TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JALMARI KETTULA

RASKAAN SISÄLOGISTIIKAN KEHITTÄMINEN UUTEEN TOIMITILAAN

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Hasse Nylund

TIIVISTELMÄ

Jalmari Kettula: Raskaan sisälogistiikan kehittäminen uuteen toimitilaan
Tampereen teknillinen yliopisto
Kandidaatintyö, 43 sivua
Maaliskuu 2018
Tekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Kone- ja tuotantotekniikka
Tarkastaja: Hasse Nylund

Avainsanat: Logistiikka, Sisälogistiikka, Siirtolaite, Raskaat siirrot

Tämä kandidaatintyö käsittelee eräälle kohdeyritykselle tehtyä toimeksiantoa, jossa tarkoituksena on vertailla ja selvittää, minkälaisia mahdollisuuksia ja vaihtoehtoja on olemassa raskaiden, noin 3-20 t painoisten koneenrunkojen ja koneiden siirtelemiseen nosturisiirtojen välillä sisätiloissa. Ongelmana on se, että yrityksen uudessa toimitilassa kattosiltanostureilla ei pystytä siirtämään runkoja kohteisiin ilman, että nosturia välillä vaihdettaisiin. Tarkoituksena on etsiä linkkejä nosturien välille. Teoriaosuus on kirjallisuuskatsaus hankinnan takana oleviin teemoihin, kuten investointiin ja hankintaan, logistiikkaan, sekä valmistustekniikkaan ja layoutiin tuotantojärjestelmän suunnittelun näkökulmasta.

Työssä muun muassa haastateltiin tuotantoyksikön henkilöstöä heidän mielipiteistään siirtolaitteista ja ehdottomasti suosituin mielipide oli ”mahdollisimman yksinkertainen ja helppo ratkaisu”. Tavoitteena oli löytää mahdollisimman matala, kantava sekä turvallinen ratkaisu. Työssä käytettiin hyväksi kohdeyrityksen aineistoja ja tavarantoimittajilta sekä suoraan että internetin kautta saatuja laitespesifikaatioita ja aineistoja.

Tuloksena saatiin neljä erilaista siirtotapaa, jotka ovat nostosiirtovaunujärjestelmä, ilmatyynyvaunu, koneensiirtorullasto sekä matala koneensiirtolavetti. Kohdeyrityksen siirtotapauksessa päädyttiin siihen, että paras ratkaisu on käyttää linkkinä nosturisiirtojen välillä toisessa paikassa koneensiirtorullastoja eli haalausrullia ja toisessa paikassa koneensiirtolavettia sekä haalausrullia.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. ESITIEDOT JA TYÖN TAUSTAT 2
2.1 Yrityksen kuvaus 2
2.2 Ongelmien kuvaus 3
2.2.1 Layout uudessa toimitilassa 3
2.2.2 Siirtolaitetta rajoittavat tekijät 8
3. KIRJALLISUUSKATSAUS 10
3.1 Investointi ja hankinta 10
3.2 Logistiikkajärjestelmät 11
3.3 Valmistustekniikka ja layout tuotantojärjestelmien suunnittelussa 13
3.3.1 Valmistustekniikka 13
3.3.2 Layout 14
4. SIIRTOTAPAEHDOTUKSET 17
4.1 Nostosiirtovaunujärjestelmä 17
4.1.1 Toimittajan 1 ehdottamat tuotteet 18
4.1.2 Nostosiirtovaunujärjestelmän käytettävyys kohdeyrityksessä 19
4.1.3 Vaunu 2:n käytettävyys kohdeyrityksessä 22
4.2 Ilmatyynyvaunu 24
4.2.1 Ilmatyynyvaunujärjestelmä 25
4.2.2 Toimintaympäristön vaatimukset 27
4.2.3 Ilmatyynyvaunujen käytettävyys kohdeyrityksessä 29
4.3 Koneensiirtorullastot 30
4.3.1 Rullastotyyppejä 30
4.3.2 Rullastojen sopivuus käyttötarkoitukseen 33
4.4 Koneensiirtolavetti 34
4.4.1 Toimittajan 2 tarjoama koneensiirtolavetti 36
4.4.2 Koneensiirtolavetin sopivuus käyttötarkoitukseen 36
5. PÄÄTELMÄT 38
5.1 Tulosten esittely ja päätelmät 38
5.2 Omat ehdotukset 39
6. YHTEENVETO 41
7. LÄHTEET 42

1. JOHDANTO

Logistiikalla tarkoitetaan yrityksen materiaalivirran järjestelmällistä hallintaa. Sisälogistiikka käsittää tehtaan sisällä tapahtuvan materiaalivirran hallinnan eli käytännössä kaiken tuotannonohjauksen materiaalisuunnittelusta varastotoimintoihin. Yleisesti logistiikka -termillä viitataan kuitenkin fyysisesti tapahtuviin toimintoihin, kuten tavaran kuljettamiseen ja siirtelyyn. Tässäkin tapauksessa sisälogistiikka -termillä viitataan tehtaan sisäiseen, fyysiseen materiaalivirran hallintaan ja materiaalin siirtelyyn.

Kandidaatintyö tehdään suomalaiselle, globaalisti toimivalle italialaisomistuksessa olevalle levytyöjärjestelmävalmistajalle. Kyseinen yritys toimii nykyään Kauhavalla, mutta on muuttamassa täysin uuteen toimitilaan Seinäjoelle kesän 2018 aikana. Tehtaassa valmistetaan levytyöjärjestelmiä ja niiden osakokonaisuuksia. Yrityksellä itsellään ei ole koneistuskapasiteettia, vaan valmistus tapahtuu pelkästään alihankkijoiden toimittamia osia viimeistelemällä ja kokoonpanemalla.

Kohdeyrityksen rakenteilla olevan uuden toimipaikan layout on hyvin erilainen verrattuna vanhan tehtaan layoutiin. Suurimpana erona on se, että uusi tehdaskiinteistö koostuu vain yhdestä tehdashallista, eikä kahdesta pienemmästä hallista, kuten vanhassa tehdaskiinteistössä. Uuden layoutin myötä ongelmaksi tulee vierekkäiset nosturilinjat ja niiden välinen materiaalin siirtely. Myös maalaamossa nosturi aiheuttaa ongelman, sillä maalaamon nosturilla ei pysty siirtämään maalattuja koneenrunkoja tuotantotilan puolelle. Tarkoituksena on sekä etsiä että vertailla vaihtoehtoja, joilla näitä siirtoja pystyttäisiin tekemään.

Tarkoituksena ei ole itse kilpailuttaa tavarantoimittajia, vaan työn aikana löytyviä mahdollisuuksia esitellään vakituiselle henkilöstölle, joka suorittaa tarjouspyynnöt ja kilpailutuksen tarvittaessa. Koska tarkoituksena ei ole itse varsinaisesti suunnitella ja kehittää kokonaan uutta tapaa suorittaa raskaita siirtoja, on aiheellista etsiä yrityksiä, jotka valmistavat yksittäisiä tai jopa kokonaisvaltaisia ratkaisuja tehtaan logistiikkaan.

Työn alussa esitellään kohdeyrityksen historiaa, sekä kuvataan tutkimusongelmat tarkemmin. Kolmas luku on teoriaosuus, jossa käsitellään lyhyesti logistiikan, layoutin sekä investoinnin käsitteitä teoriapohjalta. Neljäs luku keskittyy esittelemään siirtotapoja, joista on yhteenveto ja päätelmät viidennessä luvussa. Kuudes luku sisältää koko työn läpikäyvän yhteenvedon.

2. ESITIEDOT JA TYÖN TAUSTAT

2.1 Yrityksen kuvaus

Kohdeyritys on Etelä-Pohjanmaalla, Kauhavalla toimiva ohutlevytyöstökoneita valmistava yritys, joka kuuluu italialaiseen, Milanon pörssissä noteerattuun konserniin. Konserni jakaantuu kahteen divisioonaan, joista toinen divisioona keskittyy lasertekniikkaan ja elektroniikkasysteemeihin ja toinen divisioona keskittyy levytyöjärjestelmiin.

Kohde yritys tunnetaan maailmalla joustavista ja modulaarisista levytyöjärjestelmistä, joiden ohutlevyn työstömekanismeja ovat taivutus, 2D- ja 3D-lasertyöstö, lävistäminen, leikkaaminen ja puristaminen (Prima Power 2017a). Konsernin levytyökeskuksia valmistavia tehtaita on Yhdysvalloissa, Italiassa, Suomessa sekä Kiinassa (Prima Power 2017c). Kauhavalla tapahtuva kokoonpanotoiminta keskittyy lävistäviin ja leikkaaviin levytyökeskuksiin sekä automaattisiin materiaalinkäsittelylaitteisiin, jotka esimerkiksi käsittelevät raakalevyä ja valmiita, jo työstettyjä osia (Prima Power 2017a).

