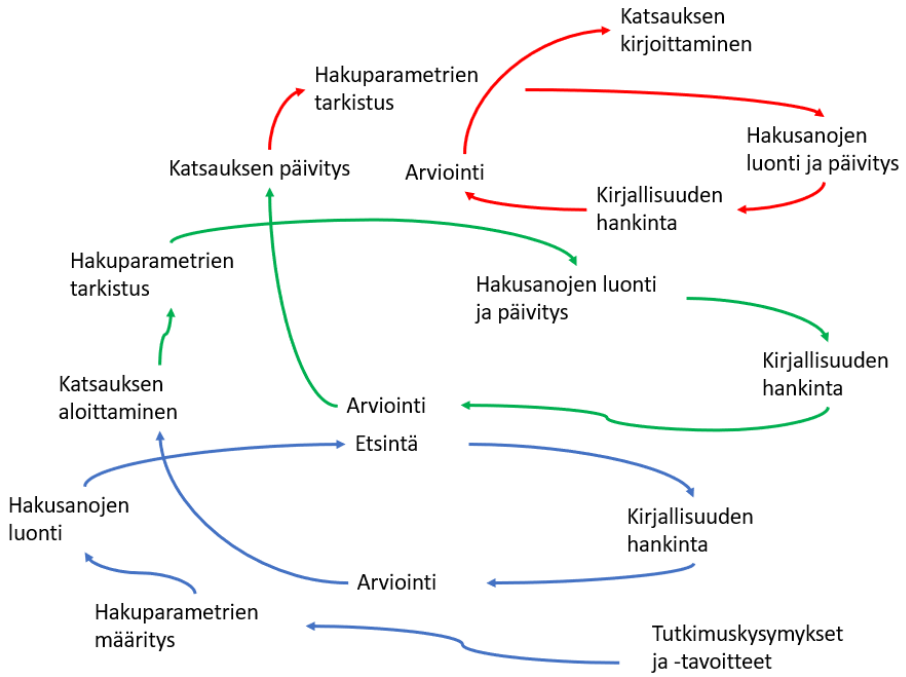
Kuva 2. Tutkimusprosessin lähestymistavat Saunders et al. 2019 s 130

Ensimmäisenä askelmana tutkimusprosessissa on tutkimuksen miettiminen, jota seuraa tutkimusaiheen valinta. Tässä tutkimuksessa nämä kaksi vaihetta oikeastaan yhdistyi yhteen. Tutkimuksen aihe tulee suoraan kohdeyrityksen tarpeesta. Ontelolaattojen varastointi ja lastaaminen nähdään ja koetaan jo nyt tehtaan toimitusprosessin pullonkaulana, eli se ei pysty toimimaan samanlaisessa volyymissa kuin edellä olevat ja seuraavaksi olevat vaiheet toimitusprosessissa. Tämän lisäksi tehtaalla on suunnitelmissa lisätä tehtaan tuotantokapasiteettia, mikä tekee vielä tärkeämmäksi, että myös varaston toiminta pystyy toimimaan isommalla kapasiteetilla.

Seuraavassa vaiheessa tutkimusprosessissa on tieteenfilosofioiden ja tutkimusmenetelmien ymmärtäminen ja niiden valinta tutkimukseen. Tätä kuvataan hyvin Saunders et al. luomassa ”tutkimussipulissa”, joka esitetty kuvassa 2. Tutkimussipulia tulkitaan, että uloimmasta kuoresta tutkimusfilosofian valinnasta edetään sisemmille kuorille. Tieteenfilosofiaa kirjoittajat kuvailevat lyhyesti sanottuna tutkijan suhtatumistavaksi uuden tiedon luomisessa. Kaikessa tutkimuksessa joudutaan tekemään oletuksia. Se, miten ja mitä oletuksia tutkija tekee, muovaa miten tutkija ymmärtää ja käsittelee tutkimuskysymyksiä

ja mitä tutkimusmenetelmiä tutkija tutkimukseen valitsee (Saunders et al 2019 s 131). Tämä väistämättä vaikuttaa myös, millaisiin tutkimustuloksiin tutkimuksessa päädytään.

Valittu tieteenfilosofia vaikuttaa vahvasti tutkimuksen lähestymistapaan. Erilaisia lähestymistapoja on tunnistettu kolme erilaista, jotka ovat induktiivinen, deduktiivinen ja abduktiivinen (Saunders et al. 2019; Kovács et al. 2005 ja Okoli 2021). Sauders et al. kuvailevat teorianäkökulmasta deduktiivisen lähestymistavan olevan teorian vahvistamista tai sen kumoamista. Induktiivisen kerrotaan olevan teorian luomista. Viimeisen lähestymistavan eli abduktiivisen kerrotaan olevan teorian luomista ja muokkaamista. Toisin sanoen deduktiivinen on teoriasta aineistoon, induktiivinen aineistosta teoriaan ja abduktiivinen on kombinaatio näistä. Tämä tutkimus on lähestymistavaltaan abduktiivinen. Tässä tutkimuksessa tutkitaan yhtä tapausta, jota tutkitaan olemassa olevan tiedon avulla, mutta tutkittavan aineiston avulla tehdään myös päätelmiä eli eräänlaista teoriaa.



Kuva 3. Hakusanojen hakuprosessi kirjallisuuskatsauksessa (muokattu Saunders et al. 2019 s 75)

Tieteenfilosofian ja tutkimuksen lähestymistavan ymmärtämisen ja valinnan jälkeen tutkimusprosessissa seuraava vaihe on kirjallisuuskatsaus. Tutkimuksen alkumietinnöissä ja aiheen valinnassa suurimpina kysymyksinä oli aiheen rajaus ja aineiston saatavuus. Aiheena ontelolaattojen varastointitapojen vertailu on hyvin spesifi ja ainutlaatuinen. Tästä syystä saatavilla olevaa kirjallisuutta on hyvin niukasti saatavilla. Tästä syystä kirjallisuudesta saatava teoriaa, joudutaan soveltamaan ontelolaattoja laajemmasta näkökulmasta eli kaikkien esivalittujen betonielementtien näkökulmasta ja myös varastoin-

nista ja logistiikasta yleisesti. Tätä kirjalliskatsauksen näkökulmien laajentamista ja hakusanojen käyttöä on esitelty kuvassa 3. Kirjallisuuskatsausta ja hakusanojen käyttöä käydään tarkemmin läpi seuraavassa luvussa 3.

Kirjallisuuskatsauksen jälkeen laaditaan tutkimusstrategia siitä millä näkökulmalla asioita tutkitaan ja miten tietoa eri asioihin hankitaan. Tutkimusstrategian laatiminen lähti liikkeelle siitä, millaista tietoa varaston toiminnasta saadaan yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä. Tämä valittiin lähestymistavaksi, koska toiminnanohjausjärjestelmän data oli tutkijalle tuttu. Lukkivarastointia ei ole tapaustehtaalla käytössä, joten siitä ei ole saatavilla dataa toiminnanohjausjärjestelmästä. Tämän vuoksi tarpeen oli ottaa yhteyttä saman konsernin tehtaalle, jossa oli käytössä lukkivarastointi. Tämän tehtaan logistiikkavastaava esitteli pienen diaesityksen, miten siellä tehtaalla lukkivarastointi toimii ja kertoi tunnuslukuja, joita voidaan hyödyntää. Esityksen materiaalin ja siitä tehtyjen muistiinpanojen pohjalta arvioidaan lukkivarastoinnin sopivuutta tapaustehtaalle. Tämän lisäksi havainnointi tehtaalla oli tiedonkeruumenetelmänä. Havainnointia ja sen muistiinpanoja käytettiin erityisesti tuotannon näkökulman tiedonkeruussa.

Yhtenä osana aineiston keräystä on otannan valitseminen. Toiminnanohjausjärjestelmän datan kohdalla tämä tarkoitti tarkasteltavan aikajanan valintaa. Tutkimuksessa päädyttiin viiden viime vuoden otantaa eli vuodet 2018–2022. Tämä siitä syystä, että tehtaan toimitusmäärä on ollut näinä vuosina suhteellisen samankaltainen ja viiden vuoden otanta antaa hyvän kuvan pitkältä aikaväliltä tehtaan toiminnasta.

Aineiston keräyksen ja otannan valinnan jälkeen aineisto analysoidaan. Aineisto tyyppejä on kaksi erilaista laadullinen ja määrällinen. Laadullinen aineisto voidaan katsoa olevan aineistolähtöistä ja määrällinen aineiston teorialähtöistä. Nämä kaksi suuntausta voidaan jaotella myös siten, että laadullisessa aineistossa on yleensä tekstimuotista aineistoa ja määrällisessä aineistossa numeromuotoista. Saadun aineiston muoto riippuu hyvin pitkälti valitusta tiedonkeruumenetelmästä. Tässä tutkimuksessa esimerkiksi tehtaalla tehdyt havainnot olivat laadullista aineistoa. Tapaustehtaan toiminnanohjausjärjestelmästä saatiin puolestaan määrällistä aineistoa. Tutkimuksessa käytettiin siis menetelmätriangulaatiota, jossa käytetään useita tiedonhankintamenetelmiä aineiston hankinnassa (Saaranen-Kauppinen ja Puusniekka 2006).

Aineiston analyysi laadullisessa tutkimuksessa voi olla aineiston huolellista lukemista läpi, tekstimateriaalin järjestelyä, rakenteiden erittelyä ja pohtimista mitä aineisto sisältää (Saaranen-Kauppinen ja Puusniekka 2006). Tässä tutkimuksessa havaintojen muistiin-

panoja analysointiin lähinnä pohtimalla, miten ne liittyvät määrällisestä aineistosta saataviin lukuihin. Havaintojen muistiinpanoista etsittiin siis esiin nousevia asioita, joilla on merkitystä tutkimuksen kannalta.

Määrällisen aineiston analyysissä kohteena on joko yksi muuttuja tai useita muuttujia (KvantiMOTV 2003). Tässä tutkimuksessa käytettiin yhden muuttujan analyysia, tapaustehtaan varaston tunnuslukujen mittaamiseen. Laskelmat saadusta datasta tehtiin Microsoft Excel -ohjelmalla.

Viimeisenä vaiheena tutkimusprosessia on tutkimusraportin kirjoittaminen. Tässä tutkimuksessa tutkimusraportin kirjoittaminen on alkanut heti tutkimusaiheen valinnan jälkeen. Kirjoittamisen edetessä on käytetty runsaasti aiemmin mainittua itsereflektiota eli palattu taaksepäin tutkimusraportissa, kun löydetty uusia havaintoja tai tuloksia aiheeseen liittyen.

3. KIRJALLISUUSKATSAUS

Kirjalliskatsaus nähdään lähes pakollisena osana tieteellistä tutkimusta. Kirjallisuuskatsauksen avulla tutkija pystyy vertailemaan omia tuloksia sekä havaintoja jo tehtyihin tutkimuksiin (Saunders et al. 2019 s 74). Parhaimmillaan tuloksena on vuoropuhelu omien havaintojen ja eri lähteiden välillä.

Kirjallisuuskatsauksen voi tehdä monella eri tavalla. Yksi tapa on tehdä se yhdeksi luvuksi tutkimuksena alkuun (Saunders et al. 2019 s 74). Tässä tutkimuksessa päädyttiin tähän tapaan, koska tutkimuksen aihe on niin spesifi, niin nähtiin, että on tärkeää selvittää ja tuoda esille heti tutkimuksen alussa, että aihetta ei ole ennen tutkittu näin tarkalla näkökulmalla kuin tässä tutkimuksessa. Kuitenkin on tärkeää pitää yllä vuoropuhelua olemassa olevan kirjallisuuden ja omien havaintojen välillä läpi tutkimuksen erityisesti yhteenvedossa.

3.1 Hakusanat

Tämän työn kirjallisuuskatsaukseen käytettiin Tampereen Yliopiston kirjaston tarjoamaa Andor-tietokantaa ja Google Scholar -hakukonetta. Näistä tietokannoista löytyvien tieteellisten artikkeleiden ja kirjojen avulla tehtiin myös helmenkalastusta, jolla tarkoitetaan lähteestä löytyvien lähteiden hyödyntämistä.

Taulukko 1. *Lähteiden etsimiseen käytettyjen hakusanojen löydetyt tulokset*

Hakusana	tulokset andor	tulokset google scholar
hollow core slabs logistics	3	6 550
hollow core slabs storage	69	31 000
hollow core slabs deliveries	14	15 400
hollow core slabs supply chain	1	23 400
hollow core slabs transportation	105	22 900
precast concrete logistics	160	8 700
precast concrete storage	1 303	28 900
precast concrete deliveries	584	16 900
precast concrete supply chain	111	12 700
precast concrete transportation	2 977	56 800

Ontelolaatoista tai yleisestikään esivalettujen betonielementtien varastoinnista tai laajemmin toimitusketjusta ei suomen kielellä löytynyt juurikaan tieteellisiä lähteitä. Ainoat

hakutulokset olivat korkeakoulutöitä yleensä liittyen esivalettujen betonielementtien suunnitteluun. Betonielementtisuunnittelualan suomalaisten järjestöjen nettisivuja käytettiin tietolähteeksi betonielementtirakentamisen yleistietoihin Suomen kontekstissa. Tämä oli tärkeää, koska diplomityön tapaustehdas sijaitsee Suomessa. Muilta osin hyödynnetty kirjallisuusmateriaali oli suurimmaksi osaksi englannin kielistä.

Hakusanoja kirjallisuustutkimukseen haettiin aluksi suoraan ontelolaatta edellä ”hollow core slabs”. Kuten alla olevasta taulukosta 1 huomataan, se tuotti hyvin vähän hakutuloksia. Tämän jälkeen hakutuloksia laajennettiin hakemalla yleisesti esivaletulla betonielementeillä ”precast concrete”, joka tuotti jo paljon enemmän hakutuloksia molemmissa tietokannoissa.

Yllä olevan taulukon hakusanojen lisäksi käytettiin hakusanoina termejä, joita lähteistä löytyi, esimerkiksi esivalettujen betonielementtien tuotanto ”precast concrete production” hakusana löysi artikkeleita, joissa käsiteltiin tuotannon lisäksi logistiikka. Lisäksi myös artikkeleiden tekijöillä etsittiin lisää artikkeleita.

3.2 Löydetyt lähteet

Pelkästään ontelolaattojen varastointia tai edes tuotantoa käsitteleviä lähteitä ei löytynyt lainkaan. Etsimällä kaikkia esivalettuja betonielementtejä koskevia artikkeleita löytyi useita artikkeleita, joissa ainakin sivuttiin myös elementtien varastointia. Suoraa erilaisten varastointitapojen vertailua ei löytynyt. Marasini et al. tutkivat Case-tutkimuksessa esivalettujen betonielementtivaraston pohjapiirustusvaihtoehtoja, mikä oli lähimpänä tämän tutkimuksen aihetta. Siinä ei kuitenkaan vertailtu toisiinsa erilaisia varastointitapoja ja lisäksi tutkimus on julkaistu jo vuonna 2001.

Kirjallisuudesta ei siis löytynyt suoraa vertailupohjaa, josta saisi valmiiksi ominaisuuksia, joilla tehty vertailua eri varastointitapojen välillä. Yllä olevasta taulukosta 2 nähdään lähteiden käsittelevän hyvin usein logistiikkatoimittajan eli betonielementtitehtaan tuotannon näkökulmasta.

Kuitenkin kirjallisuudessa, jossa esivalettujen betonielementtien varastointia käsiteltiin, saatiin selville tärkeitä näkökulmia, joita olisi hyvä vertailla varastointitapojen kesken. Kirjallisuudessa varastointiin liittyen nousi esiin erityisesti tuotteiden ehtiminen tilattuun aikatauluun. Aikataulusta myöhästyminen tuo tuotteiden valmistajalle reklamaatioita ja mahdollisesti korvausvelvollisuuksia tilaaja kohtaan. (Phan,T. & Ahtigarakunagorn, N. 2022; Hatmoko, J. et al. 2019; Chen, J. 2017; Kong, L. et al. 2018; Wang, Z et al. 2018; Liu, D. et al. 2020; Ergen, E. & Akinci, B. 2008) Toisena suurena näkökulmana oli betonielementtituotteiden vaikutus ympäristöön. Tätä näkökulmaa tuettiin muun muassa sillä, että rakennusala on maailmassa yksi suurimmista saastuttajista (Ingrao, C. 2014). Varastoinninkin kannalta hyvin merkittävänä näkökulmana nähtiin tuotteiden nopea läpimenoaika, jolla tarkoitetaan, että betonielementit eivät olisi valmistumisensa jälkeen kauaa varastossa. Tässä yhteydessä puhuttiin muutamassa lähteessä ”Just in time” -metodista (JIT), joka suomeksi tarkoittaa tuotteiden valmistumista mahdollisimman myöhään ennen toimitusta. (Phan,T. & Ahtigarakunagorn, N. 2022)

Taulukko 2. *Löydettyjä lähteitä betonielementtien toimitusketjusta*

Lähde (kirjoittaja)	Tehtaan tuotannon näkökulma	Tehtaan varastoinnin lastauksen näkökulma	Kuljettamisen näkökulma	Työmaan näkökulma	Just in time	Elementtien ehtiminen aikatauluun	Ympäristö näkökulma
Nical, A. & Anysz, H. 2020	x						
Phan,T. & Ahtigarakunagorn, N. 2022	x	x	x	x	x	x	
Hatmoko, J. et al. 2019	x	x				x	
Ingrao, C. 2014	x	x					x
Chen, J. 2017	x	x	x	x		x	x
Son, P. Hieu, H. 2021	x	x	x	x			
Kong, L. et al. 2018	x		x	x	x	x	x
Wang, Z et al. 2018	x		x			x	
Liu, D. et al. 2020			x	x		x	
Ergen, E. & Akinci, B. 2008	x		x	x		x	

Löydetyissä lähteissä betonielementtien toimitusketjua käsiteltiin valmistavan toimittajan lisäksi asiakkaan eli rakennustyömaan näkökulmasta. Tästä näkökulmasta esiin nousi aiemmin mainitun betonielementtien ehtimisen tilattuun aikatauluun lisäksi tuotteiden varastoiminen työmailla. Tuotteiden varastointia työmaalla ei kuitenkaan ole relevantti asia tämän tutkimuksen kannalta, koska ontelolaatat pääsääntöisesti asennetaan suoraan kuljetuskalustosta, jolloin varastointia ei tapahdu työmaalla. Syynä on se, että ontelolaattoja on säilytettävä vaakatasossa, jolloin ne vievät hyvin paljon tilaa työmaalla, mikä ei yleensä ole mahdollista.

3.3 Soveltaminen yleiseen logistiikan kirjallisuuteen

Varastoinnin kannalta betonielementtien toimitusketjua käsittelevistä aineistoista ei löytynyt siis merkittävää apua. Tämän takia kirjallisuudesta etsitään varastointia ja toimitusketjua yleisesti käsitteleviä aineistoja. Kirjallisuutta etsiessä tuntuu olevan yksimielinen konsensus siitä, että varastoinnilla ja varastoilla on kriittisen tärkeä rooli koko toimitusketjun kannalta (Rushton et. 2017; Kembro et al. 2018; De Koster et al. 2017; Baker ja Canessa 2009). Varastoilla pystytään parantamaan asiakaskokemusta muun muassa tekemällä puskurivarastoa, jolla pystytään vastaamaan kysynnän vaihteluun (Rushton et al. 2017). Varastointia ei suinkaan nähdä pelkästään positiivisena asiana, koska se aiheuttaa myös kuluja. Varastossa olevat tuotteet sitovat pääomaa, ja mitä isompi varasto on, sitä isommat on varastonhallinnan kulut (Rushton et al. 2017). Voidaan siis sanoa, että varastointi on tasapainoilua tarpeeksi suuren puskurivaraston ja pienempien varastointikulujen välillä.

Tuotanto on ennen varastointia ja määrittää siten hyvin pitkälti varaston ominaisuuksia. Tuotanto voi olla työntöohjautuvaa (push) tai imuohjautuvaa (pull). Työntöohjautuvassa tuotannossa yksinkertaistetusti tuotteita tehdään varastoon valmiiksi ennen kuin tuotteet on tilattu. Imuohjautuvassa tehdään päinvastoin, tuotteet tehdään aina tilausten mukaan. (Rushton et al 2017 s 259) Betonielementtien, ja siten myös ontelolaattojen erityispiirre on, että ne suunnitellaan yksi kerrallaan. Tämä tekee ontelolaattojen tuotannosta imuvetoisen (pull), jossa tuotteet tehdään aina asiakkaan tilauksesta. Toisin sanoen asiakkaan tekemät tilaukset imevät tuotteet tuotantoketjun läpi. Edellä mainittu JIT on esimerkiksi imuohjautuva tuotantojärjestelmä (Rushton et. 2017). Tämän ansiosta ontelovarastossa on käytännössä aina tilattua tuotetta.

Edellisen kappaleen perusteella voisi äkkiä luulla, että imuohjautuvassa tuotannossa varasto olisi täysin turha, koska tuotteet tehdään suoraan toimitukseen. Kuitenkaan ontelolaatat eivät valmistu heti valmiiksi toimitettavaksi ja niitä ei voida päivässä määränsä enempää valmistaa. Tämä aiheuttaa tuotteen valmistajalle mahdollisesti ongelmia, jos tuotteen tuottamiseen menee kauemmin kuin mitä asiakas on valmis odottamaan tuotetta saapuvaksi. Tästä ongelmasta Rushton et al. ja Christoper (2016) kirjoittavat logistiikan läpimenoajasta, joka käsittelee tätä asiaa. Logistiikan läpimenoaika koostuu asiakkaan tilauksesta, joka jakaantuu tuotantoon ja toimitukseen menevään aikaan. Tätä ennen on logistiikan läpimenon aukko, joka määrittää kuinka suuri varaston täytyy olla, että asiakkaiden odotukset pystytään täyttämään.

Rushton et al. luettelee monia syitä, miksi yrityksillä logistiikan läpimenonaukko on suuri, eli miksi yrityksillä on turhan suuri varasto. Syitä ovat muun muassa raaka-aineiden

saannin häiriöt, epätarkat kysynnän ennusteet, tuotannon ongelmat, tuotteiden laatuongelmat ja ennustamattoman suuri kysyntä. Kaikki nämä liittyvät joko suoraan tai välillisesti siihen kuinka ruuhkautunut tuotanto on. Tuotannon ruuhkautuminen aiheuttaa siis pidemmän logistiikan läpimenoaukon ja täten myös suuret varastointitarpeet. Tämän vuoksi varastoinnin kontekstissa on hyvin tärkeää tutkia mahdolliset pullonkaulat, jotka aiheuttavat ruuhkautumisen tuotantoon.

4. ONTELOLAATTA

Ontelolaatta on käytetyin elementtilaattatyyppi betonirunkoisissa rakennuksissa Suomessa (Elementtisuunnittelu 2022). Ontelolaattoja käytetään rakennusta lattioiden ja kattojen rakentamiseen. Ontelolaatoilla korvataan niin sanottu paikalla valu, jossa märkää betonia tuodaan työmaalle betoniautoilla.

4.1 Historia Suomessa

Tietojen mukaan betonia käytettiin ensimmäisen kerran rakentamiseen Suomessa Saimaan kanavan muurirakenteisiin, joka valmistui vuonna 1856. 1930-luvulla betonista oli tullut Suomen käytetyin rakennusaine. Ensimmäinen kerta kun betonielementtejä käytettiin rakentamiseen, oli tietävästi Valtion Rautateiden keskuskonepaja, joka valmistui Hyvinkäälle 1946. Tähän rakentamiseen käytettiin betonipalkkeja. Tietäväsi ensimmäisen kerran ontelolaattoja käytettiin Suomessa 1950-luvun puolivälissä. Tällöin Rakennuselementti Oy:n valmistamaa ontelolaattaa käytettiin parvekkeen rakenteissa. Mallia ontelolaattojen tekemiseen haettiin esimerkiksi Länsi-Saksasta, jossa ontelolaattoja oli valmistettu jo 1930-luvulla. (Hytönen ja Seppänen 2009)

1960-luvun lopulla Suomessa kehitettiin BES-järjestelmä (Betonielementtistandardi), johon yhtenä osana kuuluu ontelolaatat. BES-järjestelmä standardoi erilaiset betonielementit ja niiden liitokset. Tämän avulla yhteen rakennuskohteeseen voitiin valita elementtejä usealta toimittajalta. Tämä oli yhtenä tekijänä mahdollistamassa vilkasta asuinrakentamista 1970-luvun Suomessa. (Kivifaktaa 2023)

4.2 Ominaisuudet

Ontelolaatoissa on nimensä mukaan ontelot, jotka jatkuvat pituussuunnassa päästä päähän laattaa. Näistä onteloista käytetään myös nimitystä kevennysontelo (Hytönen ja Seppänen 2009 s 105). Onteloiden tarkoitus on siis keventää laatan kokonaismassaa, mikä tekee sen käsittelystä helpompaa. Lisäksi käytettävän raaka-aineen määrä vähenee.

Ontelolaatat ovat painavia elementtejä, joiden massa vaihtelee alle tuhannesta kilosta jopa kymmeneen tuhanteen kiloon. Laattojen pituudet vaihtelevat alle yhden metrin laatoista yli 16 metrisiin laattoihin. Paksuus laatoissa vaihtelee 180 millimetristä 500 millimetriin. Laattojen standardileveys on 1200 millimetriä. Osa laatoista on niin sanotusti

kavennettuja eli kapeampia kuin standardilevyinen laatta. Kuvassa 4 esimerkki ontelolaatasta.

Erilaisten mittojen lisäksi ontelolaattoja on erityyppisiä ja muotoisia. Kylpyhuoneontelolaatat eli niin sanotut kololaatat ovat osittain tampattu matalimmaksi. Näihin matalampiin kohtiin asennetaan talotekniikkaa tai tehdään kylpyhuoneiden tarvittavat kaltevuudet. (Elementtisuunnittelu 2022). Lisäksi osassa ontelolaatoissa on erilaisia leikkauksia ja koloja, jotka tekevät ontelolaatoista hyvin moninaisia. Yhtenä erikoisuutena on lisäksi eristetyt ontelolaatat, joissa on pohjaan liimattu styroksilevy.

Kuva 4. Ontelolaatta (Rakentaja.fi)

Täysilevyisten ontelolaattojen molemmilla sivuilla kulkee nostoura, josta ontelosaksilla pystytään nostamaan ontelolaatta ylös. Jos ontelolaatta on sahaamalla kavennettu niin sahatulla puolella ei ole nostouraa. Tässä tapauksessa laatan kanteen valetaan nostokuula-ankkurit, joista laatta voidaan nostaa DEHA-nostimien avulla.

4.3 Markkinat

Edellisen luvun kirjallisuuskatsauksessa tuli hyvin esille, että tuotanto ohjaa hyvin pitkälti varaston luonnetta. Tuotantoa taasen ohjaa kysyntä, jota ohjaa markkinat. Ontelolaatan tapauksessa markkina on rakennusmarkkinat, johon vaikuttaa moni eri asia. Valtiovarainministeriön rakennusalan suhdanneryhmä ”Raksu” esimerkiksi arvioi vuoden 2022 syksyn julkaisussaan rakentamisen tuotannon vähenevän 3–5 % vuonna 2023 verrattuna vuoteen 2022. Syitä rakentamisen hiipumiselle Raksu luettelee olevan esimerkiksi maailmantalouden kasvunäkymien heikkeneminen, inflaation kiihtyminen ja energian hintojen nousu. Lisäksi Venäjän aloittama hyökkäyssota on laskenut myönnettyjen rakennuslupien määrää kymmeniä prosentteja. (Valtiovarainministeriö 2022)

Ontelolaattojen kysynnän potentiaali riippuu siis rakennusmarkkinan tilanteesta. Toteutunut kysyntä riippuu, miten myynti saa tehtyä kauppaa olemassa olevilla markkinoilla. Tehtaan näkökulmasta ontelolaatan toimitusketjun voidaan katsoa alkavan kaupan teosta, joka tarkoittaa siis sopimusta, jossa rakennuttaja ja betonielementtituottaja sopivat tuotteiden toimittamisesta. Kauppa voi koskea rakennuksen ontelolaattoja tai jopa rakennuksen kaikkia betonielementtejä. Tehdyn kaupan perusteella varataan tuotantokapasiteettia tehtaasta tai tehtaista tehdyn kaupan tarpeisiin. Tässä kohtaa arvio milloin toimitukset alkavat vaihtelee viikon tarkkuudesta vuosikvartaaliin.

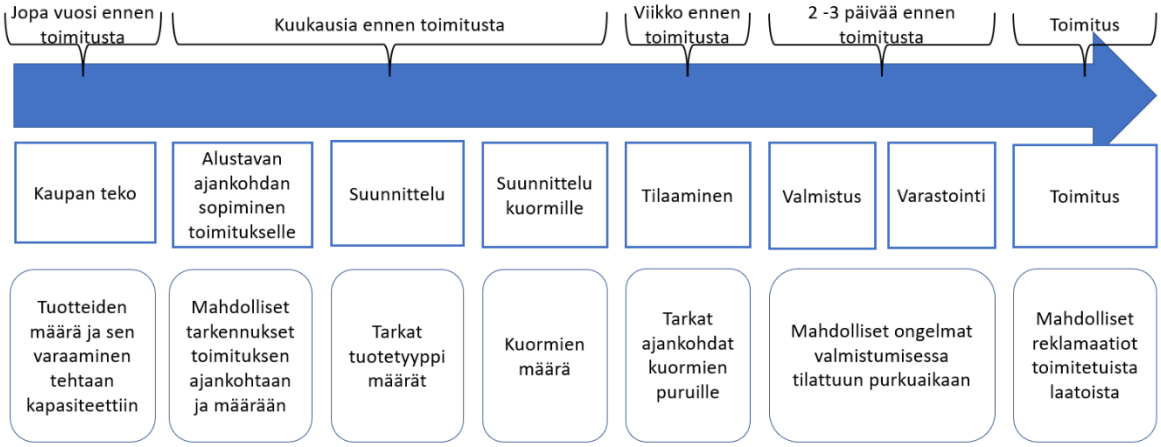
5. ONTELOLAATAN TOIMITUSKETJU

Toimitusketju käsittää tuotteen läpikulun tavarantoimittajasta aina asiakkaaseen asti. Toimitusketjun mukana kulkee aina myös tietoa itse fyysisen tuotteen lisäksi (Rushton et. 2017). Tässä työssä ei käsitellä tapaustehtaan tavarantoimittajan osuutta toimitusketjussa, koska se ei ole oleellinen osa tätä tutkimusta.

5.1 Ontelolaattojen ja ontelolaattakuormien suunnittelu

Kuvassa 5 on esitelty ontelolaatan koko toimitusketju aina kauppojen teosta ontelolaattojen toimitukseen asti. Kuten aiemmassa luvussa markkinat kirjoitettiin, kauppojen teossa varataan tuotantokapasiteettia tehtaasta tuotteiden tekoa varten. Kauppojen teon jälkeen seuraava vaihe on betonielementtien suunnittelu. Ontelolaattojen kohdalla tämä tarkoittaa laatan paksuuden, punosten määrä ja erilaisten leikkausten sekä lisäosien suunnittelua ontelolaattoihin. Tässä kohtaa ontelolaattojen toimitusajankohdan pitäisi tarkentua lohkoriveittäin viikon tarkkuudella. Lohkorivillä tarkoitetaan esimerkiksi kerrostalon kohdalla tietyn rapun tiettyä kerrosta. Tämän vaiheen olisi ideaalitapauksessa tapahduttava vähintään kuukausi ennen ensimmäisen lohkon toimitusta.

Elementtien suunnittelun jälkeen ontelolaatat suunnitellaan kuormiksi nipuittain. Kuormissa on nippuja 2–6 kappaletta. Nipulla tarkoitetaan kuormassa päällekkäin olevia laattoja. Ontelolaatan leveys 1,2 metriä takoittaan, että laattoja voidaan kuljettaa kaksi rinnakkain. Tämä tarkoittaa, että nippuja on aina vähintään kaksi vasen ja oikea. Laattojen ollessa lyhyitä voi nippupareja olla 2 tai 3 peräkkäin.



Kuva 5. Ontelolaatan koko toimitusketju ja toimitusajankohdan tarkentuminen

Kuormasuunnittelussa on tärkeää huomioida monta asiaa. Asiakkaan toive on, että laatat on pinottu asennusjärjestykseen eli päällimmäisenä ensiksi asennettava ja niin edelleen. Tämä ei ole aina kuitenkaan mahdollista. Ontelolaattakuormien on oltava sellaisia, että laatat kestävät kuljetuksessa ehjinä sekä ovat turvallisia ja liikennelain mukaisia. Esimerkiksi kavennetut laatat ovat yleensä kuormien päällä koska kuormasta tulee nopeasti epätasapainoinen, jos leveämmät laatat ovat kavennettujen laattojen päällä. Kuorman tulisi olla myös sopiva niin kokonaismassaltaan kuin kuorma-auton lavan akselille aiheuttaman painon suhteen. Lisäksi kuorman tulisi olla mahdollisimman matala, jotta kuorman massakeskipiste olisi mahdollisimman matalalla.

Kuormiensuunnittelu voi olla joissain tapauksissa todellista palapelin tekemistä, jos ontelolaattoja on montaa eri paksuutta, osassa kylpyhuonetamppaus tai osassa erikoisia leikkauksia. Kuormasuunnitteluvaiheessa merkitään myös oletusnosturiväli, jolle kuorma varastoidaan. Tämä käytäntö on siis tapaustehtaalla käytössä. Tällä pyritään saamaan kuormia tasaisesti eri nosturiväleille. Eli peräkkäiset kuormat merkataan oletuksena aina eri nostureille. Mitään muuta logiikkaa oletusnosturivaraston merkkaamisella ei ole.

5.2 Tuotannonsuunnittelu

Ontelolaattojen kuormien suunnittelun jälkeen tehdas voi alkaa valamaan kyseisiä ontelolaattoja, jollei se ole erikseen kielletty. Valmistelu valua varten alkaa muodostamalla valuohjelma, joka tehdään aina valupedille kerrallaan. Valuohjelman muodostaminen lähtee liikkeelle laatan paksuuden ja jännitettävien teräspunosten määrän valinnasta. Nämä valinnat määräävät sen, mitä suunniteltuja laattoja valuohjelmaan voidaan valita.

Valuohjelmille pyritään valitsemaan mahdollisuuksien mukaan kokonaisia nippuja tai jopa kuormia. Näin tekemällä seuraavien vaiheiden toiminta helpottuu, kun ontelokuormat kulkevat kokonaisuutena jo valmistuksesta lähtien. Tämä ei aina kuitenkaan onnistu, koska kuormassa ei aina ole saman paksuisia tai punoksisia laattoja, jolloin niiden valaminen ei onnistu samalla valuohjelmalla. Lisäksi harvoin kuormiin vaadittavat laattojen pituudet menevät tasoihin valupetien mitan kanssa. Valupedit kannattaa valaa aina täydelle mitalle, koska valun aloittamiseen menee aina oma asetusaikansa. Tämän vuoksi osa kuormista valetaan eri valuohjelmilla eli laatat valmistuvat eri aikaan valmiiksi varastoon.

Ontelolaattoja valuohjelmille valitaan tilauskannasta sekä jo varmistuneiden tilausten että valmiiksi suunniteltujen laattojen, joilla ei vielä tarkkaa toimituspäivää joukosta. Tilaukset ontelolaatoille tehdään viimeistään viikkoa ennen haluttua toimituspäivää, joten normaalina viiden arkipäivän viikkona on tehtaalla pienimmillään viisi työpäivää aikaa

saada laatat valmiiksi toimitukseen. Välillä näistä jo varmistuneista tilauksista ei löydy tarpeeksi sopivia laattoja jokaisella valupedille, niin silloin laattoja täytyy valita valmiiksi suunnitelluista laatoista, joilla ei ole vielä tarkkaa toimituspäivää.

5.3 Valmistaminen

Valmistaminen alkaa valupedin raudoituksella. Rautojen eli punosvaijerien määrä on määritetty valuohjelmassa. Yksinkertaistetusti suurempi punosvaijerien määrä tekee ontelolaatan kantavuudesta suuremman. Tämä tarkoittaa, että pienemmällä punosmäärällä suunniteltuja laattoja voidaan valita valuohjelmaan, jossa on enemmän vedettyjä punoksia. Se on kuitenkin kustannustehotonta, koska teräspunokset maksavat ja niiden ylimääräinen käyttäminen on turhaa kustannusta.

Punosvaijerien jännityksen jälkeen alkaa varsinainen ontelolaattojen valaminen. Ontelolaattoja valetaan valukoneella, joka esitelty kuvassa 6. Kullekin valupedille valitaan valukone sen mukaan, kuinka paksuja laattoja valupedille on suunniteltu valettavan. Toisin sanoen yhdelle valupedille valetaan yhtä laattapaksuutta kerrallaan. Valukoneeseen syötetään betoniasemalta betonimassaa, jonka valukone muotoilee ontelolaatan muotoon. Syötettävä betonimassa on niin jäykkää, että valukone pystyy tiivistämään sen muotoonsa ilman erillisiä muotteja, joita käytetään esimerkiksi betonielementtiseinien valmistukseen (Elementtisuunnittelu 2023).

Kuva 6. Valukone valamassa valupedille ontelolaattoja (Elematic 2023)

Kun valukone on valanut valupedin päätyyn asti, saadaan pitkä yhtenäinen betonipeti. Tähän betonipetiin piirretään valuohjelman mukaiset laatat. Eli mistä kohtaa petiä alkaa ja loppuu mikäkin laatta. Lisäksi samalla piirretään mahdolliset kolot, syvennykset ja ka-

vennukset. Näiden piirustuksien mukaan yhtenäinen betonipeti sahataan laatoiksi ja tehdään tarvittavat kolot ja syvennykset. Ennen sahauksen aloittamista täytyy odottaa valupedin kypsymistä, eli että valettu peti kovettuu tarpeeksi. Kypsymisaika riippuu käytetyt betonin reseptistä ja laatan paksuudesta. Valetun pedin kypsyminen vie yleensä noin 8–12 tuntia.

Kun laatat on saatu sahattua ja kaivettua muotoonsa, on seuraavaksi aika nostaa lähes valmiit laatat ulosvetoradalla oleville vaunuille. Nostaminen tapahtuu siltanosturilla, joka kulkee tehdashallin katonrajassa. Nosturissa on kiinni nostopuomi, joka on onteloaattojen suuntainen. Nostopuomin molemmissa päissä on ontelosakset, joilla nostetaan ontelolaatat hyödyntämällä niiden reunassa kulkevaa nostouraa.

Ulosvetorata on tehdashallin läpi nosturivarastoon kulkeva ratakisko, jota pitkin valmiit ontelolaatat kuljetetaan varastoitavaksi nosturivarastoon. Ratakiskolla kulkee vaunuja, joiden päälle ontelolaatat nostetaan. Ontelolaatat vaativat aina kaksi vaunua, yhden kumpaankin päähän. Vaunun ja ontelolaatan väliin asetetaan paksu välipuu, joka tuo kitkaisemman ja pehmeämmän alusta ontelolaatan alle. Kun ontelolaatta on saatu nostettua vaunulle, siihen asetetaan onteloiden päähän päätytulpat ja tunnistetarra yhteen tulppaan. Päätytulpilla rajoitetaan, ettei myöhemmin työmaalla ontelolaattojen saumavalussa valu betonia turhaan onteloiden sisään.

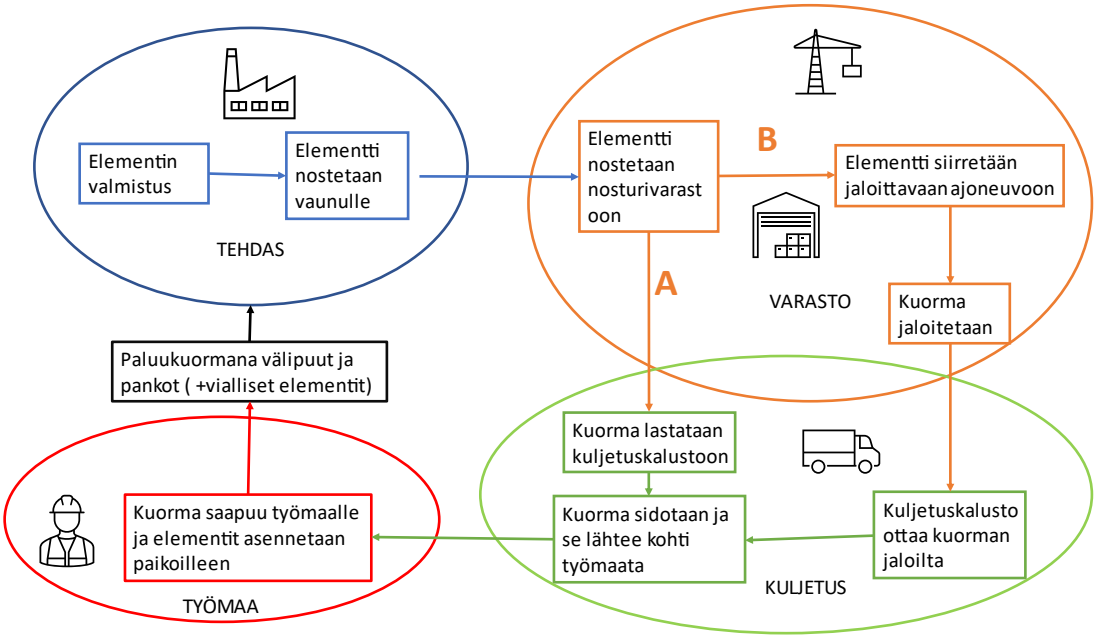
Vaunuille voidaan kasata useita laattoja päällekkäin asettamalla välipuut laattojen väliin kumpaankin päähän. Näin saadaan vähemmille vaunuille ja siten lyhyemmälle vaunuletkalle enemmän ontelolaattoja.