Jorma Lillbacka perusti vuonna 1969 Lillbackan konepajan Alahärmään alihankkijaksi suuremmille yrityksille. Yrityksen perusta on 1970-luvulla, jolloin Lillbacka lanseerasi oman tuotemerkin ja alkoi kehittämään letkuliitinpuristimia Alahärmässä. Lillbackan konepaja nousi nopeasti yhdeksi johtavista letkuliitospuristimien valmistajista. (Taijonlahti 1997)

1980-luvun aikana toiminta kasvoi entisestään ja kohdeyritys esitteli ensimmäisen levytyökeskuksensa. Vuonna 1984 otettiin käyttöön Kauhavan kokoonpanotehdas, joka on toiminnassa kesään 2018 asti. 1980-luvun aikana kohdeyrityksen keskittyminen alkoi siirtymään levytyökeskusten valmistamiseen ja kehittämiseen, joihin otettiin käyttöön muun muassa CNC-ohjaus. (Taijonlahti 1997)

Levytyökeskuksiin kehitettiin monipuolisia oheislaitteita, kuten lajittelu- ja varastoimisratkaisuja. Joustavien automaattisten valmistusjärjestelmien toimitus alkoi muodostaa valtaosan toimituksista, minkä johdosta kohdeyritys kohosi yhdeksi maailman johtavista levytyöjärjestelmien toimittajista. Kokoonpanotoiminta levisi Chicagoon, Yhdysvaltoihin asti. (Taijonlahti 1997)

1990-luvun aikana toiminta keskittyi yhä enemmän levytyökeskuksiin letkuliitinpuristimien sijaan ja joustavien valmistusjärjestelmien (FMS ja FMU) merkitys kasvoi entisestään useiden laajojen FMS-järjestelmien toimitusten ansiosta. FMS-järjestelmien myötä esiteltiin modulaarinen kokonaisen levytyötehtaan FMS-järjestelmä, ja useita uusia koneita ja konesarjoja tuotiin markkinoille. (Taijonlahti 1997)

Vuonna 2002 Jorma Lillbacka myi levytyöteknologiaan liittyvän liiketoimintansa ruotsalaisomistuksessa olevalle sijoitusyhtiölle. Kohdeyritys oli sijoitusyhtiön omistuksessa vuoteen 2008 asti, jolloin yhtiö myytiin italialaiselle teollisuuskonsernille. 2010-luvun suurin muutos toiminnassa tulee olemaan vuonna 2018 tapahtuva Kauhavan toiminnan siirto Seinäjoelle täysin uuteen toimitilaan.

2.2 Ongelmien kuvaus

2.2.1 Layout uudessa toimitilassa

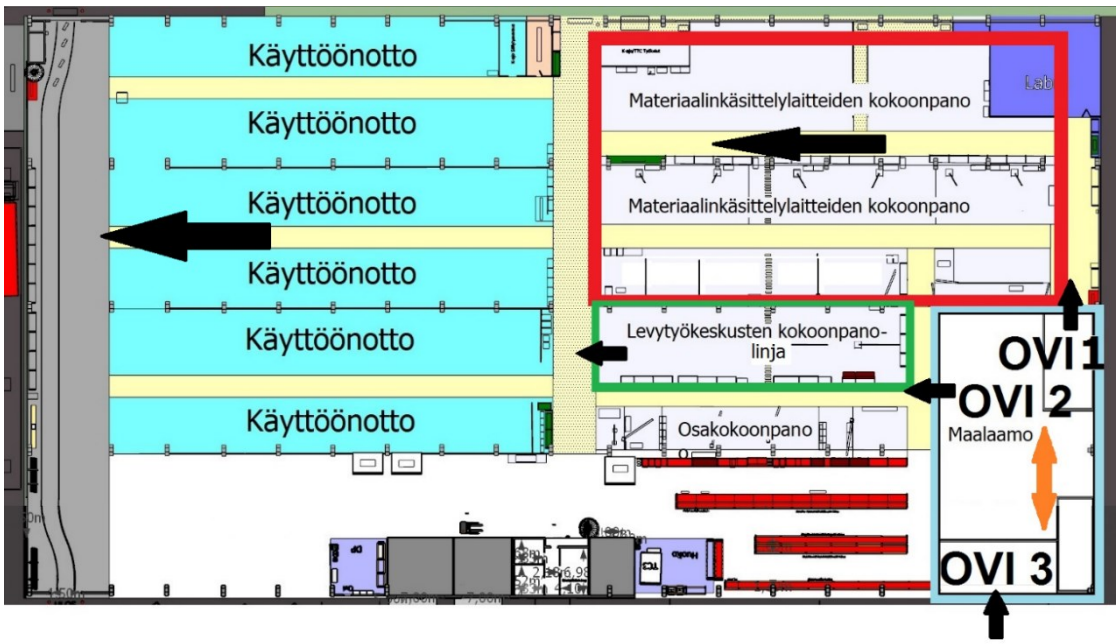
Nykyinen toimitila eroaa uudesta siten, että uudessa toimitilassa tehtaan pääalueet, käyttöönottoalue ja kokoonpanoalue ovat peräkkäin. Vanhassa tehtaassa kokoonpanoalue ja käyttöönottoalue ovat kaksi vierekkäin olevaa hallia, jotka on yhdistetty käytävällä.

Tehtaassa tapahtuva kokoonpanotoiminta voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan, levytyökeskusten kokoonpanoon sekä materiaalinkäsittelylaitteiden kokoonpanoon. Materiaalinkäsittelylaitteiden eli esimerkiksi leikatun levyn rankoja tai leikattuja paloja käsittelevien koneiden kokoonpano tapahtuu kuvassa 1 punaisella rajatulla alueella. Materiaalinkäsittelylaitteiden kokoonpanon läpimenoajat ovat usein levytyökeskuksia pidempiä, joten ne kokoonpannaan omissa soluissaan.

Levytyökeskukset eli ohutlevyä leikkaavat ja lävistävät laitteet kokoonpannaan kuvassa 1 vihreällä värillä rajatulla alueella tuotantolinjamaisesti niiden suuremman tuotantomäärän vuoksi. Tuotannon kulkusuunta on tehtaan suunnassa pitkittäin eli kuvassa 1 oikealta vasemmalle. Kokoonpano tapahtuu lattialla olevien, noin 20 cm korkeiden alustojen päällä, joihin kone kiinnitetään työvaiheen ajaksi.

Uudessa toimitilassa maalaamo on erilainen verrattuna vanhaan toimitilaan. Uuden toimitilan maalaamossa on käytössä yksi kattosiltanosturi, jonka kulkusuunta on poikittain kokoonpanotilan kattosiltanostureihin nähden.

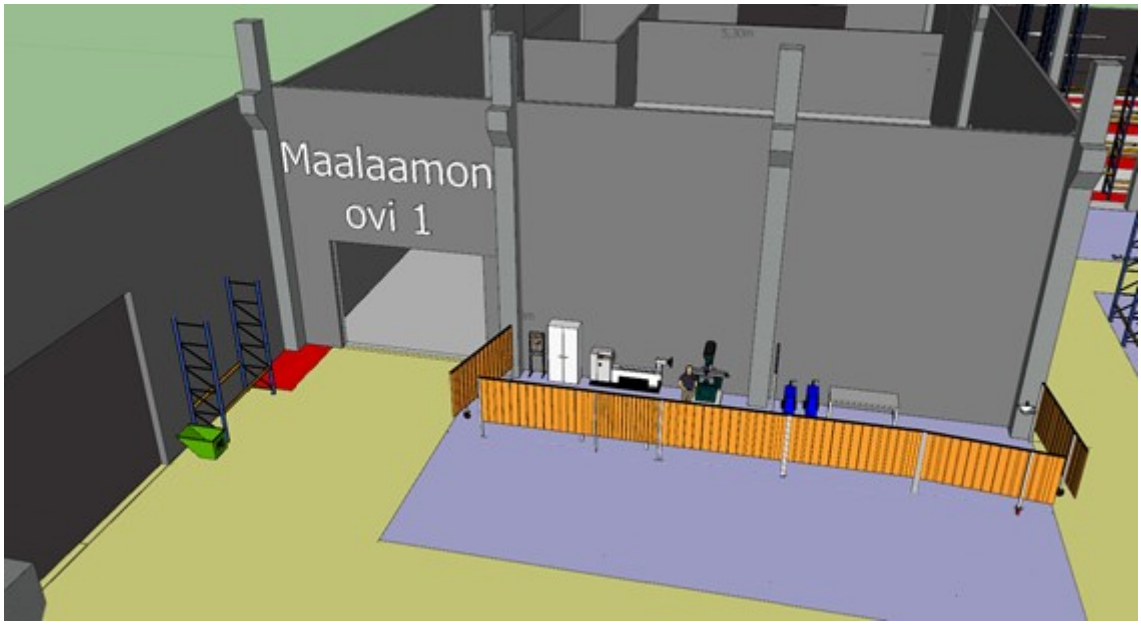
Kuvassa 1 maalaamo on rajattu vaaleansinisellä suorakulmiolla ja maalaamon kattosiltanosturi kulkee oranssin nuolen suuntaisesti. Maalaamo ja kokoonpanotila on erotettu seinällä, josta maalaamon nosturilla ei pysty ajamaan läpi, kuten nykyisessä kokoonpanotilassa. Nosturin rajoitteet aiheuttavat ensimmäisen ongelman: maalattujen runkojen siirtämisen maalaamosta tuotantoon ovien 1 ja 2 kautta turvallisesti ilman turhia nostoja.