5.4 Varastointi

Ontelolaattojen vaunuille nostamisen jälkeen, varastotyöntekijät vetävät ulosvetorataa pitkin vaunut ulos nosturivarastoon, jossa on kuusi nosturirataa ja jokaisessa yksi siltanosturi. Nosturiradat ovat kohtisuoraan ulosvetoratoja kohti, joten laatat tulevat ulos halleista kohtisuorasti nostureihin nähden, ja laatat menevät vaunuilla peräjälkeen nosturiratojen ohi.

Vaunujen ulosvetämisen jälkeen ulosvetoradan alussa laattojen kyljistä varastomies lukee lukijalaitteella laatan tunnuslapun viivakoodin, josta saa tiedon, onko kyseisen laatan kuormaa tullut aiemmin varastoon, ja jos on, niin minkä nosturin alle ja tarkemmin, mille varastopaikalle. Jos on tullut aiemmin laattoja samasta kuormasta, merkitään varastossa olevien laattojen varastopaikka vaunulla olevan laatan kylkeen. Näin pystytään helposti vaunuja eteenpäin vedettäessä nosturiratojen ohi näkemään, millä nosturilla mikäkin

laatta täytyy nostaa nosturivarastoon ja millekin varastopaikalle. Laatan ollessa ensimmäinen laatta kyseistä kuormasta merkitään laatan kylkeen oletusnosturiväli, joka on aiemmin määritetty kuorman suunnitteluvaiheessa.



Kuva 7. Ontelolaatan toimitusketju valmistuksesta alkaen

Laatta pyritään aina nostamaan nosturivälille, johon se on merkitty laattojen lukemisen yhteydessä. Aina tämä ei kuitenkaan onnistu. Yleisin syy on tekniset ongelmat. Nosturi, jolla laatta pitäisi nostaa, voi olla huollossa tai rikki. Tämän korjaantumista ei voida jäädä kauaksi aikaa odottamaan, sillä tuotanto pysähtyy, jos ulosvetorata seisoo liian kauan. Toinen mahdollinen tekninen ongelma on lukijalaitteiden käyttökatkot, jolloin ei pystytä toteamaan, missä kuorman muut laatat ovat varastossa. Lisäksi kuormien ensimmäisten laattojen tapauksessa ei aina saada laattaa varastoitua merkitylle oletusnosturivälille, jos kyseinen nosturiväli on liian täynnä. Tämä voi tulla eteen varsinkin pitkien laattojen kohdalla, jotka vaativat pitkän tyhjän varastopaikan.

Ennen laattojen siirtämistä nosturivarastosta kuljettavaan ajoneuvoon, voidaan laatat välivarastoida valmiiksi kuormaksi jalkojen päälle. Tällöin kuljettava ajoneuvo pystyy ajamaan jalkojen varassa olevan kuorman alle, ja ottamaan koko kuorman kerralla kyytiin. Tästä välivarastoinnista kirjoitetaan tarkemmin luvussa 6.2.

5.5 Kuljetus

Ontelolaattojen kuljettamiseen käytetään yleisesti avolavaista puoliperävaunuyhdistelmää. Puoliperävaunulla tarkoitetaan perävaunua, joka kytketään vetoautoon tai apuvaunuun ja muodostaa kuormitusta kohtisuorasti vetoautoon tai apuvaunuun (Liikenne- ja

viestintäministeriön asetus 19.12.2002/1248). Toisin sanoen puoliperävaunuyhdistelmä on ajoneuvoyhdistelmää, jossa vetäjänä on vetopöydällä varustettu kuorma-auto, ja sen perään vetopöydän päälle kytketään puoliperävaunu. Nimitys puoliperävaunu tulee siitä, että perävaunussa on vain takana akselit eli puolet siitä mitä täysperävaunussa, jossa on akselit niin edessä kuin takana. (Logistiikan maailma 2023). Avolavalla tarkoitetaan puoliperävaunua, jossa ei ole laitoja tai kapellia perävaunun päällä.

Puoliperävaunun suurin sallittu massa vaihtelee akselien määrän mukaan. Esimerkiksi neliakselisen puoliperävaunuyhdistelmän suurin sallittu massa on 36 tonnia ja kuusiakselisen 53 tonnia (Tieliikennelaki, 122 §, liite 6.6.). Suurin sallittu kokonaispituus kuormaautolle ja puoliperävaunulle on 23 metriä (Tieliikennelaki, 122 §, liite 7.1). Kuten aiemmin kuormasuunnittelun yhteydessä todettiin, tapaustehtaan ontelokuormia ajavien puoliperävaunujen lavojen pituus on yleisesti 13,5 metriä, jonka pohjalta ontelokuormat suunnitellaan.

Kuva 8. Vasemmalla jatkettava puoliperävaunu ja oikealla kahden puoliperävaunuyhdistelmä eli B-linkki. Molemmat perävaunut ovat avomallisia. (Vasen kuva SDC trailers 2023 ja oikea kuva Reitnouer 2023)

Erikoistapauksia kuljetuskalustossa ontelokuormien kuljetuksissa ovat jatkettavat puoliperävaunut sekä puoliperävaunu ja puoliperävaunuyhdistelmä. Jatkettavassa puoliperävaunussa pystytään vaunun lavaa jatkamaan pidemmäksi akselien edestä, joka on esitelty kuvassa 8. Tämä mahdollistaa pidempien kuin 13,5 metristen ontelolaattojen kuljettamisen. Kahden puoliperävaunun toiselta nimeltään B-linkki tai -juna on yhdistelmä, jossa on kaksi puoliperävaunua peräkkäin. Tässä tapauksessa etummaisessa puoliperävaunussa pitää olla asennettuna perään vetopöytä, johon takimmainen puoliperävaunu yhdistetään (Logistiikan maailma 2022). B-linkin hyöty on siinä, että sillä saadaan vietyä kaksi kuormaa kerralla yhdellä vetoautolla. Kuvassa 8 on esimerkkikuva B-linkistä.

Kuljettajan ja kuljetuskaluston näkökulmasta toimitusketju alkaa, siitä että määritetään kuljettajalle ja ajoneuvoyhdistelmälle ontelokuormat, jotka se toimittaa. Tämän jälkeen kuorma lastataan joko nosturilla ja tai otetaan kokonaisena kyytiin jaloilta. Tämä lastausvaihe käydään tarkemmin läpi seuraavassa luvussa 6. Kun kuorma on saatu kyytiin kokonaisuudessa, kuorma on sidottava liikenne- ja viestintäministeriön asettamien säädös-

ten mukaisesti. Säädetyssä ajoneuvojen rakenteesta ja varusteista asetuksessa mainitaan, että kuorma on varmistettava niin, jotta se ”pysyy paikallaan 8 m/s2 hidastuvuudessa eteenpäin ja 5 m/s2 hidastuvuudessa taakse ja sivuille päin” (Traficom 2021). Eli kuorma tulee sitoa niin edestä, sivuilta kuin takaa. Ontelokuormissa käytetään yleisesti sitomiseen sidontaketjuja. Esimerkki oikeanlaisesta sidonnasta kuvassa 9.

Kuva 9. Oikeanlaisesti sidottu ontelolaattakuorma (Turvapuisto 2023)

Kuorman sitomisen jälkeen kuljettaja lähtee ajamaan kohti määränpäätä eli työmaata. Kuljettava reitti on pääsääntöisesti lyhin mahdollinen. Kiertäviä reittejä aiheuttavat yleensä painorajoitteiset sillat ja liian ahtaat risteykset sekä liikenneympyrät.

5.6 Toiminta asiakkaalla ja paluukuorma

Työmaalle saavuttuaan työmaan henkilöstö ohjaa saapuvan ajoneuvon joko jonottamaan omaa vuoroaan turvalliselle odotuspaikalle tai suoraan työmaan järjestämälle purkupaikalle. Ideaalitilanteessa ajoneuvo saapuu työmaalle siinä kohtaa, kun edellinen ontelokuorman ajoneuvo on poistunut purkupaikalta.

Kun ajoneuvo pääse omalla vuorollaan purkupaikalle, ensimmäiseksi kuljettajan johdolla puretaan sidonta kuormasta. Tämän jälkeen voidaan aloittaa kuorman purkaminen ajoneuvon lavalta. Purkaminen tapahtuu työmaanosturilla, johon on kiinnitetty ontelolaatan valmistajan tuomat ontelosakset, jotka toimitetaan työmaan ensimmäisen ontelokuorman yhteydessä. Samalla toimitetaan ontelopuomi, jota käytetään pidempien ontelolaattojen asentamisessa. Ontelosaksilla tartutaan ontelolaatan molemmista päistä ontelolaatan nostourista kiinni. Ontelosaksista lähtee turvaketju, joka saadaan nostotilanteessa kytkettyä laatan alapuolelle turvaaman nostotapahtumaa, jos esimerkiksi saksien ote ontelolaatasta pettää. Turvaketju tulisi kytkeä mahdollisimman nopeasti kiinni, kun laatta nousee ilmaan kuormasta.

Ajoneuvon kyydistä ontelolaatat nostetaan yleensä suoraan asennukseen. Joskus väliaikaisesti osa kuormasta voidaan säilöä maahan. Tämä tekee ontelolaattojen kuljetuksesta todella tärkeän linkin toimitusketjussa. Rushton et al. kirjoittavat tuotteiden toimittamisen näkyvyydestä asiakkaalle (2017 s 202). Ontelolaattojen tapauksessa tämä on erittäin korkea. Syy on se, että ontelolaattakuormaa varten työmaa on varannut työmaanosturin ja asennusryhmän ontelokuormaa varten. Tämän vuoksi toimittajalle on todella tärkeää, että kuormat ovat tilatussa ajassa työmaalla, jotta vältytään reklamaatioilta kuorman odottamisesta työmaalla.

Kuva 10. Ontelolaattoja asennettuna työmaalla (Rakentaja.fi 2023)

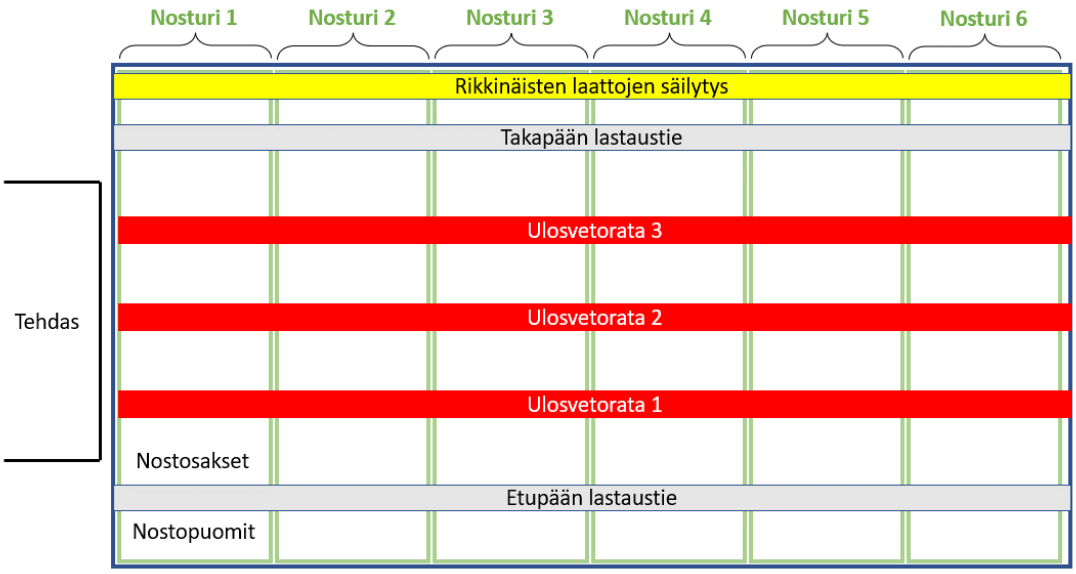
Kuorman kaikkien ontelolaattojen asentamisen jälkeen kuorman tuoneen ajoneuvon kyytiin palautetaan kuormassa olleet välipuut. Lisäksi kyytiin laitetaan mahdolliset vialliset ontelolaatat, jotka ajoneuvo palauttaa tehtaalle. Lopuksi työmaalla kuormakirjaan merkitään mahdolliset huomiot kuormasta ja sen purusta. Ontelolaatan purkuun on yleensä varattu tunti aikaa, ja sen ylittyessä olisi syy ylitykseen hyvä kirjata rahtikirjaan kustannusten jakautumista varaten.

6. ONTELOLAATTOJEN VARASTOINTI- JA LASTAUSTAVAT

Tutkimuksen tapaustehtaalla on tällä hetkellä käytössä kaksi eri varastointitapaa: nosturivarasto ja valmiskuormavarasto, jossa kuormat valmiiksi kuormattuna jaloille. Näiden kahden lisäksi tutkitaan vaihtoehtoista varastointitapaa eli lukkivarastointia, jota on myös käytetty ontelolaattojen varastointiin muilla tehtailla.

6.1 Nosturivarasto

Tapaustehtaan kaikki valmistetut ontelolaatat kulkevat nosturivaraston kautta. Kuten luvussa 5.4 kerrottiin, tehtaassa valmistetut ontelolaatat nostetaan ulosvetoradoille, joita pitkin ontelolaatat kulkevat nosturivarastoon, jonka hahmotelma esitelty kuvassa 11.



Kuva 11. Hahmotelmakuva nosturivarastosta (ei mittakaavassa)

Kuten kuvasta 11 nähdään, nosturivarasto koostuu kuudesta nosturista, jotka kaikki ovat siltanostureita. Siltanosturit ovat nostureita, jotka kulkevat nosturiradalla, joka koostuu kahdesta kiskosta, joiden välille nosturi nimensä mukaan muodostaa sillan. Kuvassa 12 on esitelty esimerkki siltanosturista. Tapaustehtaan kaikki kuusi siltanosturia ovat kauko-ohjaimella toimivia. Lisäksi nostureissa 1, 5 ja 6 on vielä olemassa ohjaamokoppi ylhäällä nosturissa, josta voidaan niin sanotusti ylhäältä ajaa nosturia. Näitä ohjaamokoppeja käytetään nykyisin vain silloin, jos nosturin ohjaimessa tai sen vastaanottimessa on vikaa. Nostureiden ohjaaminen kauko-ohjauksella on valittu tavaksi siitä syystä, että ohjaamokopista nosturin ajaminen vaati aina myös alamiehen, joka asettelee välipuita, kun ontelolaattoja asetetaan varastoon.

Suurimpana eroavaisuutena tapaustehtaan eri nostureiden välillä on niiden jännepituudet ja nostokapasiteetit. Jännepituus tarkoittaa, kuinka kaukana nosturiradan kiskot ovat toisistaan. Mitä pidempi tämä väli sitä pidempi on nosturi. Pidempi nosturin jänneväli tarkoittaa myös, että sitä suurempi on pinta-ala, johon nosturi voi varastoida ontelolaattoja. Nostureiden nostokapasiteetti kertoo, kuinka paljon painoa nosturilla voi kerrallaan nostaa.

Kuva 12. Siltanosturi nosturivarastossa

Jokaisessa nosturissa on kaksi ohjattavaa ontelosaksea ja niiden yhteydessä myös nostoliinat. Ohjattavat ontelosakset toimivat tavallisten ontelosaksien tapaan, eli niillä nostetaan ontelolaattoja yksi kerrallaan ontelolaatan nostouraa hyödyntäen. Nostoliinoilla voidaan nostaa ontelolaattoja, joissa ei ole nostouraa, esimerkiksi kavennetut laatat. Tämän lisäksi kaikissa nostureissa paitsi nosturissa numero yksi, on nippunostoraudat, jotka esitelty kuvassa 13. Nämä nippunostoraudat ovat nosturin ontelosaksista laskettavat raudat, joilla voidaan nostaa useampi ontelolaatta kerrallaan. Nippunostorautojen alarauta laitetaan nostettavan nipun alimman ontelolaatan, alle ja näin saadaan liikuteltua kokonaista nippua yhdellä nostolla. Rajoittavana tekijänä on nosturin nostokapasiteetti. Tästä syystä nosturi ykkösessä ei ole nippunostorautoja, koska sen kapasiteetti on niin pieni ja painavat nippunostoraudat pienentäisivät sitä edelleen pienemmäksi.

Nosturivarastossa ontelolaatat varastoidaan niin sanottujen aluslaattojen päälle. Nämä aluslaatat ovat esimerkiksi tuotantovirheen takia ylimääräiseksi jääneitä paksuja laattoja, yleensä 40–50 senttimetriä korkeita. Aluslaattojen suurin hyöty on talvella, jolloin toimitettavat ontelolaatat eivät jää lumen alle, vaan nämä aluslaatat. Lisäksi talven jälkeen

maan sulaessa ovat aluslaatat niitä, jotka elävät, kun maa pehmenee varastossa. Tämä antaa osaltaan suojaa varsinaisille ontelolaatoille.

Kuva 13. Nippunostoraudoilla voidaan nostaa useampi ontelolaatta kerralla

Ontelolaattojen varastointipaikkojen lisäksi nosturivarasto sisältää kolme ulosvetorataa, kaksi lastaustietä, rikkinäisten laattojen varaston ja nostovälineiden varaston. Ulosvetoradat ovat siis tehtaan hallista tulevat radat, joita pitkin ontelolaatat kuljetetaan nostureiden alle. Lastausteitä pitkin onteloita työmaalle kuljettavat ajoneuvot tulevat nostureiden alle lastattavaksi. Näitä lastausteitä pitkin ajoneuvot pystyvät ajamaan nosturivaraston läpi kuvasta 11 katsottuna oikeasta reunasta vasempaan reunaan. Lastausteillä on jokaisen nosturin kohdalla oma lastauslaituri, jolta pystytään helposti kapuamaan kuorma-auton lavan päälle asettelemaan välipuut kohdalleen ontelolaattojen alle. Lastaustiet ovat niin leveät, että siinä mahtuu toinen kuorma-auto ohittamaan toisen kuorma-auton. Rikkinäisiä laattoja, jotka ovat tehtaalla tai työmaalla huomattu virheellisiksi säilötään kuvasta 11 katsottuna nosturivaraston ylälaidassa. Sieltä ne kuljetetaan pyöräkoneen avulla tehtaan pihalla olevaan murskauspisteeseen murskattavaksi. Tämän jälkeen murskattua ontelolaattaa voidaan hyödyntää uusien ontelolaattojen valmistuksessa. Nosturi ykkösen etupään lastaustien reunoilla säilytetään nostokalustoa, joka lähetetään työmaille ensimmäisen ontelokuorman yhteydessä ontelolaattojen asentamista varten.

Varastoon mahtuvien laattojen neliömäärää on vaikea laskea. Siihen liittyy monta muuttujaa. Ensimmäinen on laattojen erilaisuus. On hyvin vaikea saada täyttä määrää laattoja pituussuunnassa nosturin alle, koska laattojen pituudet vaihtelevat niin paljon. Lisäksi laatoissa on koloja ja kaikki ontelolaatat eivät ole standardilevyisiä eli 1,2 metriä leveitä. Lisäksi kaikkien laattojen päälle ei voida maksimimäärää laattoja pinota päällekkäin.

Merkittävä osuus on myös sillä, että kuormat harvoin vievät tasaluvun verran paikkoja, jolloin on järkevää jättää paikkoja korkeussuunnassa vajaaksi. Tämä siitä syystä, että jos samalle varastopaikalle varastoidaan eri kuormia, niin alempana olevan kuorman lastaus hidastuu merkittävästi, jos se lähtee ennen sen päälle varastoitua kuormaa.

Nosturivarastossa ontelolaatat pyritään varastoimaan valmiina nippuina, jotta valmiit niput voitaisiin lastata suoraan autojen kyytiin. Tämä ei ole aina mahdollista, koska ontelolaattaniput eivät aina valmistu samalla valuohjelmalla. Tämä aiheuttaa ylimääräistä työtä varastossa niin varastointi- kuin lastausprosessissa. Yksittäisten laattojen nostelu ulosvetoradan vaunuilta on tehottomampaa kuin valmiiden kuormanippujen. Se on aina tapauskohtaista, onko varastoinnissa kannattavaa järjestellä ontelolaatat kuormanipuiksi, jos kuorman ontelolaatat ovat tulleet väärässä järjestyksessä tuotannosta varastoon. Toisena vaihtoehtona on järjestää kuorma oikeaan järjestykseen lastauksen yhteydessä. Tässä huonona puolena on se, että lastaus kestää kauemmin ja epäjärjestyksessä varastoitu kuorma yleensä vie enemmän tilaa varastossa.

Nosturivaraston kriittinen tekijä on nostureiden rajallinen määrä ja niiden kuormitus. Jokaisella nosturivälillä on yksi nosturi, mikä merkitsee sitä, että samalla nosturivälillä ei voi samaan aikaan lastata kuormaa ja varastoida laattoja vaunulta. Toisinaan on myös tilanteita, että samalta nosturilta pitäisi lastata useampi kuorma. Tätä pyritään välttämään jaloitettavien valmiskuormien avulla, josta enemmän seuraavassa luvussa. Yhdellä nosturilla voi siis olla useampi käyttötarve samaan aikaa, mikä aiheuttaa valintatilanteita, odottelua ja lopulta pullonkaulan ontelolaattojen toimitusketjussa.