Kuva 1. *Tehtaan pohjapiirros. Materiaalivirrat mustien nuolien mukaisesti (Mukaillen lähdettä Prima Power 2017b).*

Kuvaan 1 on merkitty myös ovi 3, josta maalattavat rungot ja osat tuodaan maalaamoon sisään. Tämän oven läpi runkojen siirtely itsessään ei ole ongelma, mutta mitä yhteensopivampi sisällä käytettävä siirtolaite on ulkona tapahtuvan siirtelyn kanssa, sen parempi.

Kuvissa 2 ja 3 näytetään 3D-kuvina ovet 1 ja 2 maalaamosta kokoonpanotilaan, ja ovista rungot on tarkoitus kuljettaa maalaamosta kokoonpanotilaan. Kuvassa 2 näkyy ovi 1, josta kuljetetaan materiaalinkäsittelylaitteiden rungot ja osat sekä levyleikkureiden rungot. Kuvassa 3 näkyy ovi 2, josta kuljetetaan levytyökeskusten rungot tuotantolinjalle. Ovien edessä näkyvät maalaamon puskurit, joihin maalatut rungot tuodaan jäähtymään maalauksen jälkeen ja odottamaan omaa kokoonpanovuoroaan, jos työpisteellä tai tuotantolinjalla ei ole tilaa silloin, kun maalattu runko tuodaan pois maalaamosta.



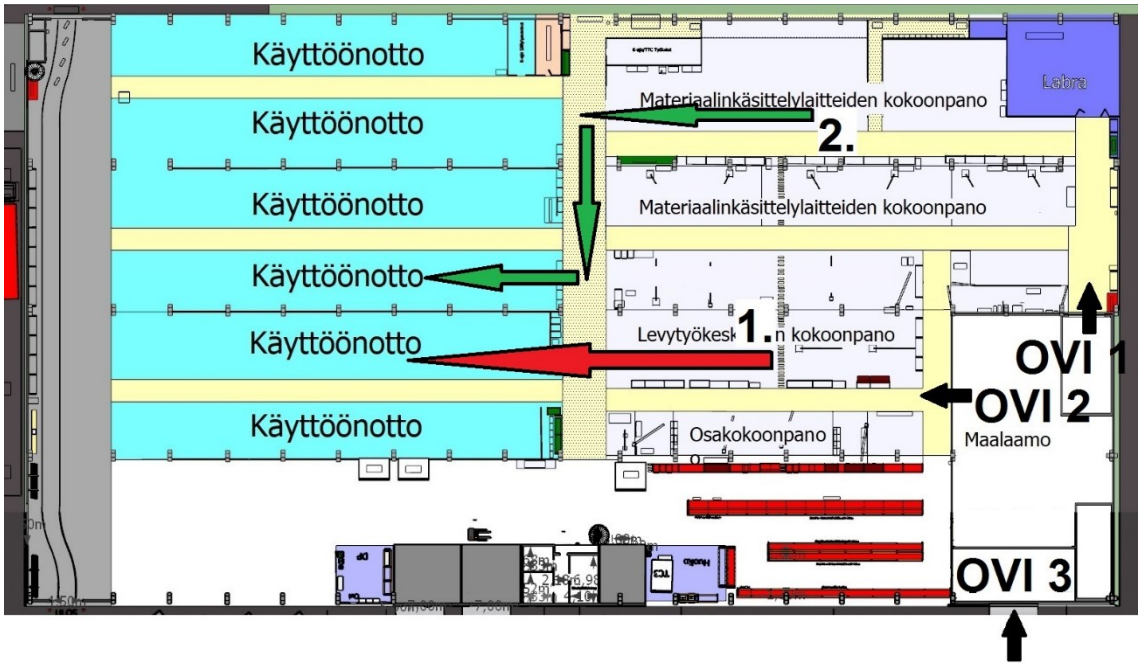
Kuva 2. *Havainnekuva maalaamon materiaalinkäsittelylaitepuolen ovesta (Mukaillen lähdettä Prima Power 2017b).*

Kuva 3. *Havainnekuva maalaamon ovesta (tuotantolinjan puoli) (Mukaillen lähdettä Prima Power 2017b).*

Kun laitteen kokoonpano saadaan valmiiksi, siirretään se kokoonpanotilasta käyttöönottotilaan testikäynnistämistä varten. Toinen ongelma ilmenee valmiiden koneiden ja materiaalinkäsittelylaitteiden siirtelyssä kokoonpanoalueen ja käyttöönottoalueen välisellä käytävällä. Nämä siirrot tapahtuvat poikittaissuunnassa tuotannon pääasialliseen kulkusuuntaan nähden.

Koska tehtaassa kulkee kolme kattosiltanosturilinjaa tuotantolinjojen suuntaisesti, täytyy löytää ratkaisu tilanteeseen, jossa konetta täytyisi liikuttaa käytävän suuntaisesti eri nosturilinjojen välillä. Ideaalitilanteessa valmiit laitteet voitaisiin kuvan 4 punaisen nuolen

(nuoli 1) mukaisesti siirtää tuotantolinjaa vastaavalle käyttöönottolinjalle. Käyttöönotto-tila määräytyy asiakkaalle toimitettavan laitekokonaisuuden tilantarpeen ja käytettävissä olevan tilan perusteella.

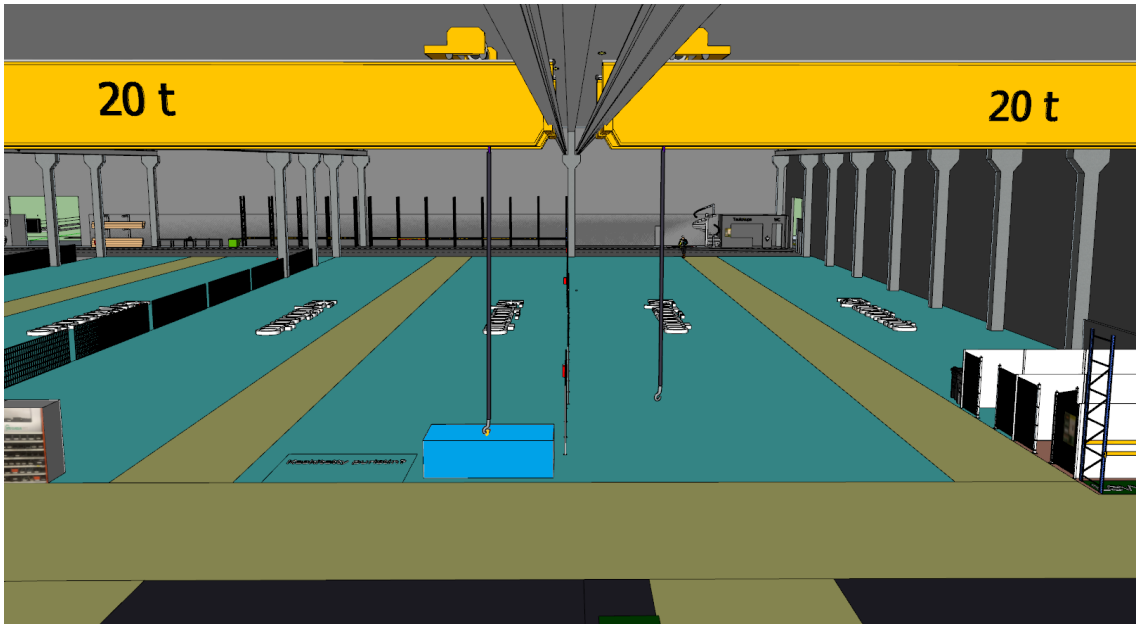


Kuva 4. *Layoutin toimintaperiaatteista (punaisella normaali, vihreällä jos käyttöönottolinja täynnä) (Mukaillen lähdettä Prima Power 2017b).*

Kuvassa 4 vihreät nuolet (nuoli 2) edustavat tilannetta, jossa materiaalinkäsittelylaitteiden käyttöönottolinja on täynnä. Tällöin valmis materiaalinkäsittelylaite tulisi kuljettaa poikittaissuunnassa tuotannon pääkulkusuuntaan nähden käyttäen kaikkia kolmea kattosiltanosturia. Koska kattosiltanostureiden pääasiallinen tehtävä on olla käytettävissä käyttöönotossa ja tuotannossa, kestäisi liian kauan odottaa nosturia käytettäväksi siirtoon. Kuvassa 5 on kuvattu tuotantoprosessin vaihtoehdot prosessikaaviona.

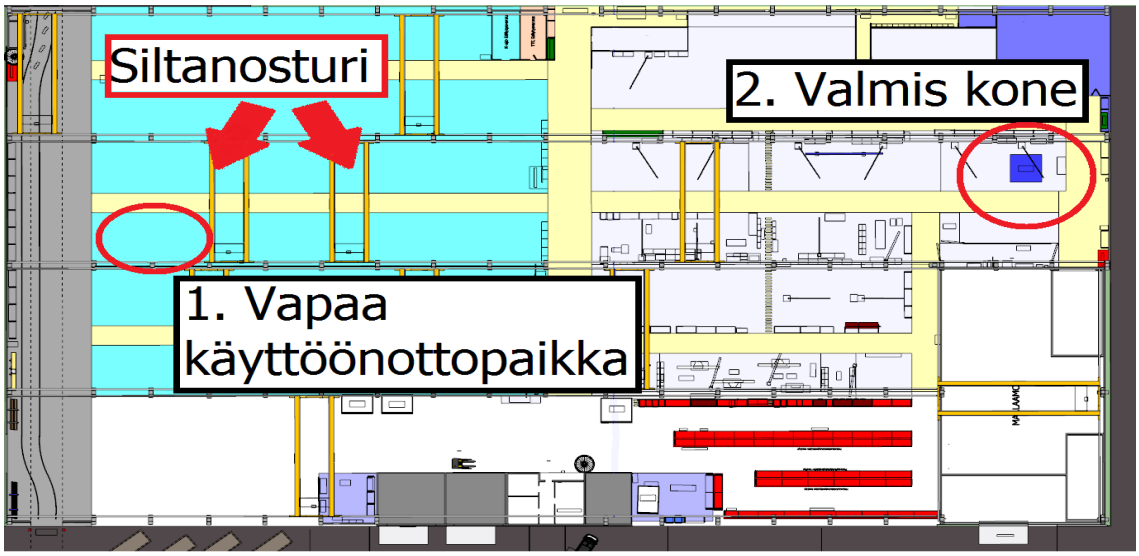
Kuva 5. *Tuotannon materiaalivirran prosessikaavio. Alempi rata kuvaa ideaalitilannetta, ylempi rata kuvaa ei-ideaalista tilannetta.*

Odottamisen lisäksi kattosiltanosturilinjan vaihtamisessa tulee eteen nosturin rajallinen liikkuvuus. Vaikka vierekkäin olevien nosturilinjojen nosturit ajettaisiin ääriasentoihinsa ikään kuin vierekkäin, ei olisi mahdollista laskea konetta sellaiseen kohtaan, että sen saisi seuraavalla nosturilla nostettua pystysuoraan, kuten kuvassa 6 esitetään. Tällainen tilanne vaatisi erillisen alustan, jolla konetta voisi siirtää maassa muutaman metrin matkan alueelle, jossa seuraavalla nosturilla olisi turvallista suorittaa nosto.



Kuva 6. *Havainnekuva vierekkäisten nosturien ongelmasta, oikeanpuoleinen nosturi ei ylety taakan päälle kohtisuoraan (Mukaillen lähdettä Prima Power 2017b).*

Nosturien käytön kannalta tulee huomioida se, että nosturisiltoja on yhdellä nosturilinjalla kaksi tai kolme kappaletta. Vaikka valmiille koneelle olisi käyntiinajopaikka saman nosturilinjan alla, saattaa tilanne olla sellainen, että vapaa paikka käyttöönottotilassa sijaitsee käyttöönottotilan päässä, kuten kuvassa 7 esitetään.



Kuva 7. *Tilanne, jossa valmis kone ja vapaa käyttöönottopaikka ovat samalla nosturilinjalla, mutta saavuttamattomissa yhdellä nostolla. Nosturit ovat kuvan keltaisia palkkeja (Mukaillen lähdettä Prima Power 2017b).*

Tällöin valmis kone täytyisi ajaa kokoonpanotilan alusta käyttöönottotilan loppuun saakka nosturilla. Jos tällainen tilanne sattuu tulemaan, täytyy muut linjan nosturisillat ajaa päähän saakka. Tämä aiheuttaa ylimääräisiä nostoja ja niiden myötä turvallisuusriskit kasvavat sekä aikaa kuluu.

Kokoonpanotilan ja käyttöönottotilan välillä siirtoja tehdään viikon aikana noin kaksikymmentä kappaletta eli päivittäin noin neljä. Tämän vuoksi on tärkeä huomioida, että vaikka siirtojen tulee olla tehokkaita, ei kannata keskittyä niinkään siirtojen nopeuteen vaan ennemminkin turvallisuuteen ja laatuun. Koska laitteiden siirtäminen poikittaiskäytävää pitkin pelkkiä nostureita hyväksi käyttäen ei käytännön syistä onnistu järkevästi ja turvallisesti, on ongelmaan löydettävä kustannustehokas, kestävä ja turvallinen ratkaisu.

2.2.2 Siirtolaitetta rajoittavat tekijät

Koneiden siirtämiseen tarkoitettua laitetta etsiessä on tärkeä muistaa fyysiset toimintaa rajoittavat tekijät. Liikuteltavien kuormien massat vaihtelevat muutamasta sadasta kilosta 17 tonniin, joten on erittäin tärkeää, että siirtolaitteen ja siirrettävän koneen painopiste pysyy mahdollisimman alhaisena. Hankalaksi painopisteen alhaalla pitämisestä tekee se, että siirrettävien laitteiden painopiste sijaitsee yleensä valmiiksi jo melko korkealla.

Fyysisiä rajoittavia tekijöitä asettavat esimerkiksi tehtaan katon tukipilareiden välimatkat, ovien leveydet sekä työpisteiden ja varastohyllyjen sijainnit. Esimerkiksi käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välisellä käytävällä tukipilareiden väli on noin 8 m. Siirtojen aikana koneiden tulee mahtua näistä väleistä. Pääasiassa siirreltävien koneiden pohjamitat eli maahan osuvien osien leveydet ovat karkeasti välillä 60-150 cm. Pituussuunnassa mitat ovat pääasiassa välillä 4-6 m. Nämä pohjamitat asettavat rajoituksen vain itse siirtolaitteen leveydelle ja pituudelle. Kuitenkin joissain valmiissa konemalleissa on osia, jotka saattavat olla jopa 8 m leveydeltään. Leveimmät koneet eivät mahdu kulkemaan käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välisellä käytävällä suoraan, vaan ne on asetettava kuljetusalustalle vinoon.

Turvallisuusnäkökulman kannalta olisi suotavaa, että hankittava laitteisto on CE-hyväksytty ja täyttää turvallisuuteen liittyvät standardit, kuten koneturvallisuusstandardi SFS-EN ISO 12100. Käytännössä laitteiston tulee olla ulkopuolisen tahon tarkoituksenmukaisesti suunnittelema. Tällöin CE-hyväksynnän ylläpitämiseksi laitetta ei tule muokata rakenteellisesti.

Laitteiston käyttäminen ei saa aiheuttaa ihmiselle vaaraa liiallisen fyysisen rasituksen seurauksena. Tarpeettoman suuren voiman käyttö epäedullisessa asennossa saattaa aiheuttaa tuki- ja liikuntaelinongelmia jopa lyhyellä aikavälillä. Liiallinen rasitus myös aiheuttaa pidemmän päälle väsymystä ja ylimääräistä kuormitusta työntekijälle ja näin ollen heikentää tehokkuutta.

Rajoittavana tekijänä on otettava huomioon myös koneiden massan myötä aiheutuva, lattiaan kohdistuva pintapaine. Tehdasprojektissa mukana olevien henkilöiden haastatteluiden perusteella uuteen sijaintiin tuleva lattia on hyvälaatuista kuitubetonia, joten oletus on, että lattia on kestävä. Kuitenkin, jos siirtolaite kohdistaa suuren massan myötä liian suuren pintapaineen lattiaan, on olemassa riski lattian ennenaikaiseen kulumiseen.