Satunnainen ongelmatilanne nosturivarastolle on runsaat lumisateet, joka hidastaa nosturivaraston toimintaa merkittävästi. Ontelolaattoja varastoidessa täytyy pohjalaattojen päältä siirtää lumet pois, jotta ontelot saadaan turvallisesti varastoitua. Lisähaasteena on nosturivaraston suuri koko verrattuna siihen, että reitit lumien poistamiseen ovat varsin kapeita. Tämä tekee lumitöistä hitaampaa ja enemmän henkilöresurssia vievää, kun suurien koneiden käyttäminen ei ole mahdollista. Lastauksessa lumi hidastaa samalla tapaa, eli lähtevien ontelolaattojen päältä on luotava lumet pois ennen kuin ontelokuorma voi lähteä tieliikenteeseen. Tämän lisäksi lumi hidastaa kulkemista varastossa, mikä hidastaa kaikkea toimintaa varastoon liittyen. Runsaisiin lumisateisiin voidaan osittain varautua ylimääräisellä lumityöresurssilla, jos nähdään ennusteissa runsasta lumisadetta tulevan tehtaan alueelle.

Toinen satunainen ongelmatilanne on nostureiden yllättävät rikkoutumiset, jotka estävät lastaukset sillä nosturilla. Rikkinäisen nosturin alla olevat lähtevät kuormat joudutaan

siirtämään toimitusaikaa myöhemmäksi siihen, kun nosturi on saatu korjattua. Tämä aiheuttaa tehtaalle merkittäviä kuluja reklamaatioiden muodossa. Lisäksi nosturin rikkoutuminen sekoittaa kuormia usealle nosturille. Eli rikkoutuneelle nosturille varastoiduille vajaana oleville kuormille ei saada varastoitua kuorman onteloita rikkoutumisen aikana. Tämä aiheuttaa kuormaa jakautumisen usealle nosturille, mikä hidastaa lastausta ja heikentää varastoinnin tehokkuutta. Toisin kuin runsaissa lumisateissa, nosturin rikkoutumiseen ei voida ennalta varautua. Toisaalta niiden todennäköisyyttä voidaan vähentää hyvällä ennakkohuollolla.

6.2 Valmiskuormat jaloilla

Valmiskuormien kautta ontelolaatan toimitusprosessi on lastaukseen asti täysin sama kuin pelkän nosturivaraston kulkevien ontelokuormien. Ontelokuorman jaloitukseen tarvitaan jaloittava ajoneuvo, joka voi olla tehtaan vetomestari eli terminaalitraktori tai kuorma-auto, jolla ontelokuormia toimitetaan myös työmaille. Vetomestarin rajoitteena on sen tieliikennekelpoisuuden puute, eli sillä voidaan jaloittaa vain tehtaan omalle tontille. Rajoitteena jaloitettavalle ajoneuvolle on vaatimus perävaunun ilmapusseista, jotka ovat välttämättömät. Ilmapussien avulla perävaunun lavaa saadaan laskettua ja nostettua, mikä mahdollistaa jaloittamisen.

Jaloitusprosessi alkaa pankkojen hakemisella ajoneuvon lavalle. Pankko on metallista valmistettu palkki, josta kulkee läpi kolo. Pankkoja tarvitaan aina kaksi yhtä nippua kohden eli yksi nipun molempiin päihin. Tapaustehtaalla pankot sijaitsevat ulkonosturi 6 vieressä eli kuvan 11 oikeassa alakulmassa. Siellä pankot ovat pinottuna erillisen pankkonostimen viereen, jolla pankot saadaan nostettua perävaunun lavalle. Pankot olisivat hyvä tässä vaiheessa asetella oikeille paikoilleen lavalle eli nippujen päiden kohdalle, koska pankot painavat 40 kilogrammaa, joten niitä on huomattavasti helpompi siirtää nostimen avulla kuin käsin.

Pankkojen hakemisen jälkeen ajoneuvo ajaa nosturille, jossa jaloitettava kuorma sijaitsee, eli aivan samanlaisesti kuin lastattaisiin suoraan työmaalle menevää kuormaa. Tämän jälkeen jaloitettava kuorma lastataan pankkojen päälle. Tämän jälkeen kuorma sidotaan kiinni asianmukaisesti.

Kun kuorma on lastattuna pankkojen päälle ajoneuvo liikuttaa kuorman jaloituspaikalle, jossa on kuormajalat valmiina. Kuormajalka on metallista valmistettu jalka, jossa sen yläpäässä on uloke, joka menee pankossa olevaan koloon. Kaksi kuormajalkaa ja yksi pankko muodostaa siten yhden pukin. Kaksi pukkia pystyy kannattelemaan yhtä ontelonippua. Kuljettaja ajaa kuorman jaloituspaikalle ja asettaa tarvittavat kuormajalat pankkojen päihin. Tämän jälkeen kuljettaja tyhjentää perävaunun ilmapussit ja lava laskeutuu alaspäin. Tällöin kuorma jää pankkojen ja kuormajalkojen varaan, jolloin ajoneuvon voi ajaa pois kuorman alta. Jaloitetusta ontelolaattakuormasta esimerkki kuvassa 14.

Kuva 14. Esimerkki jaloitetusta kuormasta

Kuorman ottaminen jaloilta on varsin yksinkertaista. Kuorman hakeva ajoneuvo peruuttaa kuorman alle lava alhaalla. Kun lava on sopivassa kohdassa kuormaan nähden, kuljettaja nostaa perävaunun lavan ylös, jolloin lava kannattelee kuormaa. Seuraavaksi kuljettaja ottaa kuormajalat irti pankoista. Tämän jälkeen kuljettaja sitoo kuorman ja voi lähteä kuorman kanssa määränpäätä kohti.

Kuormien jaloitusten tärkein tarkoitus tapaustehtaalla on tasoittaa nostureiden lastausmääriä. Päivän mukaan yhdellä nosturilla voi olla lastauksia vain muutama tai jopa yli kymmenen. Toinen tarkoitus jaloituksella on antaa huoltoikkuna suunnitelluille nosturihuolloille. Eli huoltotoimenpiteen aikana huolettavalta nosturilta lähtevät kuormat jaloitetaan ennakkoon, jotta huoltamisen takia ei kuormia jouduta siirtämään myöhemmäksi.

6.3 Lukkivarastointi

Kolmantena varastointitapana tässä tutkimuksessa tutkitaan lukkivarastointia. Tätä varastointitapaa ei ole käytössä tapaustehtaalla, mutta saman konsernin tehtaassa se on

käytössä. Edellä mainitun saman konsernin tehtaan kokemuksien kautta arvioidaan, miten lukkivarastointi soveltuu tapaustehtaalla. Tietoa lukin käyttämisestä ontelolaattojen varastoinnista saatiin kyseisen tehtaan logistiikkavastaavan pitämästä esitelmästä.

Lukkivarastoinnissa käytetään nimensä mukaisesti lukkia, josta yksi versio on esitelty kuvassa 15. Lukki on nosturi, joka liikkuu pyörien varassa. Lukki pystyy nostamaan kokonaisen kuorman nostolaitteella, jolla tartutaan pankkoihin, joiden päälle ontelokuorma on varastoitu. Lukkivarastoinnissa ontelolaattakuormat varastoidaan siis valmiina kuormina pankkojen päälle, kuten edellä esitetyssä jalkakuormavarastoinnissa. Tässä tavassa kuormat varastoidaan pankot maata vasten, kuormat aseteltuna jonoon peräkkäin.

Kuva 15. Lukkinosturi siirtämässä ontelolaattakuormaa ajoneuvon lavalle (Combilift 2023)

Haastateltavan tehtaan varastointi perustuu täysin lukkivarastointiin, mikä tarkoittaa, että kuormat valmistetaan kerralla valmiiksi. Tämä tarkoittaa, että kuormat tulevat valmiina kuormina pankkojen päällä ulos tuotannosta. Tapaustehtaalla tämä aiheuttaa suuria haasteita. Aiemmin tuotantoa käsittelevässä luvussa kerrottiin, ettei kuormia pystytä valmistamaan kerralla valmiiksi. Syynä on kustannussyyt ja tilan puute, sillä vajaaksi jääville kuormille ei ole tilaa, jossa niitä säilyttää. Tämä aiheuttaa sen, että osa lukkivarastoitavat kuormat pitäisi koota nosturivarastossa pankoille, josta lukki hakee ne lukkivarastoon. Tämä aiheuttaa ylimääräisä työvaiheita ja heikentää siten lukkivarastoinnin tehokkuutta.

Kuormat lastataan lukkivarastosta lukin avulla. Lukki pystytään ajamaan jonossa olevien kuormien yli lastattavan kuorman kohdalle, josta se nostaa kuorman ylös ja lähtee kul-

jettamaan kuormaa lastausalueelle. Tämän jälkeen lukki ajetaan kuorman kanssa kuljettavan ajoneuvon lavan päälle, johon lukki laskee kuorman. Tämän jälkeen lukki ajaa pois lavan päältä, jolloin kuljettaja voi sitoa kuorman ja lähteä työmaata kohti.

7. VARASTOINTITAPOJEN VERTAILUJEN NÄKÖKULMAT

Varastointitapojen vertailu jaetaan tässä tutkimuksessa kolmeen osaan. Ensimmäinen osa koostuu varaston operatiivista toimivuuden mittareista eli varastointi- ja lastaustoiminnan toimivuudesta. Toinen näkökulma mittaa eri varastointitapojen kustannustehokkuutta. Kolmantena näkökulmana on turvallisuus, jota analysoidaan yleisen turvallisuustutkimuksen pohjalta.

7.1 Käytetyt tietolähteet mittareihin

Mittarilla mittaamiseen tarvitaan tietoa, jota mitataan. Tämän vuoksi on tärkeä arvioida mittareihin käytettyjä tietolähteitä. Ensimmäinen kriteeri on lähteen luotettavuus, joka määrittää onko tieto käytettävää tutkimusta varten. Tähän tutkimukseen mittareiden tietolähteenä käytettiin pääasiassa tapaustehtaan yrityksen toiminnanohjausjärjestelmän dataa. Tämän voidaan katsoa olevan hyvin luotettava tietolähde tämän tutkimuksen kannalta.

Toisena arviointikohteena miettiessä mittareiden tietolähteitä on tiedon laatu. Tiedon laadusta löytyy useita tieteellisiä artikkeleita, jossa jaotellaan tiedon laatukriteerit eri kategorioihin eri tavoin. Lee et al. jakavat tiedon laadun neljään pääkategoriaan, jotka ovat sisäinen, kontekstuaalinen, esittävyys ja saatavuus (2002). Näiden alle Lee et al. ovat keränneet muiden tutkimusten löytämiä laatukategorioita, kuten sisäiseen tarkkuus, kontekstuaaliseen ajantasaisuus ja esitettävyyteen ymmärrettävyys. Uudemmassa tutkimuksessa Cai ja Zhu (2015) jakavat tiedon laadun kategoriat hieman eri lailla: saatavuus, käytettävyys, luotettavuus, merkittävyys ja esitettävyys. Tässä artikkelissa esimerkiksi saatavuuden alla on ajantasaisuus. Toisin sanoen tiedon laadulle löytyy paljon erilaisia kategorioita, jotka myös luokiteltu hieman eri tavoin.

Toiminnanohjausjärjestelmästä käytettiin kaksi eri datakokoelmaa mittareiden luontiin. Ensimmäinen on rahtikirjadata, jossa yksi rivi kuvaa yhtä toimitusta eli rahtikirjaa. Toinen tietokokoelma on elementtiluettelo, jossa yksi rivi kuvaa yhtä elementtiä eli ontelolaattaa tapaustehtaan tapauksessa. Liitteessä A on esiteltynä näiden kahden datakokoelman tietueita ja niiden ominaisuuksia. Rahtikirjadatassa moni tietue on manuaalisesti syötettyä, mikä herättää kysymyksen tiedon luotettavuudesta näppäilyvirheiden osalta. Kuitenkin tämä data on käytössä esimerkiksi laskutuksessa, joten voidaan olettaa, että suurimmat näppäilyvirheet on suodatettu pois.

Kustannustehokkuuden mittaamiseen käytettiin tapaustehtaan aiempia arvioita niin investointitarpeille kuin muuttuville ja kiinteille kuluille. Lukkivarastoinnin luvut saatiin haastattelun kautta. Turvallisuusnäkökulmaan etsittiin tietoa yleisistä tuvallisuustilastoista ja turvallisuusteorioista.

7.2 Varastoinnin tehokkuus

Varastoinnin mittareita miettiessä ensimmäisenä tulee mieleen varaston koko. Ontelolaattojen yhteydessä varaston koon määrittelyssä on monta huomioon otettavaa asiaa. Ensimmäinen on yksikön valinta, jolla mitataan varaston kokoa. Vaihtoehtoja siihen on monia: neliömetri, kuutiometri, ontelolaattojen yhteispituus, laattojen kappalemäärä, laattojen massa tai kuormien määrä. Toinen huomioon otettava asia, joka liittyy myös vahvasti yksikön valintaan, on ontelolaattojen suuri kokovaihtelu. Ontelolaatat vaihtelevat suuresti pituudeltaan ja myös paksuudeltaan. Tämä puoltaisi kuutiometrin käyttämistä, joka huomioisi molempien mittojen vaihtelut. Kun taas tuotannon puolella enemmän käytetty neliömetri, ei huomioi laattojen paksuusvaihtelua. Kirjallisuuskatsauksessa käytiin läpi logistiikan läpimenoaikaa, joka määritti logistiikan läpimenonaukkoa, joka määritteli tarvittavaa varastoa, jotta palvelutaso säilyy. Tämän vuoksi tutkimuksessa varaston kokoa tutkitaan yksikkönä neliömetri (m2), jota käytetään esimerkiksi tuotannon vuosituotannon tavoitteissa. Tässä tutkimuksessa vuosituotantomäärän (TuM) ja -toimitusmäärän (ToM) oletetaan olevan sama vuosittain. Esimerkiksi vuonna 2022 nämä olivat prosentin kymmenyksen sisällä sama arvo.

Varaston optimaalista kokoa lähdettiin mittaamaan varaston kiertoajan mukaan. Tutkimalla elementtidataa saadaan toimituspäivän ja valupäivän erotuksesta laskettua, kuinka kauan elementti on varastossa. Tällä tiedolla saadaan tieto varastonkierrosta, eli montako päivää keskimäärin elementti on varastossa. Tästä voidaan laskea, montako viikkoa elementit ovat keskimäärin varastossa. Jakamalla vuosittaiseen TuM määrään tuotantoviikoilla saadaan viikoittainen tuotantomäärä. Tämä jaettuna varaston koolla saamme selville, monenko viikon tuotanto varastoon mahtuu. Sitä vertaamalla varaston kiertoon nähdään alkaako varasto täyttyä jo keskimääräisellä tuotantomäärällä.

Edellä mainittuun varaston kiertoaikaan vaikuttaa kirjallisuuskatsauksessa käsitelty logistiikan läpimenon aukko. Tätä kasvattaa muun muassa tuotteen kysynnän vaihtelu esimerkiksi vuodenaikojen mukaan (Rushton et al. 2017). Mitä suurempi kysyntä, sitä enemmän pitäisi olla puskurivarastoa, jotta asiakkaat saavat tilauksensa ajoissa. Tätä kausivaihtelua tutkitaan graafisella esityksellä, josta voidaan tulkita, näkyykö säännönmukaista kausivaihtelua kysynnässä, ja kuinka korkeita kysynnän huiput ovat.

7.3 Lastauksen tehokkuus

Tehtaan pahimpana ongelmana nähdään lastausten ruuhkautuminen. Tämä johtuu lastausten painottumisesta päiväsaikaan. Käytännössä tämä tarkoittaa, että samalla nosturilla pitäisi lastata useampi kuorma samaan aikaan, mikä ei ole mahdollista. Tätä ongelmaa varten haluttiin mittari, joka kertoo, millä määrällä lastauksia päivässä alkaa lastaukset ruuhkautumaan keskimäärin.

Ruuhkautumisen mittariksi valittiin kuljetusliikkeen odotusminuutit ja vaateet odotuksista. Näiden suuruuden perusteella mitataan, milloin varaston lastauskapasiteetti alkaa loppumaan. Odotuksista seuraa yleensä myöhästymisiä työmaalta, mistä seuraa myös kustannuksia reklamaatioiden muodossa ja myös mainehaittaa, joten se otettiin myös mukaan tarkasteluun.

Rahtikirjadatasetistä saadaan jokaiseen toimitukseen menneet odotusminuutit, odotusvaateet sekä myöhästymisen määrä ajassa. Kun näitä tietoja tarkastellaan päivätasolla ja jaetaan päivät kuormaryhmiin toimitettavien kuormien määrän mukaan, niin voidaan tutkia missä päivittäisen kuormamäärän kohdalla odotukset ja myöhästymiset kasvavat eniten. Tämän avulla päätellään, mikä on varaston lastauskapasiteetti.

Kuormien määrän päivittäisellä tarkastelulla saadaan keskiarvo päivittäisestä kuormamäärästä. Lisäksi saadaan tieto kysynnän suurimmista päivistä kuormamäärillä mitaten. Näiden avulla voidaan laskea, kuinka moninkertainen on huippukysynnän päivätason kuormamäärä verrattuna keskimääräiseen päivätason kuormamäärään. Tämän avulla voidaan tarkistaa varaston lastausten toimivuus vilkkaina toimituspäivinä.

Valupäivien ja toimituspäivien avulla saadaan selville myös niin sanotut kiirekivet, eli edellisenä päivänä ennen toimitusta valetut ontelolaatat. Näihin liittyy aina epävarmuutta, ehtiikö ontelolaatta valmiiksi ajoissa ja miten sujuvasti se saadaan hallista ulos lastaukseen. Tehtaalla kiirekivet koetaan yhdeksi ongelmaksi, joten niiden vaikutusta odotuksiin ja myöhästymisiin haluttiin myös mitata.

7.4 Kustannustehokkuus

Toiminnan operatiivisen tehokkuuden lisäksi kustannustehokkuus on tärkeä näkökulma. Yrityksen toiminta perustuu siihen, että toiminta on kannattavaa liiketoimintaa. Tämä asettaa myös varastotoiminnalle vaatimuksen kustannustehokkuudesta.

Eri varastointitapojen kustannustehokkuutta vertaillaan yksinkertaisesti muuttuvien ja kiinteiden kustannusten kautta. Muuttuvilla kustannuksilla tarkoitetaan kustannuksia,

jotka muuttuvat tehdyn toiminnan määrän mukaan. Mitä enemmän toimintaa, sitä enemmän kustannuksia. Esimerkiksi työvoima, energia ja materiaalikustannukset ovat muuttuvia kustannuksia. (Martinsuo et al. 2016) Tehtävissä skenaarioissa muuttuvat kustannukset varastoinnissa kasvavat, koska niissä on otettu huomioon tulevaisuuden tarve kasvattaa tuotantokapasiteettia, mikä tarkoittaa suurempaa määrä ontelolaattojen varastointia ja lastausta. Tämän vuoksi muuttuvia kustannuksia mitataan siten, että kuinka paljon kustannus per ontelolaatta neliömetri muuttuu eri varastointitavoilla.

Kiinteät kustannukset ovat vastakohta muuttuville eli ne eivät muutu tuotantomäärän mukaan. Esimerkiksi koneiden pääomakustannukset ja vuokrat ovat kiinteitä kustannuksia. (Martinsuo et al. 2016). Kiinteitä kustannuksia mitataan rahamääräisesti eri varastointitapojen välillä.

Varastointitapaskenaarioiden luomisessa arvioidaan lisäksi tarvittavia investointitarpeita. Näitä tarpeita voivat olla esimerkiksi uudet koneet ja laitteet sekä maanmuokkaustyöt. Investointitarpeiden arvioinnissa on hyödynnetty tapaustehtaan aiempia laskelmia. Mittarin yksikkönä on euromäärä.

7.5 Turvallisuusarviointi

Työturvallisuutta mitataan Suomessa yleisesti tapaturmataajuuksien avulla. Ensimmäinen taajuus LTIF mittaa poissaoloon johtaneiden tapaturmien määrää tehtyihin työtunteihin nähden. Toinen tapaturmataajuus TRIF mittaa yleisesti tapaturmien määrää tehtyihin työtunteihin nähden. Jälkimäisessä taajuudessa huomioidaan siis lievemmätkin tapaukset, joissa tapaturma ei ole johtanut poissaoloon työtehtävistä. Asteikkona taajuuksissa käytetään yleensä tapaturmia miljoonaa tehtyä työtuntia kohti. (Työturvallisuuspakki 2023)

Työturvallisuus on tärkeä näkökulma ottaa esille, kun mietitään varastointitapojen vertailua. Tapaustehtaan alalla eli rakennusteollisuudessa tapaturmataajuus poissaoloon johtaviin tapaturmiin oli vuonna 2019 23,9 tapaturmaa miljoonaa työtuntia kohden. Tästä erotetaan vielä erikseen betoniteollisuuden tapaturmataajuus, niin samana vuonna se oli 32,58 tapaturmaa miljoonaa työtuntia kohden. (Betoniteollisuus 2020) Vertailuksi voidaan ottaa tilastokeskuksen tilasto, jossa kerrotaan saman vuoden tapaturmataajuuden kaikille palkansaajille Suomessa olevan 10,2 tapaturmaa miljoonaa työtuntia kohden. Samassa tilastossa kuljetus- ja varastointialalle tapaturmataajuus kerrottiin olevan 17,1 tapaturmaa miljoonaa työtuntia kohden. (Suomen virallinen tilasto 2022) Tämän vertailun tuloksena voidaan sanoa, että betoniteollisuusala on Suomen kontekstissa hyvin tapaturma-altis ala.