Siirreltävien koneiden ja runkojen rakenteet vaihtelevat paljon ja esimerkiksi materiaalinkäsittelylaitteet ovat moniulotteisia eli niissä saattaa olla tukijalkoja tai tukipisteitä epäsäännöllisissäkin paikoissa. Tämän vuoksi esimerkiksi kärrymaisten siirtolaitteiden käyttö on hankalaa, sillä kärryn täytyisi olla kohtuuttoman iso. Iso kärry vie huomattavan paljon tilaa silloin, kun se ei ole käytössä. Lisäksi ison kärryn ohjattavuus saattaa olla huono, mikä hankaloittaa käsittelyä pienissä tiloissa.

Lisäksi tulee huomioida käyttökaluston, kuten trukkien tai muiden mahdollisten vetolaitteiden rajoitteet. Joissain tapauksissa osa massasta saattaa jopa kohdistua vetolaitteeseen, esimerkiksi tapauksessa, jossa kuljetuskärryssä on vain yksi akseli. Tällä hetkellä kohdeyrityksessä sisätiloissa käytettäväksi tarkoitettujen trukkien kantavuudet ovat noin 1200-2200kg välillä, joten siirtolaite ei saisi kohdistaa trukkiin tätä enempää kuormaa.

3. KIRJALLISUUSKATSAUS

3.1 Investointi ja hankinta

”Hankinta (procurement) tarkoittaa yrityksen tarvitseman hankintakohteen (ts. tehtävän, materiaalin tai kokonaisratkaisun) toteuttamista toisen osapuolen toimesta. Hankinta sisältää kaikki hankintakohteen toteutumiseen liittyvät vaiheet. Se voi merkitä esimerkiksi raaka-aineen tai komponentin, tuotteen tai palvelun, kokonaisratkaisun tai osaamisen tarpeen tunnistamista, määrittelyä, tilaamista ja ostamista toiselta yritykseltä ja hankintakohteen.” (Martinsuo et al. 2016).

Hankinta eroaa investoinnista siten, että se ei varsinaisesti tuota yrityksen valmistamalle tuotteelle arvoa. Investointi tarkoittaa sellaista sijoitusta pääomaan tai toimintaan, jolta odotetaan tuottoja joskus tulevaisuudessa (Martinsuo et al. 2016). Työssä käsiteltävä kuljetuslaitteen hankinta on Martinsuon et al. mukaan täydentävä hankinta, sillä kyseinen hankinta on laite, joka ei varsinaisesti liity itse lopputuotteeseen tai kasvata sen arvoa, mutta kohdeyritys tarvitsee sen ylläpitääkseen toimintamalliaan.

Hankintaprosessiin kuuluu aluksi valmisteleva vaihe, jossa määritellään mitä on tarkoituksena hankkia, millaiseen tarkoitukseen ja minkälaisella aikataululla hankinta on tarkoitus suorittaa. Samalla määritellään hankittavan tuotteen vähimmäisvaatimukset ja reunaehdot. Hankinnasta riippuen on tärkeää miettiä, paljonko tuotteita hankitaan ja kuinka usein, esimerkiksi tilanteessa jossa hankittava tuote on jokin tuotteen raaka-aine. Hankinnan valmisteluun liittyy olennaisesti toimittajien arviointi- ja valintavaihe. Arviointi- ja valintavaiheessa tarkoituksena on arvioida ja kilpailuttaa toimittajia ja heidän tuotteitaan ja esimerkiksi painotetun keskiarvon menetelmällä valita omaan tarkoitukseen sopivin toimittaja ja tuote. (Mukaillen Martinsuo et al. 2016).

Hankinnan valmistelevien vaiheiden jälkeen suoritetaan itse hankinta, jossa tuote tilataan ja vastaanotetaan toimittajalta. Tässä kandidaatintyössä tavoitteena on suorittaa kohdeyritykselle vertailu eri siirtolaitteistoista pohjaksi hankinnan suorittavalle taholle. Työ on esiselvitys mahdollisista hankittavista laitteistoista arvioimalla toimittajia ja niiden tuotteita.

Hankintaprojekti koostuu tarpeiden analysoinnista, kaupankäynnistä, toimituksesta ja seurannasta. Tarpeiden analysointiin kuuluu ongelman määrittely ja tarvittavan tuotteen määrittely ja investointilaskelmat, joilla esimerkiksi määritetään laitteelle takaisinmaksuaika, jos voidaan määritellä paljonko laite tuottaa arvoa. Kaupankäyntiin kuuluu aluksi toimittajien ja heidän tarjoamien tuotteiden etsiminen, kilpailutus ja valinta. Kun toimittaja on valittu, tehdään kaupasta sopimus, joka määrittelee kaupan ehdot ja virallistaa kaupan. Toimitusvaiheessa yritys valmistelee omat tilansa uutta hankintaa varten ja alkaa

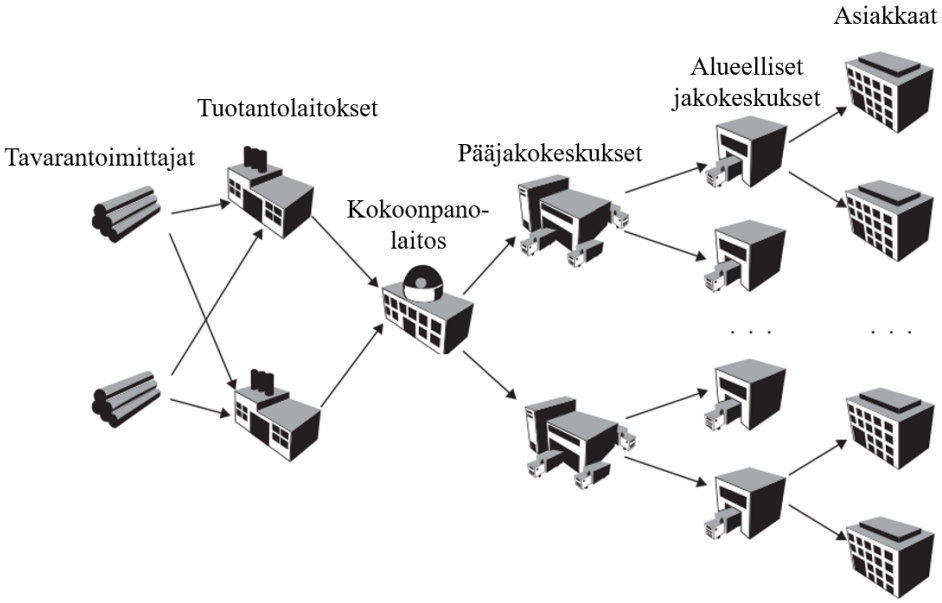
kouluttaa henkilöstöään tarpeen vaatiessa. Kun tuote toimitetaan, se täytyy joissain tapauksissa asentaa paikalleen tai se saattaa vaatia jonkinlaisia käyttöönottotoimenpiteitä, jotka usein tavarantoimittaja suorittaa, etenkin suuremmissa konehankinnoissa (esimerkiksi työstökone). Ostajan täytyy myös testata ja hyväksyä toimitus. Seurantavaiheessa valvotaan tuotteen takuuta ja häiriöitä ja samalla lasketaan, vastasiko investointilaskelmat totuutta. (Mukaillen Lyytikäinen 2017)

Hankintaprojekti koostuu useista vaiheista ja mitä suuremmista hankinnoista on kysymys suhteessa hankkijan talouteen, sen pidempi hankintaprojekti todennäköisesti on, koska kalliin hankinnan odotetaan olevan pitkäikäinen ja riippuen tapauksesta myös tuottava. Vaikka hankittavan tuotteen tiedettäisiin olevan kallis, kilpailutusvaiheessa yleensä yritetään saada toimittajat laskemaan hintaa. Kaikki hankinnat eivät suoranaisesti tuota arvoa yrityksen valmistamalle tuotteelle, mutta ovat osana valmistusprosessia ja sen takia yleensä välttämättömiä.

3.2 Logistiikkajärjestelmät

Käsitteen logistiikka, engl. *logistics* juuret ovat kreikan kielen sanassa *lógos,* joka tarkoittaa tilausta, tai ranskan kielen sanassa *loger*, joka tarkoittaa sijoittamista. Logistiikan periaatteiden juuret ovat peräisin sotilaallisesta luonteesta, kun tarvittiin kurinalainen tapa varustaa ja huoltaa taistelujoukkoja tehokkaasti kentällä. Ensimmäiset huoltoon erikoistuneet sotajoukot ovatkin perustettu jo 2000 eKr. Babyloniassa ja logistiikan käsitettä käytettiin Toiseen maailmansotaan asti pelkästään sotilaallisissa yhteyksissä, minkä jälkeen myös valmistava teollisuus alkoi ottamaan sitä omaan käyttöönsä. (Ghiani et al. 2013)

Kirjassaan Ghiani määrittelee, että yritysten näkökulmasta logistiikka on järjestelmä, johon sisältyy kaikki yrityksen materiaalivirta, sen tuottama informaatiovirta sekä kaikki materiaali- ja informaatiovirtaa kuljettava infrastruktuuri ja laitteisto, kuten tietojärjestelmät, varastot, kuljetuslaitteet ja henkilöstö. Varsinainen logistiikkajärjestelmä koostuu suuresta toimitusverkostosta, joka alkaa alkutuotannosta ja kulkee jatkojalostustehtaiden ja mahdollisen kokoonpanon kautta joko suoraan tai jälleenmyyjien ja välivarastojen kautta loppuasiakkaalle käyttöön. Kuvassa 8 on esimerkki Ghianin kirjassa esitellystä logistiikkajärjestelmästä.



Kuva 8. *Logistiikkajärjestelmän esimerkki. (Mukaillen lähdettä Ghiani et al. 2013).*

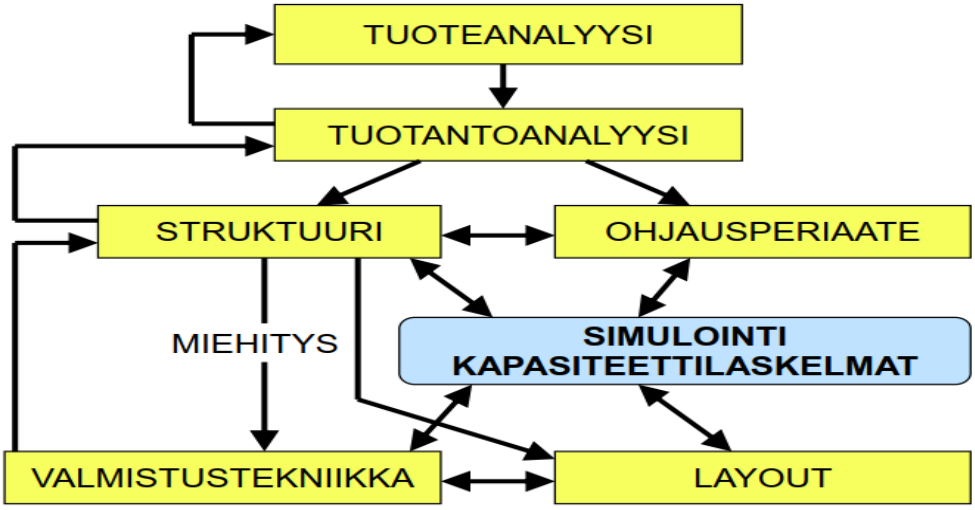
Sisälogistisilla aktiviteeteillä tarkoitetaan tuotanto- tai valmistusyksikön sisällä tapahtuvaa materiaalivirran hallintaa ja siihen liittyviä toimintoja, pääasiassa materiaalin vastaanottoa, varastointia, keräilyä, siirtelyä ennen ja jälkeen kokoonpanon sekä lopuksi materiaalin pakkaamista ja lähettämistä. Yritysten näkökulmasta logistiikalla voidaan ajatella olevan kolme päätavoitetta:

- kustannustehokkuus eli pyritään vähentämään ylimääräistä materiaalinkäsittelyä ja kohottamaan työn tuottavuutta jatkuvasti,
- läpimenoaikojen lyhentäminen eli pyritään vähentämään varastoon sidottua pääomaa ja kohottamaan varastoon sidotun pääoman tuottavuutta
- palvelutehokkuus eli pyritään parantamaan oman toiminnan laatua jatkuvasti. (Sakki 1994)

Logistiikkajärjestelmä on yrityksen toiminnan kannalta välttämätön, mutta ei suoraan luo asiakkaalle arvoa eli asiakas ei halua maksaa toimittajan logistiikasta (pois lukien nopea toimitus), vaan itse lopputuotteesta. Suomessa logistiikan kokonaiskustannus on luokkaa 20-30% myyntikatteesta (Sakki et al. 1996), katso (Karrus 1998, s.137). Onnistuneella ja tehokkaalla logistiikkajärjestelmällä saadaan vähennettyä ylimääräisiä työvoima-, laite- ja ylläpitokustannuksia ja sen kautta lopputuotteen hintaa. Kuitenkin onnistunut logistinen prosessi luo asiakkaalle lisäarvoa etenkin toiminnan laadun parantumisen kautta. Tämän vuoksi on tärkeää, että logistiikan kustannukset pysyvät hallinnassa ja logistinen prosessi kurissa. Vaikka logistiikka sisältää useita eri toimintoja eri ketjuissa, on se ennen kaikkea työkalu materiaalivirtojen tehokkaan toimivuuden aikaansaamiseksi.

3.3 Valmistustekniikka ja layout tuotantojärjestelmien suunnittelussa

Layout ja valmistustekniikka ovat olennainen osa tuotantojärjestelmien suunnittelua ja Ilkka Lapinleimun tuotantojärjestelmien suunnittelun mallissa (kuva 9) valmistustekniikka ja layout sijoittuvat samalle tasolle keskenään, koska vaiheina ne ovat lähellä toisiaan. Valmistustekninen- ja layoutsuunnittelu ovat tuotantojärjestelmän suunnitteluvaiheessa hyvin paljon toistensa kanssa tekemisissä, sillä on tärkeää miettiä etukäteen valmiiksi, millaiseen järjestykseen eri kokoonpanolaitteet tai pisteet asetetaan tehtaassa. Sen vuoksi on myös tärkeää tietää tarkasti näiden kokoonpanopisteiden valmistus- ja työmenetelmät.



Kuva 9. *Ilkka Lapinleimun tuotantojärjestelmien suunnittelun malli (Mukaillen lähdettä Lapinleimu et al., 1997 s. 301).*

Toisin kuin helposti voisi ajatella, valmistustekniikka ei tarkoita tässä yhteydessä sorvin teräkulmien ja pyörintänopeuksien säätämistä ja laskemista, vaan ennemmin valmistusteknistä suunnittelua, johon kuuluvat mm. valmistusmenetelmä, solun konevalinnat, solun työvälineet, asetusten eliminointi, solun sisäinen layout, sekä solun nosto- ja siirtolaitteet (Lapinleimu et al. 1997 s. 309).

3.3.1 Valmistustekniikka

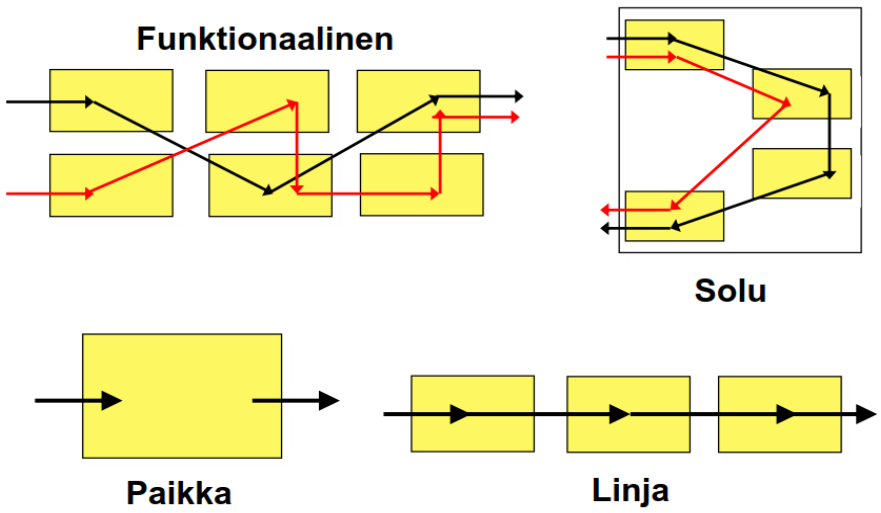
Tämän toimeksiannon tapauksessa voidaan ajatella siirtojen olevan oma työvaiheensa eli valmistusprosessi, joka suoritetaan omassa solussa. Tämän työn tapauksessa siirrot tapahtuvat tehtaan lattialla ympäri tehdasta, joten tuotantosolu on käytännössä se paikka, jossa siirto tapahtuu eli maalaamon ja tuotantotilan välinen alue, sekä kokoonpanoalueen ja käyttöönottoalueen välinen käytävä. Tällöin voidaan mieltää solun työvälineeksi itse siirtolaite ja solun layoutiksi voidaan periaatteessa ajatella edellä mainituissa paikoissa oleva layout eli käytännössä tehtaan layoutratkaisu. Solun prosessi on itse suoritettava siirto. Solun tulee olla sellainen, että se riittää kapasiteetiltaan käsittelemään tarpeeksi paljon

materiaalia. Oleellisesti valmistustekniikkaan liittyy myös Lean-ajattelutapa, jossa turha työ ja arvoa tuottamattomat työvaiheet pyritään poistamaan.