Tapaturmataajuuden eroavaisuuksia tai määrittämistä eri varastointitavoille on hyvin vaikea tehdä, ellei jopa mahdotonta. Tapaturmiin liittyy hyvin vahvasti erilaiset turvallisuusriskit. Riskien analysoinnissa käytetään usein riskimatriisia, jossa arvioidaan esimerkiksi riskin todennäköisyyttä ja seurausta (Valtiovarainministeriö 2017). Eroja varastointitapojen välille turvallisuusnäkökulmasta voisi siis arvioida siten, tuoko varastointitapa riskeille altistumista lisää tai muuttuuko riskien seuraukset. Määrällisesti voidaan arvioida tehtyjen työtuntien määrää varastointitapojen välillä, josta voidaan arvioida riskeille altistumisen muutoksia. Riskien seurasta arvioidaan tehtaan kokemusten perusteella.

Kolmantena asiana turvallisuuden näkökulmasta nostetaan esille kiireen ja painetilan vaikutus työturvallisuuteen. Työterveyslaitoksen julkaisusta löytyy tieto, että vuonna 2012 Suomessa tapaturmiin joutuneista 45 prosenttia työskenteli kiireessä. Vastaavasti tapatuman välttäneistä kiireessä työskenteli 35 prosenttia. (Salminen ja Perttula 2015) Eri varastointitapojen vaikutusta kiireeseen arvioidaan lastauskapasiteetin avulla. Mitä pienempi lastauskapasiteetti sitä helpommin tulee ruuhkaa ja myös kiire saada ontelolaattakuormat lastatuksi.

8. TAPAUSTEHTAAN VARASTON NYKYINEN OPERATIIVINEN TOIMINTAKYKY

Tapaustehtaan varastointi koostuu tällä hetkellä kuudesta siltanosturista ja jalkakuormapaikoista. Kaikki valmistettavat ontelolaatat menevät nosturivaraston kautta, josta ne lastataan toimituksiin työmaalle tai jaloitettavaksi jalkakuormapaikoille tehtaan läheisyyteen.

8.1 Varastoinnin tunnusluvut

Edellisessä luvussa pohdittiin ontelovaraston koon määrittämisen ongelmallisuutta. Nosturivaraston kohdalla ongelmallista on laattojen erilainen koko, mikä aiheuttaa sen, että ei ole standardimäärää, kuinka paljon laattoja menee päällekkäin yhteen varastopaikkaan. Toinen laskemista hankaloittava asia on, että ontelolaattojen pituus todella harvoin osuu tehokkaasti yhteen nosturivälin jännepituuden kanssa. Jaloituspaikkojen varastointikapasiteetti saadaan laskettua melko lähelle keskimääräisen kuormakoon avulla.

Varaston koon laskemisen hankaluuden vuoksi määritetään varaston koko kokemuksen ja historiadatan avulla. Tapaustehtaalla varasto oli niin täynnä vuoden 2022 syystalvella, että jouduttiin pitämään tuotannossa vapaapäiviä tämän vuoksi. Tuolloin varastossa olleesta ontelolaattojen neliömäärästä saadaan varaston reaalinen maksimikoko. Tämä varaston koko suhteutettuna vuoden 2022 keskimääräiseen tuotantoon (myöhemmin TuM_{2022}) saadaan varaston kooksi 2,66 tuotantoviikkoa. Tästä nosturivarastoon mahtuu noin 2,44 tuotantoviikkoa ja jaloituspaikoille noin 0,22 tuotantoviikkoa.

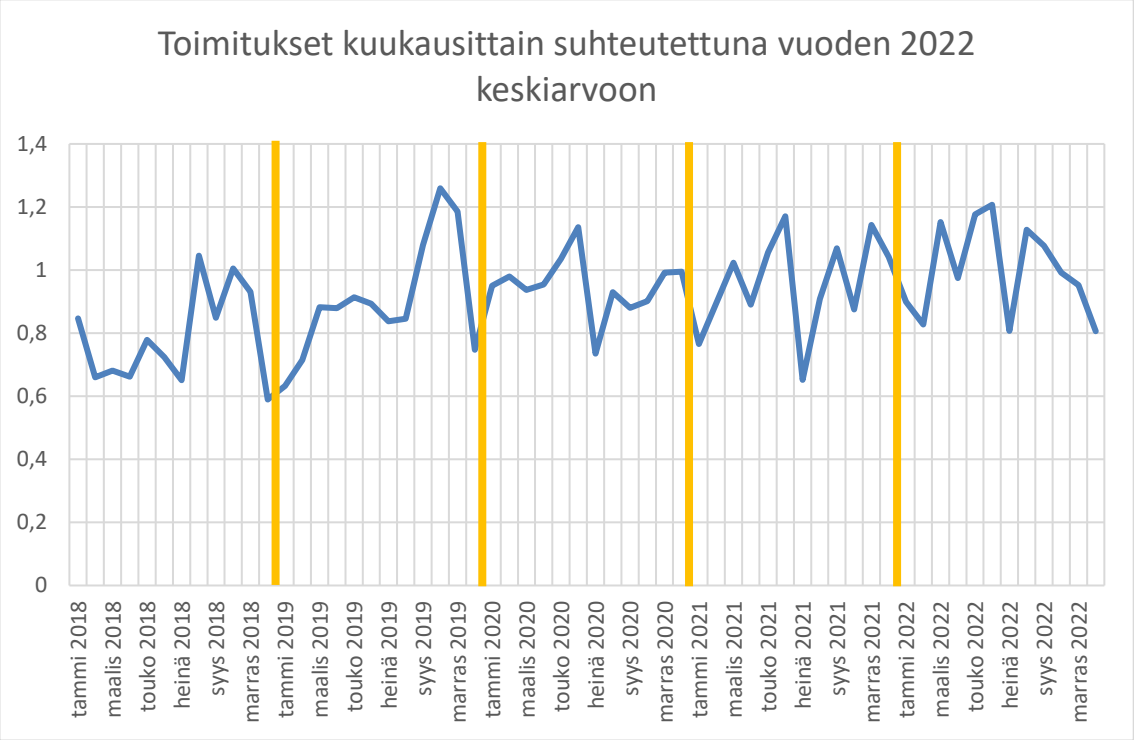
Taulukko 3. *Varaston avainlukuja viideltä viime vuodelta*

Vuosi	Toimitus-määrä / vuoden 2022 tuotannolla	Varastonkierto (elementin keskimääräinen varastossa oloaika työviikoissa)	Kiirekivet (valettu edellisenä päivänä)	Toimituspäivä - suunniteltu toimituspäivä työviikoissa (negatiiviset arvot =0)
2018	0,79	3,73	720	1,97
2019	0,91	3,59	512	1,65
2020	0,96	2,96	859	1,47
2021	0,96	2,65	983	1,41
2022	1,00	2,20	3933	1,48

Taulukkoon 3 on listattuna varaston avainlukuja viideltä viime vuodelta, eli vuosilta 2018–2022. Taulukosta selviää, että viisi vuotta sitten tapaustehtaalta toimitettiin noin 80 prosenttia TuM_{2022}:sta. Samalla nähdään, että vuonna 2022 toimitettiin ja tuotettiin sama

määrä laattaa yhden prosentin tarkkuudella eli TuM_{2022} = ToM_{2022} (toimitusmäärä vuonna 2022). Viimeisen viiden vuoden aikana toimitusmäärä on hiljalleen kasvanut nykyiseen määräänsä. Samaan aikaan ontelolaattojen kiertoaika varastossa (myöhemmin $VaKiA$), eli laskettuna, kuinka monta työpäivää menee ontelolaatan valamisesta sen toimittamiseen, on pienentynyt. Ontelolaatat olivat viisi vuotta sitten keskimäärin 3,73 työviikkoa varastossa, kun vuonna 2022 lukema oli 2,20 työviikkoa. Tästä voimme päätellä, että vuoden 2022 keskimääräinen tuotanto pitäisi mahtua hyvin nykyiseen varastoon, johon mahtuu siis noin 2,66 viikon tuotannon ontelolaatat.

Logistiikan teorialuvussa käsiteltiin varastoinnin merkitystä toimitusvarmuuteen. Puskurivarastolla pystytään turvaamaan asiakkaiden toimitukset kysyntäpiikeissä. Kysynnän vaihtelua kuukausittain voidaan vertailla kuvassa 16, jossa on kuukauden toimitusmäärä suhteutettuna vuoden 2022 keskiarvoon. Kuvajaan perusteella ei voida päätellä mitään selkeää kaavaa toimitusmääriin, mikä toistuisi vuosittaina. Ainoa silminnähden toistuva kaava on heinäkuun pieni toimitusmäärä, mikä selittyy tapaustehtaan kahden viikon lomaseisakista.

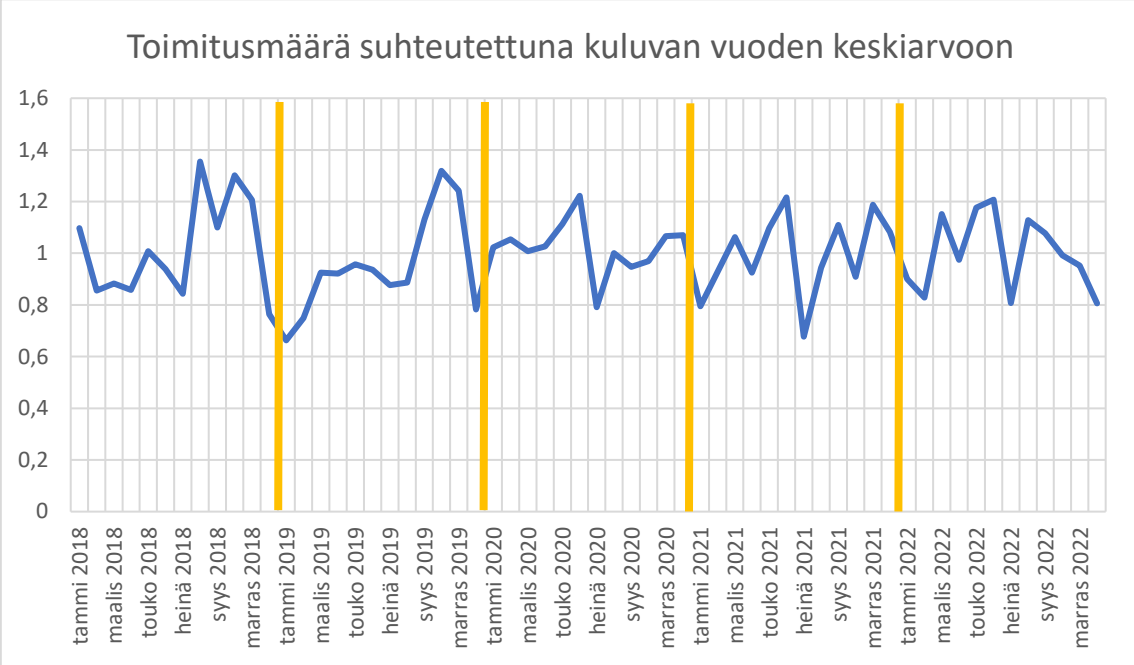


Kuva 16. Kuukausittainen toimitusmäärä suhteutettuna vuoden 2022 keskiarvoon

Kuvassa 17 on samankaltainen kuvaaja, mutta siinä kuukauden toimitusmäärää vertaillaan tarkasteltavan kuukauden oman vuoden keskiarvoon. Eli kaavio näyttää kunkin vuoden toimitusten jakautumisen eri kuukausille. Tästä kuvaajasta nähdään, että vuodesta 2020 lähtien toimitusmäärän vaihtelu yhden vuoden sisällä on osunut lähes poikkeuksetta 0,8 – 1,2-kertaisen keskimääräisen toimitusmäärän väliin. Tästä voidaan päätellä kysyntäpiikkien olevan kuukausitasolla 1,2-kertaisia keskiarvoiseen

toimitusmäärään nähden. Tämä tulee ottaa huomioon, kun mietitään miten paljon kuormia tulisi saada lastattua yhdessä työpäivässä.

Taulukosta 3 nähdään pienentyneen varastonkiertolukeman lisäksi kiirekivien suurena lisääntyminen erityisesti vuonna 2022. Kiirekiviä eli edeltävänä päivänä ennen toimitusta valettuja ontelolaattoja oli yli neljä kertaa enemmän vuonna 2022 kuin muina vuosina. Näiden kiirekivien vaikutusta toimitusten varmuuteen on esitelty tarkemmin lastauksen tunnusluvut -luvussa.



Kuva 17. Vuosien 2018 – 2022 toimitusmäärien jakautuminen kuukausittain

Toinen varastonkiertoon vahvasti liittyvä lukema taulukossa 3 on toimituspäivän ja suunnitellun toimituspäivän erotus työpäivissä mitattuna, mikä on esitettynä viimeisessä sarakkeessa. Suunniteltu toimituspäivä kuvaa ajankohtaa, joka on asiakkaan kanssa sovittu, ja sen mukaan on varattu tehtaalta tuotantokapasiteettia. Suunnitellun toimitusajankohdan avulla voidaan siis ennustaa tehtaan tuotteiden kysyntää. Suunnitellun ja toteutuneen toimituspäivän erotus kertoo, kuinka hyvin tämä ennustus on toteutunut. Taulukkoon 3 negatiiviset arvot eli tapaukset, joissa toteutunut toimituspäivä on aiemmin kuin suunniteltu on arvotettu nollaksi. Tämä siitä syystä, että tällaiset aikaistukset ovat poikkeustapauksia, ja niitä luvataan vain silloin, kun työkannan kiireellisyys on tarpeeksi alhainen. Tämän takia negatiiviset arvot on määritetty nollaksi, eli niiden aiheuttama negatiivinen ennustus ei paranna kokonaisuutta lähemmäksi nollaa negatiivisilla arvoilla. Lisäksi taulukon kolme lukema on muutettu työviikoiksi, jotta sitä voidaan verrata varastonkierron vastaavaan lukemaan. Tästä lukemasta nähdään, että viisi vuotta sitten kysynnän ennustus meni keskimäärin lähes kaksi viikkoa pieleen. Tästä on viiden vuoden aikana saatu keskimääräistä ennustusta parannettua puolen viikon verran eli noin 1,5

viikkoon. Kun tämä lukema suhteutetaan varastonkiertoon eli elementin varastossa oloaikaan, saadaan esimerkiksi vuoden 2022 lukemilla tulos, että keskimääräinen ennustuksen virhe on 67 prosenttia keskimääräisestä elementtien varastointiajasta.

8.2 Lastauksen tunnusluvut

Lastaustoiminnan mittaamisessa tärkeimmäksi näkökulmaksi otettiin lastauksien sujuvuus ja nostureiden ruuhkautuminen. Tapaustehtaalla koetaan yhdeksi suurimmaksi ongelmaksi nostureiden ruuhkautuminen, joka aiheuttaa odotusvaateita kuljetusliikkeeltä ja myöhästymisten kautta reklamaatioita asiakkailta.

Nostureiden ruuhkautumisen mittaamista varten rahtikirjadatasetti jaoteltiin työpäivien mukaan. Työpäivät jaettiin kuormaryhmiin, jotka muodostuvat työpäivän nosturilastausten määrän mukaan, eli jalkakuormat on suodatettu pois. Kuormaryhmät ovat esitettynä taulukossa 4, jossa kuormaryhmät esitetty prosenttiosuuksina vuoden 2022 keskimääräisestä työpäivän kuormamäärästä (myöhemmin KuM_{2022}), jossa on siis myös jalkakuormat mukana. Kuormaryhmille laskettiin keskiarvo lastauksen ruuhkautumisesta kertoville mittareille. Odotus tehtaalla / kuorma -sarake kertoo odotusajan tehtaalla per kuorma. Sarake odotus tehtaalla % kertoo, montako prosenttia päivän kuormista on odottanut lastauksessa. Myöhässä / kuorma -sarake kertoo keskimääräisen myöhästymisajan kuormaa kohden. Myöhässä % kertoo myöhästyneiden kuormien osuuden päivän kokonaiskuormamäärästä. Kiireelliset lähetteet merkitsevät lähetteiden määrää, joissa on vähintään yksi elementti valettu edellisenä päivänä toimituksesta. Odotusvaade / kuorma kertoo kuljetusliikkeen veloittamat kustannukset aiheutuneesta odotuksesta yhtä kuormaa kohden.

Taulukko 4. *Kuormaryhmät päivän nosturilastauksien mukaan ja niiden vertailu keskimääräiseen päivään nähden vuonna 2022*

Kuorma-ryhmä	Otos-koko	Odotus tehtaalla / kuorma	Odotus tehtaalla %	Myöhässä / kuorma	Myöhässä %	Kiireelli-set lähet-teet	Odotus vaade / kuorma
< 26%	8	-45 %	-40 %	-62 %	-35 %	-66 %	-49 %
26–37%	19	-34 %	-24 %	-35 %	-18 %	-43 %	-33 %
38–50%	46	-24 %	-13 %	-36 %	-15 %	-30 %	-22 %
51–63%	54	-19 %	-9 %	-26 %	-5 %	-23 %	-18 %
64–76%	60	-5 %	-1 %	17 %	6 %	-8 %	-6 %
77–89%	41	30 %	15 %	16 %	4 %	-1 %	28 %
90–103%	20	29 %	9 %	16 %	5 %	86 %	29 %
>103%	8	-2 %	11 %	33 %	16 %	51 %	-2 %

Taulukosta 4 nähdään, että moni edellä mainittu määre nousee selkeästi yli keskiarvopäivän, kun nosturilta lastataan kuormia määrällisesti 77 prosenttia keskiarvollisesta työpäivän kokonaiskuormamäärästä. Tämän perusteella voitaisiin arvioida, että lastaukset nostureilla ruuhkautuu, kun nosturilastauksia on määrällisesti 77 prosenttia keskiarvollisesta $KuM_{2022}{:}\,sta$. Käytetään tästä päivittäisestä nosturilastausten kapasiteetista merkintää $NosKap_{2022}$.

Toinen asia, jonka on ajateltu vaikuttavan lastausten odotuksiin ja kuormien myöhästymisiin on kiireelliset elementit. Tätä tutkittiin vertailemalla ei-kiireellisiin lähetteitä kiireellisiin lähetteisiin, joissa siis vähintään yksi elementti on valettu edeltävänä päivänä toimituksesta. Tämä vertailu on esitelty taulukossa 5.

Taulukko 5. *Kiireellisten lähetteiden vertailu ei-kiireellisiin lähetteisiin*

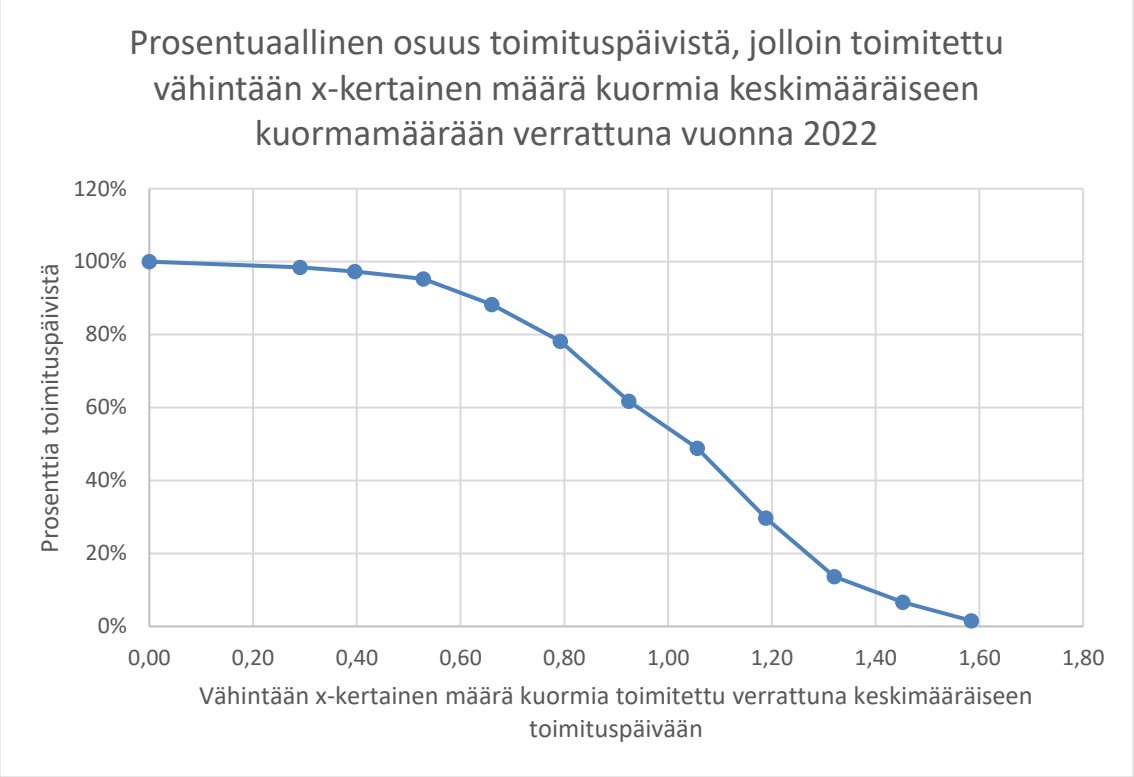
Kiirelähete verrattuna ei kiireelliseen	**Myöhässä / kuorma**	**Myöhässä %**	**Odotus tehtaalla**	**Tehtaalla odottaneet %**	**Odotusvaade / kuorma**
kerroin	1,96	1,66	1,79	1,64	1,79

Taulukon 5 tiedoista nähdään, että kiirelähetteet tuottavat selkeästi enemmän odotusta lastauksissa ja myös myöhästymisiä työmaan tilaamista purkuajoista. Esimerkiksi kuormat ovat keskiarvollisesti lähes kaksinkertaisesti myöhässä ajallisesti kuormaa kohden.

Jalkakuormien tekemisellä pyritään vähentämään edellä mainittua lastauksen ruuhkautumista nostureilla. Jaloitukset tehdään aina tarpeen mukaan, eli jaloille tehdään vain jo työmaalle tilattuja ontelokuormia. Täten jaloituskuormat toimivat eräänlaisena terminaalialueena eivätkä sinänsä lisävarastotilana.

Samalle jalkakuormapaikalle voisi teoriassa tehdä joka päivä uuden kuorman. Käytännössä tämä ei toimi, koska jaloitettavaksi valitaan tietyt kuormat. Valintaa ohjaa kuormamäärällisesti suuret päivät, joilta jaloitetaan jo useita päiviä aikaisemmin kuormia, joten silloin samalla paikalla ei voi joka päivä olla eri kuorma. Lisäksi kuorman kaikkien laattojen täytyy olla valmiina, mikä saattaa myös ohjata tekemään jaloituksia pidemmältä tulevaisuudesta. Tähän tutkimukseen arvioitiin, että teoriassa keskimäärin jalkapaikalle voisi saada uuden kuorman 2,5 työpäivän välein eli yhdelle jalkapaikalle saisi työviikon aikana kaksi kuormaa. Laskemalla tehtaalla käytössä olevat jalkakuormapaikat kerrottuna kahdella saadaan siis jaloituspaikkakapasiteetti työviikolle. Tämä jaettuna viidellä saadaan jaloituspaikkakapsiteetti työpäivää kohden (myöhemmin $JalKap_{2022}$). Jaetaan tämä päivittäisellä kokonaiskuormamäärällä, niin saadaan, että jaloituspaikoille voisi saada jopa 53 prosenttia $KuM_{2022}{:}\,sta$. Toteutunut jalkakuormien määrä on noin 36 prosenttia $KuM_{2022}{:}\,sta$.

Palaamalla taulukosta 4 tehtyihin havaintoihin, jossa päädyttiin arvioon, että lastauksia nostureilta saisi olla enintään 77 prosenttia $KuM_{2022}:sta$. Kun $JalKap_{2022}$ on jopa 52 prosenttia $KuM_{2022}:sta$, niin voidaan päätellä, että jaloituspaikkojen määrän pitäisi riittää siihen, että vältettäisiin suurempi ruuhkautumien nostureilla.



Kuva 18. Vuoden 2022 kuormamäärien jakautuminen prosentuaalisesti verrattuna keskimääräiseen kuormamäärään

Edellä olevat laskelmat lastauskapasiteetin riittävyydestä perustuvat keskimääräiseen päivittäiseen kuormamäärään. Kuvasta 17 kuitenkin nähtiin, että kysyntähuiput ovat jopa 1,2-kertaiset verrattuna keskimääräiseen, kun tarkastellaan asiaa kuukausitasolla. Kuvaan 18 on asetettu vuoden 2022 toimituspäivien kuormamäärät verrattuna KuM_{2022}. Vaaka-akselilla kulkee kerroin verrattuna KuM_{2022}:ään ja pystyakselilla prosenttiosuus toimituspäivistä, jolloin vähintään vaaka-akselin osoittama määrä kuormia on toimitettu. Näin pystytään tarkastelemaan miten päittäiset kuormamäärät jakautuvat prosentuaalisesti verrattuna KuM_{2022}:ään. Tästä voidaan myös päätellä kysyntähuiput myös päivätasolla. Kuvasta nähdään, että suurimmat toimituspäivät ovat olleet jopa 1,6-kertaisia verrattuna KuM_{2022}:ään. Nämä ovat kuitenkin melko harvinaisia tapauksia. Toistuvammin eli 7 prosenttia toimituspäivistä on ollut vähintään 1,45-kertainen kuormamäärältään verrattuna KuM_{2022}:ään. Käytetään tätä 1,45 kertoimena siihen miten nykyisen varaston lastauskapasiteetti riittää palvelemaan kysynnän huippupäivää $KuM_{2022KHP}$. Nykyinen nosturivarasto pystyy lastamaan 55 prosenttia ja jalkakuormapaikat 36 prosenttia

$KuM_{2022KHP}$ eli yhteensä 91 prosenttia kuormista sujuvasti. Eli kysynnän huippupäivinä alkaa lastaukset jo selkeästi ruuhkautumaan, vaikka jaloituspaikat olisi hyödynnetty maksimaalisesti. Voimme myös laskea jakamalla kokonaislastauskapasiteetin $(KokLaKap_{2022})$ KuM_{2022}:lla, niin saadaan, että nykyinen varasto pystyy lastaamaan sujuvasti 1,32-kertaisen KuM_{2022} kuormamäärän päivässä. Kuvan 18 kuvaajasta nähdään, että 14 prosenttia toimituspäivistä menee ylitse tämän toimitusmäärän.

9. VARASTOINTITAPOJEN SKENAARIOT TAPAUSTEHTAALLA

Tutkimuksessa luodaan kolme skenaariovaihtoehtoa varaston laajenemista varten. Varaston laajennus on tarpeellinen, koska tapaustehtaan tuotantokapasiteettia ollaan nostamassa. Skenaarioiden avulla arvioidaan, kuinka sujuvaa varastointi- ja lastaustoiminta on, kun saavutetaan tavoitteellinen vuosittainen tuotantomäärä (myöhemmin $TuM_{tavoite}$).

9.1 Lähtökohdat skenaarioille

Tapaustehtaalla varaston laajentamismahdollisuudet ovat varsin rajalliset. Nykyisen nosturivaraston jatkoksi mahtuu rakentamaan yksi nosturirata lisää. Tämän viereen olisi mahdollisuuksien rajoissa saada lisätilaa siirtämällä betonijätteenmurskaus muualle, mutta tämä aiheuttaa lisäkustannuksia.

Tuotantomäärää on kaavailtu suurennettavan merkittävästi. Nykyiseen varastoon mahtuu 2,66 työviikkoa TuM_{2022}:sta. $TuM_{tavoite}$ määrällä nykyiseen varastoon mahtuisi 1,9 tuotantoviikkoa. Tämä on pienempi kuin vuoden 2022 varastonkiertoaika 2,2 työviikkoa. Tämä tarkoittaisi, että varasto tulisi täyteen jo keskimääräisillä tuotantomäärillä, jos varaston kiertoaika pysyisi samana.

Oletetaan toimitusmäärän olevan sama kuin tuotantomäärä, niin saadaan laskettua, kuinka paljon kuormia täytyisi saada lastattua keskimäärin työpäivässä ($KuM_{tavoite}$). Nykyinen $NosKap_{2022}$ saadaan lastattua 56 prosenttia $KuM_{tavoite}$:sta. Jalkapaikkojen määrä riittäisi noin 37 prosenttiin $KuM_{tavoite}$:sta. Tällöin nykyisellä varastolla saataisiin lastattua sujuvasti 94 prosenttia $KuM_{tavoite}$:sta. Eli lastaukset alkaisivat ruuhkautumaan jo keskimääräisellä kuormamäärällä. Jos huomioidaan vielä mahdollinen kuukausittainen kysyntähuippu eli 1,2-kertainen toimitusmäärä keskimääräiseen verrattuna, niin tällaisena päivänä nykyinen varasto riittäisi lastaamaan 78 prosenttia toimitettavista kuormista sujuvasti. Päivittäisellä kysyntähuipulla eli 1,45-kertaisella määrällä saadaan sujuvasti lastattua vain 65 prosenttia kuormista.

Edellä olevien laskutoimitusten mukaan on varsin tarpeellista laajentaa varastoa, jotta varaston toiminta olisi sujuvaa myös tulevaisuuden tavoitetuotantokapasiteetissa. Nykyinen varasto ei riitä niin varastointi- kuin ei myöskään lastauskapasiteetiltaan sujuvan varastotoiminnan tarpeisiin.

9.2 Nosturivaraston laajennus

Nosturivaraston laajennus tarkoittaa käytännössä sitä, että nosturivaraston jatkoksi rakennetaan yksi nosturirata lisää, ja sinne investoidaan uusi siltanosturi. Tämän lisäksi tarvetta on jatkaa hallien ulosvetoratoja, jotta ne yltävät myös uuden nosturin alle. Tässä tutkimuksen skenaariossa uusi nosturi tulisi olemaan samanlainen kuin nykyiset nosturit 4, 5 ja 6. Varastointitilan ja lastauskapasiteetin kasvu tehdään näiden laskelmien mukaan.

Varastointikapasiteetti nousee uuden nosturin myötä noin 18,6 prosenttia. Varastointikapasiteetti uuden nosturin myötä olisi ilmoitettuna $TuM_{tavoite}$ tuotantoviikkoina 2,26 tuotantoviikkoa. Tämä on hieman enemmän kuin vuoden 2022 varastonkierto, joka oli 2,2 tuotantoviikkoa. Tämän perusteella varastointitilaa olisi riittävästi tavoitteelliselle tuotantokapasiteetille uuden nosturiradan myötä.

Uusi nosturi toisi myös lisää lastauskapasiteettia. Tällä hetkellä käytössä on kuusi nosturia, joista yhdellä lastataan selvästi vähemmän kuin muilla eli nosturilla 1. Tämän perusteella voidaan lastauskapasiteetin laskea nousevan 25 prosenttia, kun viiden lastaavan nosturin jatkeeksi tulee yksi lisää. Tämä nostaisi nostureiden lastauskapasiteetin 56 prosentista 67 prosenttiin $KuM_{tavoite}: sta$. Jalkakuormien kapasiteetin pysyessä samana 37 prosenttina, niin kokonaislastauskapasiteetti olisi 104 prosenttia $KuM_{tavoite}: sta$. Käyttämällä huippukysyntäkuukauden kerrointa 1,2 saadaan kokonaislastauskapasiteetti riittämään 87 prosentin osuuteen. Päivittäisen huippukysynnän kertoimella lukemaksi saadaan 72 prosenttia. Lastauskapasiteetti riittäisi siis keskimääräiseen toimituspäivään, mutta huippukysyntäpäivinä se loppuisi pahasti kesken.

Nosturivaraston laajentamisen kustannuksia arvioidessa esiin nousee suuri investointitarve. Uusi nosturirata nosturilla ja ulosvetoratojen pidennykset maksavat suuria summia. Tehtaalta saatu arvio näille investoinneille on noin 550 tuhatta. Tässä skenaarioissa on lisäksi tarvetta nostaa nykyisten jalkakuormapaikkojen käyttötehokkuutta. Tämä vaatii uutta terminaalitraktoria, jonka investoinniksi arvioidaan 50 tuhatta. Kokonaisinvestointitarve olisi siis 600 tuhatta euroa.

Kuten aiemmin todettiin, skenaarioissa muuttuvia kustannuksia arvioidaan, miten paljon varastoinnin ja lastauksen kulut muuttuvat yhtä ontelolaattaneliömetriä kohden. Jaloitukset kulkevat aina nosturivaraston kautta, joten suurempi jaloitusmäärä lisää työtunteja ja siten kustannuksia ontelolaattaneliömetriä kohden. Tehtaalla on arvio jalkakuorman tekemisen kustannuksesta, ja kun jaamme sen yhden kuorman keskiarvollisella neliömäärällä, saamme jalkakuorman teon kustannuksen yhtä neliömetriä kohden $JalKus_{m2}$.

Vähentämällä keskimääräisestä päivittäisestä $KuM_{tavoite}$:sta tämän skenaarion nosturien lastauskapasiteetin saamme päivittäisen tarpeen jalkakuormien määrälle, jonka kertomalla $JalKus_{m2}$ saamme jalkakuormien teon päivittäisen kustannuksen $JalKus_{pv}$. Tehtaalla on arvio nykyisen varastoinnin kustannuksesta neliömetriä kohden $VarKus_{m2}$, jonka kertomalla $KuM_{tavoite}$:lla ja se kerrottuna kuorman keskineliömäärällä saadaan nykyisen toiminnan päivittäinen varastointikustannus $VarKus_{pv}$. Summaamalla nykyisen toiminnan $VarKus_{pv}$ ja $JalKus_{pv}$ saadaan kokonaiskustannus päivittäiselle varasto- ja lastaustoiminnalle. Tämä kertomalla $KuM_{tavoite}$:lla ja kuorman keskineliömäärällä saadaan kustannus neliömetriä kohden. Jaetaan tämä nykyisellä kustannuksella neliömetriä kohden, niin saamme varastointikustannuksen kasvukertoimeksi 1,14 neliömetriä kohden.

Kiinteitä kustannuksia tälle skenaariolle ei arvioitu juurikaan olevan. Merkittävin kustannus on lisääntyvä huolto- ja tarkastustoiminta nostureille. Tämän arvioidaan olevan noin 20 tuhannen euron luokkaa.

Nosturivaraston laajennuksella voidaan nähdä olevan vähäinen merkitys nykyiseen turvallisuuden tasoon. Varastointitoiminta pysyy tässä skenaariossa lähimpänä nykyistä toimintaa. Suurin osa varastoinnista ja lastauksilta tapahtuu edelleen nostureilla. Riskien laatu ja seuraus voidaan nähdä pysyvän lähes samansuuruisena nykyiseen verrattuna. Riskien taajuus nousee luonnollisesti, kun tuotantomäärä nousee, niin nousee myös varastotoiminta ja sen riskien kohtaamiskerrat. Lastauskapasiteetti on hyvin tiukalla tässä skenaariossa, joten se lisää kiirettä ja siten myös heikentää turvallisuutta ja lisää tapaturmariskiä

9.3 Valmiskuormapaikkojen lisääminen

Toisena vaihtoehtona varaston laajentamiselle on jalkakuormapaikkojen lisääminen uuden nosturin vaatimalle alueelle. Lisäksi mahdollisuus laajentaa jalkakuormapaikkoja betonimurskauspaikan tilalle on mahdollinen. Tämä vaihtoehto lisää kuitenkin vuosittaisia kiinteitä kuluja.

Uuden nosturin vaatiman alueen hyödyntäminen jalkakuormapaikkoina lisäisi jalkakuormapaikkoja 52 prosenttia. Tämä tarkoittaisi, että varastoon mahtuisi kokonaisuutena 1,99 $TuM_{tavoite}$ tuotantoviikkoa. Tämä jäisi alle vuoden 2022 varastonkierron, eli se aiheuttaisi ongelmia varastotilan riittävyydessä, jos varastonkierto pysyy samana. Jos jalkakuormapaikkoja laajentaisi myös betonimurskauspaikalle kasvaisi jalkakuormapaikkojen määrä 160 prosenttia. $TuM_{tavoite}$ tuotantoviikkoina tämä olisi 2,18 viikkoa. Tämäkin jäisi hieman vuoden 2022 varastonkierron lukeman.

Molemmissa vaihtoehdoissa jalkakuormapaikkojen määrä nousisi runsaasti, mikä tarkoittaa suurta kasvua jalkapaikkojen lastauskapasiteettiin. Uuden nosturin alueen hyödyntäminen jalkapaikkoina saisi kokonaislastauskapasiteetin riittämään 112 prosenttia $KuM_{tavoite}: sta.$ Huippukysyntäkuukauden kertoimella 1,2 lukema on 94 prosenttia ja huippukysyntäpäivän kertoimella 1,45 lukema on 77 prosenttia $KuM_{tavoite}: sta.$ Betonimurskausalueen hyödyntäminen jalkapaikoilla saisi pelkän jalkapaikkojen lastauskapasiteetin riittämään 135 prosenttiin $KuM_{tavoite}: sta.$ Huippukysyntäpäivän kertoimellakin 1,45 pelkkä jalkapaikkojen kapasiteetti riittäisi 93-prosenttisesti, ja kokonaislastauskapasiteetti olisi 132 prosenttia $KuM_{tavoite}: sta.$

Jalkakuormien lisäämiseen tarvittavat investoinnit ovat uusi terminaalitraktori ja uusien kuormajalkojen ja pankkojen hankinta. Terminaalitraktorin hankinta on edellisessä luvussa mainittu 50 tuhatta euroa. Pienemmällä jalkakuormien lisäyksellä kuormajalkoja ja pankkoja tarvitaan noin 25 tuhannella ja suuremmassa skenaariossa noin 75 tuhannella.

Muuttuvat kustannukset lasketaan samalla logiikalla kuin nosturivaraston laajennuksen yhteydessä. Tätä logiikkaa käyttämällä molemmissa jalkakuormien lisäysvaihtoehdossa muuttuvien kustannusten kasvu on yhtä suuri. Tämä johtuu siitä, että nosturilastauskapasiteetti on sama, joten keskimääräinen kuormien jaloitustarve päivässä on sama. Suurempi jaloituspaikkamäärä mahdollistaa sujuvan lastaustoiminnan myös huippukysynnän päivillä, joten se vähentää autojen odotuskustannuksia. Näitä kustannuksia ei kuitenkaan oteta tässä tutkimuksessa huomioon, koska odotuskustannuksiin liittyy niin monia muuttujia. Molempien jaloituspaikkamäärän kasvuskenaariolle saadaan muuttuvien kustannusten kasvukertoimmeksi 1,19 neliömetriä kohden.

Molemmissa jaloituspaikkojen lisäämisen skenaariossa kiinteän kustannuksen lisäys on jaloitustarvikkeiden eli kuormajalkojen ja pankkojen tarkastukset ja huollot. Uuden nosturialueen jaloitustarvikkeiden tarkastus ja huolto on tuhat euroa ja betonimurskausalueen vastaava lukema on 3 tuhatta euroa. Betonimurskausalueen hyödyntämisessä tulee myös kustannus betonimurskauksen siirtämisestä pois tehdasalueelta. Tämän arvioidaan lisäävän kiinteitä kustannuksia noin 200 tuhatta euroa.

Jalkakuormien lisääntyvä tekeminen nostaa muuttuvien kustannusten lisäksi myös tehtyjen työtuntien kautta taajuutta kohdata vaaratilanne. Sitä on hankala arvioida muuttaako jalkakuormien määrän kasvu riskien seurauksissa. Tämän oletetaan pysyvän samana, koska nykyisinkin tehdään jo jalkakuormia. Kiireen läsnäolo vähenee kasvavan lastauskapasiteetin myötä. Tapaturmariski täten alenee tästä näkökulmasta katsottuna.

9.4 Lukkivaraston käyttöönottaminen

Lukkivarastoinnin käyttöönottaminen sisältää skenaarioista eniten epävarmuutta niin operatiivisen toiminnan tehokkuudessa kuin kustannusarvioiden suhteen. Myös turvallisuusnäkökulma on hankala arvioida. Kaikki saadut laskelmat perustuvat tapaustehtaan konsernin toisen tehtaan kokemuksista sekä tehtaan logistiikkavastaavan pitämän lukin käyttämisen esityksen materiaaliin.

Lukkikuormat varastoidaan kokonaisina kuormina pankkojen päällä peräkkäin jonomuodostelmassa, jonot noin 2,5 metrin välein toisistaan, jotta lukki mahtuu nostamaan jonosta kuorman kyytiinsä.

Toisen tehtaan esitelmän lukujen perusteella uuden nosturin alueelle lukkikuormia mahtuisi varastoimaan 0,19 $TuM_{tavoite}$ tuotantoviikkoina. Lukkikuormien tekeminen betonimurskausalueelle tarkoittaisi 0,74 $TuM_{tavoite}$ tuotantoviikon määrää ontelolaattoja. Nykyisen varaston kapasiteettia nämä nostaisivat uuden nosturialueen tapauksessa 2,09, ja betonimurskausalueen vaihtoehdossa 2,64 $TuM_{tavoite}$ tuotantoviikkoon. Tästä voidaan päätellä, että lukkivarastoinnissa tulisi hyödyntää suurempi alue, että päästään vuoden 2022 varastonkierron tavoitetason yläpuolelle.