Valmistusteknillisessä analyysissä tulee ottaa huomioon työn aloitus- ja lopetusehdot, tarvittavat työkappaleet (eli kohdeyrityksen tapauksessa siirreltävät kuormat), tarvittavat työntekijät, työn eteneminen ja mahdolliset häiriö- tai huoltotilanteet, joissa laitetta ei voida käyttää. Etukäteen voidaan myös miettiä mahdolliset siirtoreitit, jos mahdollisuuksia on useampia ja esimerkiksi se, miten koneiden päältä saadaan nosturien kiinnityskoukut turvallisesti ja nopeasti irti. Tällaisen analysoinnin kautta voidaan miettiä valmistusteknillisiä ratkaisuja tuotantojärjestelmien suunnittelun kannalta, vaikka ei olisi itse valmistustekniikoiden asiantuntija. (Nylund 2017)

3.3.2 Layout

Layout tarkoittaa sitä, mihin järjestykseen työpisteet on tuotantopaikassa järjestetty eli toisin sanoen pohjapiirros. Yleisimmät layout-tyypit (kuva 10) ovat solulayout, funktionaalinen layout, paikkalayout ja linjalayout (Nylund, 2017). Useimmiten tehtaiden layoutratkaisuista pystyy tunnistamaan useampia layout-tyyppejä, esimerkiksi jotkin osakokonaisuudet saatetaan kokoonpanna linjassa, mutta jokin toinen osakokonaisuus kokoonpannaan esimerkiksi solulayoutissa. Joskus layout-tyyppejä saattaa jopa päällekkäin, esimerkiksi linjalayoutin yhden toimipisteen sisällä saattaa olla funktionaalinen layout. Tämä riippuu käytännössä siitä, miten korkealta tasolta layoutia tarkastellaan. Olennaista layoutissa on myös se, että siihen liittyy koneiden järjestyksen lisäksi varastojen koko, niiden sijainnit, työpisteet ja kulkureitit tuotantoyksikössä (Martinsuo et al. 2016)



Kuva 10. *Eri layouttyyppejä (Nylund 2017).*

Funktionaalinen eli toiminnallinen-, tai prosessilayout on layoutmalli, jota käytetään usein tilanteissa, joissa valmistettava tuoteportfolio on laaja, mutta volyymit ovat pieniä.

Funktionaalisen layoutin ominaispiirteisiin kuuluu, että kaikki valmistettavat tuotteet eivät käy jokaisella työpisteellä, vaan kulkevat vain tarpeellisten läpi. Jotkut tuotteet saattavat kuitenkin käydä jokaisen työpisteen läpi. Tavoitteena on mahdollisimman joustava tuotanto ja se, että työpisteet ovat sijoiteltuna samankaltaisuuden mukaan (Martinsuo et al. 2016). Usein funktionaalista tuotantolayoutia on hankala automatisoida, sillä eri tuotteiden kulkemat reitit saattavat vaihdella erittäin paljon. Eriävien reittien takia myös tuotannonohjaus on hankalaa, jonka vuoksi saattaa syntyä jonoja ja varastoja ja läpäisyaika pidentyy. (Santos et al. 2006, pp.26-27)

Tuotantolinjalayoutissa eli tuotelayoutissa tehtaan valmistuslaitteet ja työpisteet järjestetään linjamaisesti peräkkäin siten, että laitteet ovat valmistettavan tuotteen työvaiheiden vaatimassa järjestyksessä. Esimerkiksi auton kokoonpanolinjalla auton runko liikkuu linjaa pitkin ja osat asennetaan autoon työpisteillä siinä järjestyksessä, missä ne ovat helpoin ja nopein asentaa. Yhdellä työpisteellä tehdään yleensä vain korkeintaan muutamaa asiaa. Linjalayoutilla on mahdollista saada suuria tuotantovolyymejä ja korkea kuormitus linjalle, mutta linja on yleensä joustamaton ratkaisu, jolloin muutos tuotteessa saattaa vaatia suuriakin muutoksia linjaan. Etuina ovat alhainen yksikkökustannus, selkeä työnkulku, helppo automatisointi ja helppo ohjattavuus. (Santos et al. 2006, pp. 27–28) Kohdeyrityksessä kokoonpannaan levytyökeskukset tuotantolinjamaisesti.

Paikkalayoutissa kokoonpano tai valmistusprosessi tapahtuu yhdessä paikassa (Nylund 2018). Paikkalayout saattaa muistuttaa hieman funktionaalista tai solulayoutia, jos tuotantopaikkaa tarkastellaan vielä lähempää. Tarkoituksena kuitenkin on se, että valmistettava tuote ei liiku prosessin läpi, vaan tarvittavat resurssit. kuten työkalut, materiaalit ja työntekijät tuodaan kokoonpanopaikalle. Paikkalayoutia käytetään usein vaikeasti liikuteltavien tuotteiden, kuten laivojen rakentamiseen. (Santos et al. 2006, pp. 26) Paikkalayout on kohdeyritykselläkin esimerkiksi materiaalinkäsittelylaitteiden ja leikkureiden kokoonpanossa ja koneiden käyttöönotossa käytetty ratkaisu. Paikkalayoutin etuna on se, että jos työkalut ja työntekijät ovat siirreltävissä, voidaan työ suorittaa missä tahansa vapaassa paikassa.

Solulayout on ikään kuin välimuoto funktionaalisesta layoutista ja linjalayoutista, sillä eri toiminnot on koottu samaan tilaan, jossa työ tehdään tuotantolinjamaisesti. Solulayoutissa on tavoitteena saada joustava valmistusprosessi koko tuoteportfoliolle tai sen osalle yhdessä paikassa eli solussa. Useimmiten solulayoutia käytetään tilanteissa, joissa valmistetaan suhteellisen vähän monenlaisia tuotteita. Tuotteiden sallittu eroavaisuus solussa riippuu siitä, minkälaisia työvaiheita solussa on tarkoitus tehdä ja mihin solussa on valmistauduttu. Solun etuna on myös se, että usein solun työntekijät voivat tehdä solun sisäisesti monia eri työtehtäviä, jolloin työn mielekkyys kasvaa. (Martinsuo et al. 2016)

Onnistunut ja hyvin suunniteltu layoutratkaisu helpottaa ja vähentää materiaalinkäsittelyä, muun muassa poistamalla ylimääräisiä nostoja ja siirtomatkoja. Layoutsuunnittelu käy hyvin pitkälle käsi kädessä Lean-ajattelun kanssa, sillä layoutsuunnittelussa pyritään

vähentämään ylimääräistä arvoa tuottamatonta työtä, hyödyntämään käyttöastetta mahdollisimman hyvin ja lisäämään turvallisuutta työympäristössä. (Kettula 2018)

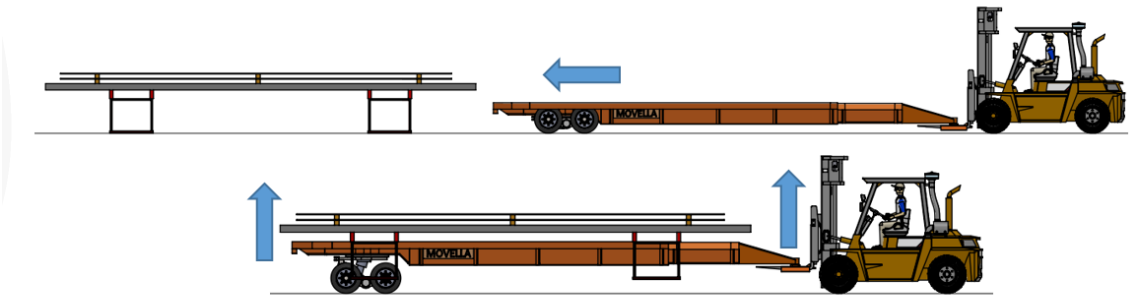
4. SIIRTOTAPAEHDOTUKSET

4.1 Nostosiirtovaunujärjestelmä

Nostosiirtovaunujärjestelmät ovat tarkoitettu raskaiden kappaleiden siirtoihin. Nostosiirtovaunut (translifter) ovat trukin piikkeihin tai muuhun vetolaitteeseen kiinnitettäviä vaunuja, joissa on yksinkertaisimmillaan vaunun takaosassa pyörästö ja nostettava runko. Matala profiili ja nouseva runko sallivat vaunun ajamisen pukeilla olevan kuorman alle, nostamaan kuorman sekä pukit ilmaan ja lopuksi laskemaan kuorman pukkeineen uuteen sijaintiin.