Lukkivarastoinnin lastauskapasiteetti riippuu käytössä olevien lukkien määrästä, joten jos lukkivarastointiin käytetään uuden nosturin alue tai betonimurskauksen alue, niin lastauskapasiteetti on sama. Tässä skenaariossa lasketaan, että käytössä olisi yksi lukki. Yhden lukin tuoma kasvu varaston lastauskapasiteettiin olisi 72 prosenttia. Tämä tarkoittaa lukkilastausten kattavan 67 prosenttia $KuM_{tavoite}: sta.$ Kokonaislastauskapasiteetin lukki nostaisi 161 prosenttiin $KuM_{tavoite}: sta.$ Kuukauden huippukysynnän kertoimella 1,2 saadaan 134 prosenttia, ja päivän huippukysynnän kertoimella 1,45 saadaan 111 prosenttia $KuM_{tavoite}: sta.$

Lukkivarastointiin tarvittava investointi koostuu tietenkin itse lukkinosturista, jolle kustannusarvio on 150 tuhatta euroa. Tämän lisäksi tehtaan ulosvetoratoja pitäisi muokata, jotta kuormat saataisiin siirrettyä lukilla suoraan. Tälle toimenpiteelle on hyvin hankala arvioida kustannusta, koska suoraa vertailukohtaa sille ei löydy. Varovaiseksi arvioksi käytetään 50 tuhatta euroa. Näiden lisäksi lukkivarastointi tarvitsee tasaisen ja sileän pinnan. Tämän toteuttaminen uuden nosturin alueella kustantaisi arviolta 70 tuhatta euroa ja betonimurskausalueelle noin 200 tuhatta euroa. Lisäksi lukkivarastointi vaatisi pankkoja lisää, joka uuden nosturin alueelle olisi noin 25 tuhatta ja betonimurskauksen alueelle noin 100 tuhatta euroa.

Lukkivarastoinnille on hankalinta laskea arviota muuttuvien kustannusten muutokselle, koska siitä ei ole kokemusta tehtaalta. Vertailua on hankala tehdä myöskään haastatellun tehtaan tietojen pohjalta, koska tarvittavaan työmäärän vaikuttaa hyvin paljon lukin lopulliset ominaisuudet esimerkiksi nopeus sekä lukkivaraston etäisyys ulosvetoradoista ja lastattavista autoista. Lukkivarastointi periaatteessa vähentää työtä varaston puolella, koska kuormien niput saapuvat kokonaisina, mutta työ hallin nostossa lisääntyy. Tämän vuoksi arvioidaan muuttuvien kustannusten pysyvän samana.

Kiinteä kustannus molemmille lukkivarastovaihtoehdoille on lukin huoltojen osalta noin viisi tuhatta euroa. Tämän lisäksi betonimurskauksen siirtäminen toisessa vaihtoehdossa toisi aiemmin mainitut 200 tuhannen euron kiinteät kulut.

Lukkivarastoinnin käyttöönottaminen arvioidaan lisäävän riskien seurausten vakavuutta. Tämä siksi, että siinä käsitellään kokonaisia kuormia eli liikutetaan suurempia massoja. Tämä tarkoittaa suurempaa vahinkoa, jos riski toteutuu. Lisäksi uuden varastointitavan ottaminen lisää epävarmuuden kautta riskiä, joten riskitaajuuden nähdään myös kasvavan. Lukkivarastointi kasvattaa lastauskapasiteettia runsaasti, joten kiireen aiheuttama tapaturma-alttius vähenee.

10. TULOKSET

Edellisessä luvussa muodostetut skenaariot taulukoidaan kolmesta näkökulmasta, eli operatiivisen toiminnan sujuvuus, kustannustehokkuus ja turvallisuus. Taulukoiden avulla vertaillaan skenaarioita toisiinsa. Vertailun jälkeen tehdään vielä SWOT-analyysi eri varastointitavoille. Näiden perusteella valitaan paras varastointitapaskenaario tapaustehtaalle.

10.1 Varastointiskenaarioiden vertailu toisiinsa

Parhaan skenaarion valinnassa verrataan skenaarioita kolmessa eri näkökulmassa. Ensimmäiseksi varastointiskenaarioita verrataan toiminnan operatiivisten mittareiden avulla, jotka koottuna taulukkoon 6. Taulukkoon on koodattu väreillä skenaarion sopivuus kyseisen mittarin perusteella. Varaston koon rajaksi valittiin vuoden 2022 varastonkierto eli 2,2 tuotantoviikkoa. Lastauksen rajaksi valittiin luonnollisesti se, että lastaukset riittävät 100-prosenttisesti kuormien sujuvaan lastaukseen. Taulukosta nähdään selkeästi, ettei nykyinen varasto riitä tulevaisuuden tarpeisiin.

Taulukko 6. *Varastointiskenaarioiden vertailu toiminnan operatiivisten mittareiden avulla (Tuotannon tavoitekapasiteetin luvuilla)*

Skenaario	Varaston koko tuotantoviikoissa	Lastausten onnistuminen keskiarvo-kuormamäärällä	Lastausten onnistuminen kuukausitason huippukysynnällä	Lastausten onnistuminen päivätason huippukysynnällä
Nykyinen varasto	1,9	94 %	78 %	65 %
Uusi nosturi	2,26	105 %	87 %	72 %
Jalkapaikat uuden nosturin alueelle	1,99	112 %	94 %	77 %
Jalkapaikat betonimurskausalueelle	2,18	191 %	159 %	132 %
Lukkivarasto uuden nosturin alueelle	2,09	161 %	134 %	111 %
Lukkivarasto betonimurskausalueelle	2,64	161 %	134 %	111 %

Taulukosta nähdään, että suurempi lukkivarastoskenaario on ainoa, joka täyttää kaikki kriteerit tästä näkökulmasta. Uuden nosturin rakentaminen toisi vaadittavan varastokoon, mutta lastauskapasiteetti riittäisi vain keskimääräisen toimituspäivän tarpeisiin. Kiireellisinä toimituspäivinä lastaukset tulisivat ruuhkautumaan. Jalkakuormaskenaarioiden

ja pienemmän lukkivaraston kohdalla ongelmana on erityisesti varaston koon jääminen liian pieneksi. Ajan myötä tämä muodostaisi pullonkaulan ontelolaattojen varastoinnissa.

Toisena näkökulmana varastointiskenaarioiden vertailussa on skenaarioiden kustannusvertailu. Tässä näkökulmassa värikoodausta käytettiin vain merkitsemään erityisen suuret lukemat investoinneissa ja kiinteiden kulujen kasvussa. Tämä siitä syystä, että kaikki kustannuslaskelmat perustuvat pitkälti arvioihin, joissa voi olla suuriakin heittoja todellisiin lukuihin, jos kaikkia kustannuksia ei ole osattu ottaa huomioon. Kustannusvertailun koonti esitelty taulukossa 7.

Taulukko 7. *Varastointiskenaarioiden vertailu arvioitujen kustannusten näkökulmasta*

Skenaario	Investoinnit (tuhatta €)	Muuttuvat kustannukset (kasvukerroin / m2)	Kiinteät Kustannukset (tuhatta €)
Uusi nosturi	600	1,14	20
Jalkapaikat uuden nosturin alueelle	75	1,19	1
Jalkapaikat betonimurskausalueelle	127	1,19	202
Lukkivarasto uuden nosturin alueelle	295	1	5
Lukkivarasto betonimurskausalueelle	500	1	205

Kuten taulukosta 7 nähdään, esille nousee uuden nosturin ja suuremman lukkivaraston investoinnit. Toisaalta katsomalla taulukkoa 6 nähdään, että nämä skenaariot ovat ainoat, jotka täyttävät vaatimuksen varaston koon suhteen. Toisin sanoen varaston koon kasvattaminen vaatii suuria investointeja. Kiinteissä kuluissa esille nousee betonimurskauksen siirrosta aiheutuvat kulut. Tämä on seurausta siitä, että tapaustehtaan tontti on hyvin ahdas. Tästä syystä lähialueiden kartoitus vuokrattavien tai ostettavien tonttien suhteen voisi olla kannattavaa. Jos alue on tarpeeksi lähellä, niin jalkakuormapaikkojen hyödyntäminen voisi olla kannattavaa siellä.

Viimeisenä näkökulmana varastointiskenaarioiden vertailussa on niiden vaikutus työturvallisuuteen ja tapaturmien todennäköisyyteen. Mittareissa arvioidaan skenaarion vaikutusta tapaustehtaan nykyiseen tilanteeseen verrattuna. Arvioinnissa otetaan huomioon vain varastoon liittyvä toiminta. Turvallisuusnäkökulman mittarit varastointiskenaarioista on koottu taulukkoon 8.

Taulukosta 8 nähdään, että turvallisuus ei juurikaan parane valittujen mittareiden näkökulmasta varastointiskenaarioissa. Ainoa paraneva asia on jalkakuormapaikkojen lisäämisessä ja lukkivarastoinnin käyttöönottamisessa tuleva kiireen väheneminen, mikä vähentää tapaturmariskiä.

Taulukko 8. *Varastointiskenaarioiden vertailu turvallisuuden näkökulmasta*

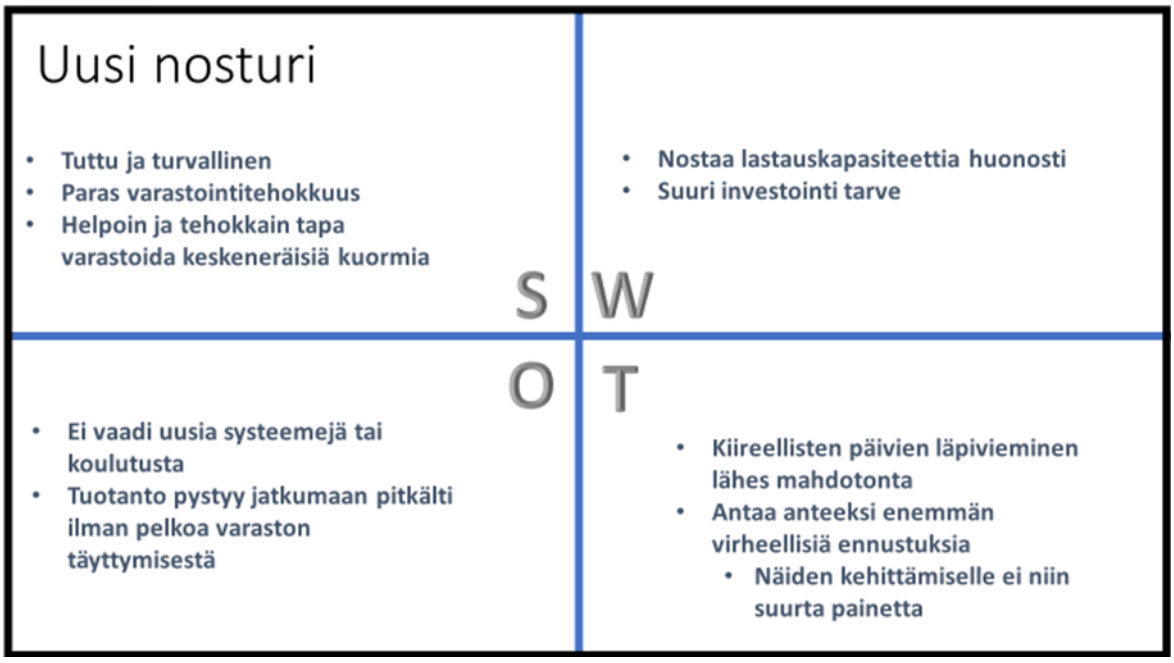
Skenaario	Riskien seuraus	Riskien taajuus	Kiireen vaikutus turvallisuuteen
Uusi nosturi	Ennallaan	Kasvaa tuotannon mukaan	Kasvaa
Jalkapaikat uuden nosturin alueelle	Ennallaan	Kasvaa suuremmaksi / m2	Vähenee
Jalkapaikat betonimurskausalueelle	Ennallaan	Kasvaa suuremmaksi / m2	Vähenee
Lukkivarasto uuden nosturin alueelle	Kasvaa	Kasvaa suuremmaksi / m2	Vähenne
Lukkivarasto betonimurskausalueelle	Kasvaa	Kasvaa suuremmaksi / m2	Vähenee

10.2 Varastointiskenaarioiden SWOT-analyysi

SWOT-analyysi on laajasti käytetty nelikenttäanalyysi, jolla arvioidaan tilanteen tai tässä tutkimuksessa vaihtoehtojen sisäisiä vahvuuksia (Strengths) ja heikkouksia (Weaknesess) sekä ulkoisia mahdollisuuksia (Opportunities) ja uhkia (Threats) (Bensoussan ja Fleisher 2012). Analyysin luomisessa on käytetty lähdemateriaalina edellisen luvun mittareita ja tehtaalla tehtyjä havaintoja sekä lukkivaraston yhteydessä myös lukkivarastoinnista pidetyn esityksen materiaali.

Kuvassa 19 on uuden nosturin SWOT-analyysi. Suurimmat vahvuudet uuden nosturin rakentamisessa on sen tuoma suuri varastointitila. Lisäksi nosturivarastoinnilla on helpointa hallinnoida keskeneräisiä kuormia. Heikkouksina uuden nosturin rakentamisessa on pieni vaikutus lastauskapasiteetin nostamisessa. Lisäksi nosturin rakentaminen on suuri urakka, joka vaati isoa investointia.

Nosturin rakentamien voidaan nähdä olevan skenaarioista lähimpänä nykytilannetta. Tämän myötä se on vaihtoehto, jossa pysytään tutussa toimintatavassa. Eli ei tarvita uusia järjestelmiä. osaamista tai koulutusta uuden toimintatavan vuoksi. Lisäksi tämä turvaa tehokkaasti tuotannon jatkuvan toiminnan, sillä varaston ei pitäisi täyttyä, vaikka toimituksissa olisi hiljaisempaa ja tuotanto pyörisi täydellä teholla. Uhkana on selkeästi kiireellisten päivien ruuhkautuminen lastauksissa. Toinen uhka on, että suuri varasto antaa enemmän varaa huonoille kysyntäennustuksille. Tämä tarkoittaa pienempää painetta niiden tarkentumiselle, mikä voi johtaa, ettei niitä pyritä kehittämään niin suurilla tavoitteilla.



Kuva 19. Uuden nosturin rakentamisen SWOT-analyysi

Jalkakuormien lisäämisen skenaarion SWOT-analyysi on esitelty kuvassa 20. Tässä varastointiskenaariossa vahvuutena on sen suuri vaikutus lastauskapasiteetin nostossa. Tämä vähentää kiirettä lastauksissa ja vähentää siten myös tapaturmien todennäköisyyttä. Heikkoutena on jalkakuormien vähäinen vaikutus varaston koon kasvattamisessa.

Kuva 20. Jalkakuormien lisäämisen SWOT-analyysi

Jos jalkakuormia olisi käytössä suuremman jalkakuormaskenaarion verran, olisi lastauskapasiteetin puolesta mahdollista toimittaa kaikki kuormat jalkakuormilta. Tämä selkiyt-

täisi nosturivaraston ainoastaan välivarasto käyttöön, ja jalkakuormat olisivat selkeä lähtevien kuormien terminaali. Tämä voisi mahdollisesti tuoda tehostamismahdollisuuksia nosturivaraston käytössä. Tämä mahdollistaa myös sen, että jokainen kuorma tulisi tarkastettua toisen kerran laatuvirheiden varalta, kun se kiertäisi jalkakuormapaikan kautta. Uhkana tässä skenaariossa on jalkakuormapaikkojen heikko käyttöaste; Miten varmistetaan, että jalkakuormapaikat käytetään koko potentiaaliltaan. Lisäksi suuri määrä jalkakuormia aiheuttaa vaikeuden hallita sitä, missä mikäkin kuorma on jaloitettuna.

Kuva 21. Lukkivarastoinnin käyttöönottamisen SWOT-analyysi

Kuvassa 21 on esitelty lukkivarastoinnin käyttöönottamisen SWOT-analyysi. Lukkivarastointi olisi hyvä kompromissi jalkakuormapaikkojen lisäyksen ja uuden nosturin rakentamisen väliltä. Siinä on parhaassa tasapainossa varaston koon ja lastauskapasiteetin kasvaminen. Lukkivarastoinnissa toinen ei kasvaisi ylisuureksi, eli resursseja ei menisi siten hukkaan niin paljoa. Suurena heikkoutena on vaatimus valmiista kuormista, joiden pitäisi valmistua kerralla, jotta lukkivarastointi olisi tehokasta. Lisäksi uusi toimintatapa vaatii paljon opettelua ja koulutusta henkilöstölle. Myös suuret investoinnit ovat välttämättömät.

Lukkivarastoinnin avulla varastossa olisi uusi varastointisegmentti, joka voisi toimia päivittäisen kuormamäärävaihtelujen tasapainottajana. Kun kuormia lastataan paljon, lukki keskittyy lastaamiseen. Hiljaisimpina päivinä lukkia käytettäisiin enemmän varastoimaan lukkivarastoa valmiiksi kiireellisempiä päiviä varten. Uhkana lukkivarastoinnissa on uuden toimintatavan epävarmuudet. Etenkin tarkan suunnitelman puuttuminen, miten lukki hakee kuormat nosturivarastosta, on suuri epävarmuutta tuova asia. Sen toteutus voi vaikuttaa suuresti lukin käytön tehokkuuteen. Toinen uhkakuva on, että vaatimus val-

miista kuormista voi ajaa tehtaan tuotantokapasiteettia alas. Valmiiden kuormien pakonomainen tavoittelu voi laskea tehtaan tuotannon tehokkuutta. Koska valupetejä ei saada välttämättä tästä syystä hyödynnettyä täysimääräisesti.

10.3 Parhaan varastointiskenaarion valinta

Tarkastelemalla näiden kolmen näkökulman mittarikokonaisuutta ei yksikään skenaario ollut täydellinen valinta. Jokaisella skenaariolla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa mittareiden perusteella. Pääpaino tässä tutkimuksessa oli operatiivisen toiminnan mittareissa, jonka näkökulmasta paras vaihtoehto on suurempi lukkivarastoskenaario. Siinä skenaariossa täyttyy kriteerit niin varaston koon kuin lastauskapasiteetin suhteen. Lisäksi lukkivarastoinnissa on paras tasapaino varaston koon ja lastauskapasiteetin suhteen. Lukkivarastoinnissa nämä molemmat nousevat kohtuullisen hyvin. Jalkakuormapaikoissa lastauskapasiteetti nousee roimasti, mutta varaston koko ei niinkään. Nosturivarastolla vaikutus on päinvastainen verrattuna jalkakuormiin. Lukkivarastointi on tavallaan hyvä kompromissiratkaisu näiden kahden väliltä.

Epävarmuutena lukkivaraston skenaariossa on kuitenkin sen käytännön toteuttaminen. Ei ole täysin selvää, miten lukilla saadaan kuormat vietyä lukilla lukkivarastointialueelle. Lisäksi tämä vaihtoehto sisältää varmuudella paljon pieniä yksityiskohtia, joita ei tämän tutkimuksen laajuudessa ole otettu huomioon.

Jalkakuormien lisäämisen vaihtoehtoa puoltaisi tehtaan kokemus lastausten ruuhkautumisesta, sillä jalkakuormapaikat tuovat lastauskapasiteettia runsaasti lisää. Selkeästi tarvittava varaston laajennus ei ole kuitenkaan järkevää toteuttaa täysin jalkakuormapaikkojen lisäyksellä. Varaston koko ei tulisi olemaan riittävän iso. Siihen ei päästä suuremmallakaan jalkakuormapaikkojen lisäyksellä. Lisäksi se tuo suuren epätasapainon varaston koon ja lastauskapasiteetin välille, sillä lastauskapasiteettia on jopa yli tarpeen, mutta varaston koko jää vajaaksi.

Uuden nosturin skenaariossa ongelmana on lastauskapasiteetin riittämättömyys kiirepäivinä. Kaikilta muilta osin tämä skenaario vaikuttaisi varsin toimivalta tehtaan tarpeisiin. Kuitenkin tehtaan nykytilanteessa suurin ongelma on ollut lastauksien ruuhkautuminen kiirepäivinä. Uuden nosturin skenaariolla tämä ruuhkautumien tulisi vain pahentumaan, jos tuotantokapasiteetti nousee tavoitteeseen ja kiireellisten päivien lähtevien kuormien suhde keskimääräiseen kuormamäärään pysyy samankaltaisena.

Mittarien perusteella paras skenaario tapaustehtaan tarpeisiin on suurempi lukkivaraston käyttöönottaminen. Tämä kuitenkin sisältää paljon epävarmuuksia, jotka tulee selvittää tarkemmin ennen investointipäätöstä.

10.4 Optimoidun varastointiskenaarion laskeminen

Edellä luodut varastointiskenaariot luotiin tapaustehtaan tontilla olevan tilan perusteella. Tässä luvussa luodaan kuvitteellinen optimoitu varastoskenaario. Tässä lähtökohtana on uuden nosturin rakentaminen ja jalkakuormapaikkojen lisääminen betonimurskausalueelle tai läheiselle vuokramaalle. Ideana on laskea, kuinka paljon jalkakuormapaikkoja tarvitaan uuden nosturin lisäksi lisää, jotta lastauskapasiteetti riittää myös kiirepäivinä.

Uuden nosturin skenaarion lastauskapasiteetti päivätason huippukysyntäpäivänä oli kokonaisuudessaan 72 prosenttia. Eli vajaaksi täydellisestä lastauskapasiteetista jäädään 27 prosenttiyksikköä. Laskelmista nähdään, että 72 prosentista nosturilastausten osuus 46 prosenttiyksikköä ja jalkakuormapaikkojen 26 prosenttiyksikköä. Tästä voimme päätellä, että uuden nosturin lisäksi tarvitsee suunnilleen kaksinkertaistaa tehtaan jalkakuormapaikkojen määrä, jotta kaikista kiireisimmät toimituspäivät sujuvat ilman lastauksien ruuhkautumista.

Haasteena on löytää tila näille uusille jalkakuormapaikoille. Betonimurskausta ei ole järkevää siirtää tämän jalkapaikkamäärän takia. Tapaustehtaan lähialueita tulisikin tutkia tarkkaan löytyisikö sieltä sopivaa aluetta tälle määrälle jalkakuormapaikkoja.

11. JATKOTUTKIMUS SUOSITUKSET

Selkeänä jatkotutkimusaiheena on edellä mainittu optimaalisesti lasketun varastoskenaarion toteutettavuus. Etenkin tarvittavan maa-alan kartoittamisen muodossa. Jos tarvittava maa-ala löytyy läheltä, on se melko varmasti paras skenaario tapaustehtaan tarpeisiin.

Nosturivarastoinnin lastauskapasiteetti perustuu historiadataan. Hyödyllinen kehittämiskohde voisi olla tutkia, onko mahdollista parantaa yksittäisen nosturin lastauskapasiteettia. Onko olemassa toimintamalli, jolla lastaukset tehostuisivat. Nostureiden suurempi lastauskapasiteetin nousu tarkoittaisi vähempää määrää tarvittavia jalkakuormapaikkoja.

Jalkakuormapaikkojen käytössä on nykytilanteessa vajavuutta niiden koko potentiaaliin nähden. Nykytilanteessa eli vuoden 2022 tiedoilla jalkapaikat hyödynnettiin keskimäärin 68 prosenttisesti niiden potentiaaliin nähden. On siis tutkittava mitä se vaati, että jalkakuormapaikat saadaan hyödynnettyä paremmin. Tämä on hyvin tärkeä asia tapaustehtaan lastauskapasiteetin kannalta.

Lukkivarastoinnin suhteen on selvitettävä sen tarkka toimintamalli tapaustehtaan tapauksessa. Tarvitaan tarkat piirustukset ja suunnitelmat lukkivaraston pohjapiirroksesta. Lisäksi on selvitettävä, kuinka paljon tehdas pystyy valmistamaan kuormia valmiiksi kerralla. Tästä riippuu hyvin paljon se, onko lukkivarastointi kannattavaa.

Kokonaan itse tapaustehtaan varaston ulkopuolelta olisi syytä tutkia suunniteltujen toimituspäivien tarkkuutta. Suunniteltujen toimituspäivien virheellisyys muodosti vuonna 2022 jopa 67 prosenttia ontelolaattojen keskimääräisestä varastointiajasta. Suunniteltujen toimituspäivien tarkkuuden parantaminen vähentäisi tarvetta suuremmalle puskurivarastolle. Täten se vähentäisi myös varastoon sitoutuneen pääoman arvoa.

12. YHTEENVETO

Ontelolaattojen varastointi ja lastaus on omanlaisensa haaste ontelolaatan toimitusketjussa. Hankaluuden tuottaa tuote itsessään, joka saattaa olla jopa 16 metriä pitkä ja yli yhdeksän tonnia painava betoninen laatta. Pienimmillään ontelolaatta voi olla alle metrin pituinen ja painaa muutama sata kiloa. Variaatio erilaisista ontelolaatoista on valtava, sillä jokainen ontelolaatta on lähestulkoon uniikkiyksilö. Tämä asettaa haastetta varastonhallinnassa, koska juuri oikeat laatat täytyy olla oikeassa paikassa ja oikeaan aikaan. Jollei näin ole, asiakas reklamoi ja veloittaa ontelolaattojen odottelusta työmaan varaaman nosturin ja työvoiman verran kuluja.

Rushton et al. kirjoittavat logistiikan läpimenonaukosta, joka määrittä tarvittavan puskurivaraston. Logistiikan läpimenon aukko tarkoittaa aikaa, joka menee asiakkaan tilauksesta siihen, että tilaus on valmis toimitettavaksi. Mitä suurempi tämä aukko on, sitä suurempi on tarvittava puskurivarasto. Tätä läpimenon aukkoa kasvattaa muun muassa kysynnänvaihtelu, joka tapaustehtaalla on kuukausitasolla huipussaan 1,2-kertainen verrattuna keskimääräiseen kuukauteen. Päivätasolla kysyntähuippu on jopa 1,45-kertainen tavanomaiseen päivään verrattuna.

Toinen asia, joka tätä aukkoa kasvattaa on kysynnän ennustamisen epätarkkuus. Kysynnän ennustaminen ohjaa tehdasta tekemään oikeat tuotteet, oikeaan aikaan ja oikeassa järjestyksessä. Tapaustehtaalla vuonna 2022 tämä ennustus oli keskimäärin lähes 1,5 viikkoa ennen toteutunutta toimitusta. Eli tuotteet olivat tämän vuoksi varastossa 1,5 viikkoa turhaan viemässä varastotilaa. Tuotteiden kokonaisajasta varastossa olemisesta tämä virhe oli noin 67 prosenttia. Tämä aiheuttaa sen, että tarvitaan suuri puskurivarasto, että voidaan vastata asiakkaiden tilauksiin myös kysyntähuipuissa.

Tehtaalla varaston kokoakin enemmän huolta aiheutti lastausten ruuhkautuminen. Tutkimuksen laskelmien mukaan nykytilanteessa, jopa 14 prosenttia toimituspäivistä oli sellaisia, että lastauksissa alkoi muodostumaan suurta ruuhka, koska lastauskapasiteetti ei riitä vastamaan tarvittavaan lastausmäärään.

Tulevaisuudessa tapaustehtaalla on suunnitelmissa nostaa tuotantokapasiteettia, mikä tarkoittaa myös, että puskurivaraston tarvittava koko ja lastauskapasiteetin on kasvettava, jotta varasto pystyy toimimaan sujuvasti. Varastoa täytyy siis laajentaa. Tutkimuksessa muodostettiin eri skenaariovaihtoehtoja, miten varastoa voisi laajentaa. Hankaluutena oli rajallinen tila tapaustehtaan alueella. Skenaariot perustavat kolmeen erilaiseen

varastointitapaan, joista nosturivarastointi ja jalkakuormavarastointi ovat jo käytössä tapaustehtaalla. Kolmanneksi vaihtoehdoksi vertailuun otettiin lukkivarastointi, joka on ollut käytössä tapaustehtaan konserniin kuuluvalla tehtaalla, josta saatiin tarvittavia tietoja vertailun tekemisen. Skenaarioiden vertailuun valittiin kolme näkökulmaa: operatiivinen toiminta sisältäen varaston koon ja lastauskapasiteetin, kustannukset sekä vaikutus turvallisuuteen. Taulukkoon 9 on koottuna eri skenaarioiden tulokset näistä tarkastelluista näkökulmista.

Taulukko 9. *Koonti muodostettujen skenaarioiden tuloksista tarkastelluista näkökulmista*

Skenaario	Varaston koko	Lastaukset	Kustannukset	Turvallisuus
Uusi nosturi	Riittävä	Riittämätön	Mahdollinen	Neutraali
Jalkapaikat uuden nosturin alueelle	Riittämätön	Mahdollinen	Maltilliset	Paranee
Jalkapaikat betonimurskausalueelle	Riittämätön	Riittävä	Mahdollinen	Paranee
Lukkivarasto uuden nosturin alueelle	Riittämätön	Riittävä	Mahdollinen	Neutraali
Lukkivarasto betonimurskausalueelle	Riittävä	Riittävä	Mahdollinen	Neutraali

Koontitaulukosta nähdään, että lukkivarastoinnin käyttöönottaminen betonimurskausalueella on ainoa vaihtoehto, joka täyttää operatiivisen toiminnan näkökulmasta asetetut kriteerit. Tämän mittariston perusteella tapaustehtaan tulisi valita tämä skenaario varaston laajentamiseen. Toisaalta lukin käyttöön ottamisessa on niin paljon kysymysmerkkejä, että se vaati tarkempaa suunnittelua. Mittariston avulla voidaan kuitenkin perustellusti sanoa, että lukin käyttöönottaminen kannattaa ottaa tarkempaan suunnitteluun. Toisena vaihtoehtona tapaustehtaalla tulisi tarkastella vaihtoehtoa, jossa rakennetaan uusi nosturi ja lähialueelta vuokrataan tai hankitaan tontti, johon mahtuu tehtaan nykyinen määrä jalkakuormapaikkoja. Tämä skenaario täyttäisi myös operatiivisen toiminnan kriteerit.

Itse varastotoiminnan ulkopuolelta tapaustehtaan tulisi selvittää mahdollisuuksia parantaa kysynnän ennustettavuutta. Tulevaisuuden suurempi tuotantomäärä tarkoittaa suurempaa sitoutunutta pääomaa varastossa, jos ennuste on edelleen yhtä epätarkka. Lisäksi se hankaloittaa varaston hallintaa, kun varaston koko kasvaa hallitsemattomasti.

LÄHTEET

Baker, P. ja Canessa, M. (2009) 'Warehouse design: A structured approach', European Journal of Operational Research, 193(2), pp. 425–436. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.11.045.

Bensoussan, B.E. ja Fleisher, C.S., (2012). Analysis Without Paralysis: 12 Tools to Make Better Strategic Decisions. Pearson Education.

Betoniteollisuus ry. (2020). Johtokunnan kokous 1/2020. Pöytäkirja 3.3.2020. Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2020/11/Betoniteollisuus-ry-Johtokunta-poytakirja-1-2020-kokous-27.2.2020-liitteineen.pdf

Cai, L. and Zhu, Y. (2015) 'The Challenges of Data Quality and Data Quality Assessment in the Big Data Era', *Data science journal*, 14, pp. 2-. Saatavissa: https://doi.org/10.5334/dsj-2015-002.

Chen, J. Shangyao, Y. Hsing-Wei, T. ja Chao-Yu, C. (2017) Optimizing profit and logistics for precast concrete production - Document - Gale General OneFile. Saatavissa: https://go-gale-com.libproxy.tuni.fi/ps/i.do?p=ITOF&u=tampere&id=GALE|A497612160&v=2.1&it=r

Combilift. (2023). Nosturivalmistajan nettisivut. Verkkojulkaisu. Saatavissa: https://combi-lift.com/straddle-carrier-handling-precast-concrete/

Elematic. (2023). Valukoneiden valmistaja. Verkkojulkaisu. Saatavissa: https://www.elema-tic.com/product/extruder-p7/

Elementtisuunnittelu. (2023). Betoniteollisuus ry. Verkkojulkaisu. Saatavissa: https://www.ele-menttisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat

Ergen, E. ja Akinci, B. (2008) 'Formalization of the Flow of Component-Related Information in Precast Concrete Supply Chains', Journal of Construction Engineering and Management, 134(2), pp. 112–121. Saatavissa: https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:2(112).

Christopher, M. (2016) Logistics & Supply Chain Management, 5th Edition. FT Publishing International. x

De Koster, R.B.M., Johnson, A.L. ja Roy, D. (2017) 'Warehouse design and management', International Journal of Production Research, 55(21), pp. 6327–6330. Saatavissa: https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1371856.

Hatmoko, J.U.D. et al. (2019) 'Managing risks of precast concrete supply chain: a case study', in MATEC Web of Conferences. Les Ulis, France: EDP Sciences. Saatavissa: https://doi.org/10.1051/matecconf/201927005004.

Hytönen, Y. ja Seppänen, M. (2009) Tehdään elementeistä. Suomalaisen betonielementtirakentamisen historia. Gummerus Kirjapaino, Jyväskylä, Suomi

Ingrao, C. et al. (2014) 'Life Cycle Inventory analysis of a precast reinforced concrete shed for goods storage', Journal of Cleaner Production, 79, pp. 152–167. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.030.

Kembro, J.H., Norrman, A. ja Eriksson, E. (2018) 'Adapting warehouse operations and design to omni-channel logistics: A literature review and research agenda', International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 48(9), pp. 890–912 Saatavissa: https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2017-0052.

Kivifaktaa. (2023). Kivirakentamisen järjestönettisivusto. Verkkojulkaisu. Saatavissa: https://kivifaktaa.fi/suomea-rakentamassa/betonielementit/

Kong, L. et al. (2018) 'Sustainable performance of just-in-time (JIT) management in time-dependent batch delivery scheduling of precast construction', Journal of Cleaner Production, 193, pp. 684–701. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.037.

Kovács, G. ja Spens, K.M. (2005) 'Abductive reasoning in logistics research', International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. Edited by R. van Hoek and H. Aronsson, 35(2), pp. 132–144. Saatavissa: https://doi.org/10.1108/09600030510590318.

KvantiMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Aineistotyypit. Verkkojulkaisu. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Saatavissa: https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/tutkimus/aineistotyypit.html

Lee, Y.W. et al. (2002) 'AIMQ: a methodology for information quality assessment', Information & Management, 40(2), pp. 133–146.Saatavissa: https://doi.org/10.1016/S0378-7206(02)00043-5.

Liu, D. et al. (2020) 'Real-Time Optimization of Precast Concrete Component Transportation and Storage', Advances in Civil Engineering, 2020, p. e5714910. Saatavissa: https://doi.org/10.1155/2020/5714910.

Logistiikan maailma. (2023). Verkkosivusta Reijo Rautaoman säätiö. Verkkojulkaisu. Saatavissa: https://www.logistiikanmaailma.fi/kuljetus/maantiekuljetus/mitat-ja-painot/

Logistiikkavastaava tapaustehtaan konsernin toisella tehtaalla. (2022). Lukkivarastointiesitelmän materiaali.

Nical, A. ja Anysz, H. (no date) The quality management in precast concrete production and delivery processes supported by association analysis | SpringerLink. Saatavissa: https://link-springer-com.libproxy.tuni.fi/article/10.1007/s13762-019-02597-9

Marasini, R., Dawood, N.N. ja Hobbs, B. (2001) 'Stockyard layout planning in precast concrete products industry: a case study and proposed framework', Construction Management & Economics, 19(4), pp. 365–377. Saatavissa: https://doi.org/10.1080/01446190110035636.

Martinsuo, M., Mäkinen, S., Suomala. P. ja Lyly-Yrjänäinen, J. (2016). Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa. 1. painos. Helsinki: Edita.

Okoli, C. (2021) 'Inductive, Abductive and Deductive Theorizing'. Rochester, NY. Saatavissa: https://doi.org/10.2139/ssrn.3774317.

Phan, T. ja Athigakunagorn, N. (2022) 'Discrete-event simulation-based decision making of Just-In-Time strategies for precast concrete supply chain using batch delivery and offsite inventory level', Uncertain Supply Chain Management, 10(3), pp. 679–692.

Rakentaja.fi. (2023). Verkkojulkaisu. Saatavissa: https://www.rakentaja.fi/artikkelit/3903/parma_ontelolaatta.htm

Reitouner. (2023). Perävaunuvalmistajan nettisivut. Verkkojulkaisu. Saatavissa: https://reitnouer-trailers.com/trailer/b-trains/

Rushton, A., Croucher, P. ja Baker, P. (2017) The Handbook of Logistics and Distribution Management: Understanding the Supply Chain. London, UNITED KINGDOM: Kogan Page, Limited. Saatavissa: http://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=4775023

Saaranen-Kauppinen, A. ja Puusniekka, A. 2006. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Verkkojulkaisu. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Saatavissa: https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/

Salminen, S. ja Perttula, P. (2015) Työterveyslaitos. Kiire lisää työtapaturmariskiä. Helsinki. Verkkojulkaisu. Saatavissa: https://julkari.fi/bitstream/handle/10024/125721/Kiire_lisaa_tyotapaturmariskia.pdf?sequence=1

Saunders, M., Lewis, P. ja Thornhill, A. (2019) Research Methods for Business Students. Harlow, UNITED KINGDOM: Pearson Education, Limited. Saatavissa: http://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=5774742

SDC Trailers. (2023). Perävaunuvalmistajan nettisivut. Verkkojulkaisu. Saatavissa: https://www.sdctrailers.com/products/range/platform-range

Son, P.V.H. ja Hieu, H.T. (2021) 'Logistics model for precast concrete components using novel hybrid Ant Lion Optimizer (ALO) algorithm', International Journal of Construction Management, 0(0), pp. 1–11. Saatavissa: https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1985776.

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2022. Työtapaturmat. Palkansaajien työtapaturmataajuus aleni 26,5 % vuonna 2020. Verkkojulkaisu. ISSN=1797-5999. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: https://stat.fi/julkaisu/ckv0lnqq81jt00c09whvszuci

Tieliikennelaki. (2022). Liikenne- ja viestintäministeriön asetus autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista. 19.12.2002/1248. Saatavissa: https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20021248

Traficom. (2019). Uusi tieliikennelaki ja rekkojen käyttösäännöt. Traficomin julkaisuja 10/2021. Saatavissa: https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Uusi%20tieliikennelaki%20ja%20rekkojen%20k%C3%A4ytt%C3%B6s%C3%A4%C3%A4nn%C3%B6t.pdf

Turvapuisto. (2023). Työturvallisuuden koulutusrata. Verkkojulkaisu. Saatavissa: https://www.turvapuisto.fi/rastit/20317/elementin-kiinnittaminen-kuljetuslavetille?groupid=1591

Valtiovarainministeriö. (2017). VM 22/2017 Ohje riskienhallintaan LIITTEET 1 – 6. Julkisen hallinnon digitaalisen turvallisuuden johtoryhmä (VAHTI). Verkkojulkaisu. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80013/Liitteet_VM22_2017.pdf

Valtiovarainministeriö. (2022). Rakentaminen 2022–2023, Syksy 2022, Talousnäkymät. Valtiovarainministeriön julkaisuja – 2022:56. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164307/VM_2022_56.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Wang, Z., Hu, H. ja Gong, J. (2018) 'Framework for modeling operational uncertainty to optimize offsite production scheduling of precast components', Automation in Construction, 86, pp. 69–80. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.026.

LIITE A: TOIMINNANOHJAUSJÄRJESTELMÄN DATAKOKOELMIEN ESITTELY

Taulukko 10. *Rahtikirja datakokoelman tietueet ja niiden ominaisuuksia*

Tietosolu	Tyyppi	Yksikkö	Automaattinen / Manuaalinen
Lähetenumero	numero	järjestysnumero	automaattinen
Toimituspäivä	päivä-määrä	dd.mm.yyyy	automaattinen
Massa	numero	kilogramma	automaattinen
Elementtien määrä	numero	kappaletta	automaattinen
Myöhäisin valupäivä	päivä-määrä	dd.mm.yyyy	automaattinen
Varastopaikat	numero	varastopaikan numero	manuaalinen
Matka	numero	kilometri	manuaalinen
Suunniteltu lastausaika	kellonaika	hh:mm	manuaalinen
Toteutunut lastauksen aloitus	kellonaika	hh:mm	manuaalinen
Toteutunut lastauksen lopetus	kellonaika	hh:mm	manuaalinen
Tilattu purkuaika	kellonaika	hh:mm	manuaalinen
Toteutunut purun aloitus	kellonaika	hh:mm	manuaalinen
Toteutunut purun lopetus	kellonaika	hh:mm	manuaalinen
Odotusaika tehtaalla	kellonaika	minuuttia	manuaalinen
Odotusaikatyömaalla	kellonaika	minuuttia	manuaalinen
Odotusmaksu tehtaalla	numero	euro	automaattinen
Odotusmaksu työmaalla	numero	euro	automaattinen
Huomautuskenttä	teksti	teksti	manuaalinen

Taulukko 11. *Elementtiluettelo datakokoelman tietueet ja niiden ominaisuuksia*

Tietosolu	Tyyppi	Yksikkö	Automaattinen / Manuaalinen
Lähetenumero	numero	järjestysnumero	automaattinen
Elementin tunnus	teksti	tunnusnumero	automaattinen
Elementin tuotetyyppi	teksti	tyyppinumero	automaattinen
Elementin pituus	numero	millimetri	automaattinen
Elementin leveys	numero	millimetri	automaattinen
Elementin paino	numero	kilogramma	automaattinen
Elementin suunniteltu toimitus-päivä	päivä-määrä	dd.mm.yy	automaattinen
Elementin toimituspäivä	päivä-määrä	dd.mm.yy	automaattinen
Elementin valupäivä	päivä-määrä	dd.mm.yy	automaattinen
Elementin suunnittelupäivä	päivä-määrä	dd.mm.yy	automaattinen