Nykyisissä nostosiirtovaunuissa on hydraulisylinterillä telistö, joka pyörii kääntöakselinsa ympäri 15° molempiin suuntiin. Kääntyvän telistön ideana on helpottaa vaunun ajamista jyrkistä mutkista tai muuten hankalista paikoista. Telistöön on myös integroitu vaunun nostosylinteri, jolla vaunua pystyy nostamaan 350 mm ala-asennostaan. Telin kääntö ja vaunun nosto tapahtuvat samasta kaukosäätimestä, joka on trukin kuljettajalla.

Nostosiirtovaunujärjestelmän perusideana on niin sanottu itsekuormaava periaate eli yksi kuljettaja pystyy noutamaan, siirtämään ja jättämään kuorman itsenäisesti (kuva 11). Kuorma pysyy koko siirron ajan pukkien tai kuljetusalustan päällä, jolloin sitä ei välillä tarvitse laskea maahan. Vaunu ajetaan ala-asennossa kuorma-alustan alle, jonka jälkeen kuorma nostetaan ylös maasta käyttämällä yhtä aikaa trukin piikkien nostoa ja vaunun telin hydraulista nosto-ominaisuutta.

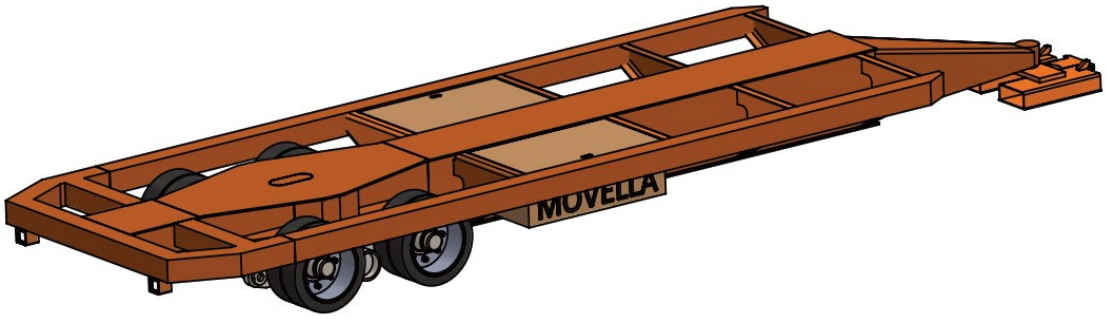


Kuva 11. *Periaatekuva järjestelmän toiminnasta (Movella 2017).*

Kuorman siirtely pukkien päällä mahdollistaa myös runkojen varastoimisen, pintakäsittelyn ja jopa kokoonpanon alustan päällä, riippuen rungon koosta ja korkeudesta. Erityisesti väliaikaisvarastointi pukkien päällä saa tehdasympäristön näyttämään siistimmältä ja helpottaa ulkovarastoinnin organisointia.

4.1.1 Toimittajan 1 ehdottamat tuotteet

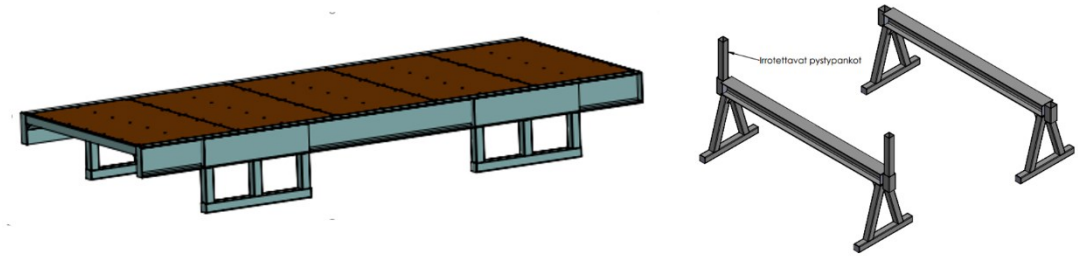
Toimittaja 1:n ehdottamaan järjestelmään kuuluu yksi Vaunu 1 -nostosiirtovaunu (kuva 12), 20 tonnin kantavuudella olevia kasetteja sekä 10 tonnin kantavuudella olevia A-pukkeja. Huomioitavaa on, että A-pukkia ei ole suojattu tekijänoikeuksilla eli niitä saa valmistaa itse lisää oman tarpeen mukaan.



Kuva 12. *Nostosiirtovaunujärjestelmän nostosiirtovaunu, "Vaunu 1" (Movella 2017).*

Vaunussa on manuaalisesti säädettävä teleskooppiaisa, jolla voidaan säätää kuormatilan pituus 6 metristä 8 metriin. Maksimikuorma on vetotrukista riippuen 22-24 t. Toimittaja 1 ilmoittaa nostettavan vaunun 1 korkeudeksi ala-asennossa 610 mm ja maksimi nostokorkeudeksi 960 mm. Tähän täytyy vielä lisätä noin 10-15 cm riippuen, onko kuorma lastattu A-pukkien vai kasetin päälle. Kuormaa liikuteltaessa vaunun ei ole pakko olla maksiminostoasennossaan.

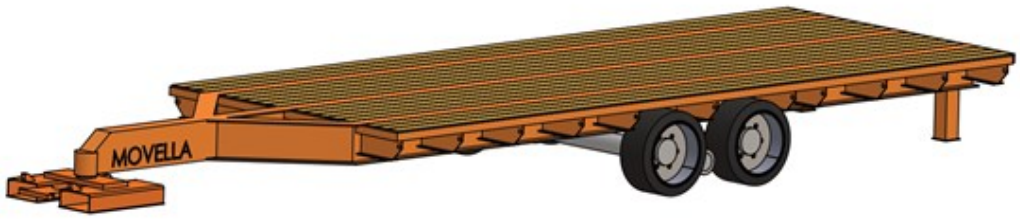
Kasetit (kuva 13) ovat karkeasti ilmoitettuna mitoiltaan 6 m * 2,4 m * 0,8 m. Kasetti on kuitenkin vain lava, jonka päälle kone lastataan, joten ongelmaa ei synny, vaikka kuorma tulisi kasetista reilustikin yli, kunhan painopiste pysyy alueella, jolle painopiste on suunniteltu tulevan.



Kuva 13. *Kuormanlastauskasetti vasemmalla, A-pukit oikealla (Movella 2017).*

A-pukit (kuva 13) ovat kuormatilaltaan noin 2,4 m leveitä, sekä noin 0,86 m korkeita, jotka täytyy asetella itse kuorman alle sopivalle paikalle. Pukit ovat yksinkertaisia telineitä, joten jos kuorma on lastattu pukkien päälle oikein ja painopiste pysyy pukkien välissä, on kuorman siirtely turvallista.

Toinen Toimittaja 1:n tarjoama tuote on Vaunu 2 (kuva 14), jonka maksimikuorma on 17,5 tonnia. Vaunu on perävaunu, jota liikutetaan trukilla. Vaunu on mitoiltaan matala (60 cm maasta), kokonaispituudeltaan noin 6,6 m, kuormatilaltaan noin 5 m pitkä ja 2 m leveä. Kiinnitys vetolaitteeseen on samanlainen kuin Vaunu 1:ssä eli se kiinnitetään trukin piikkeihin. Vaunussa on telipyörästö, mutta nosto- tai telinkääntöominaisuutta ei ole, joten vaunu 2:lla ei pysty nostamaan pukeilla olevia kuormia. Jos kuorman painopiste osuu liian taakse, on vaunun takaosassa kippaamisen estävä tukijalka. Vaunua 2 voi siirrellä keskellä olevan teliakseliston takia pienellä, 1,4 tonnin pinontatrukilla, joten sen käyttöön ei tarvita raskaita vastapainotrukkeja. Kuorma täytyy lastata vaunun päälle kattosiltanosturilla tai trukilla, riippuen kuorman painosta.



Kuva 14. *Vaunu 2 (Movella 2017).*

Kuten kuvassa 14 näkyy, Vaunu 2 on hyvin yksinkertainen ratkaisu, jossa ei ole toimilaitteita tai toimintoja. Se on raskaiden kuormien kuljettamiseen tarkoitettu trukilla vedettävä perävaunu.

4.1.2 Nostosiirtovaunujärjestelmän käytettävyys kohdeyrityksessä

Nostosiirtovaunujärjestelmä on oivallinen ratkaisu konepajateollisuuteen sen monipuolisuuden takia. Järjestelmän avulla raskaita kappaleita ja runkoja voidaan varastoida helposti myös ulkotiloissa ja varastoitujen kappaleiden hallinta on helppoa, kun ei tarvitse erikseen miettiä mistä kohdasta kappaletta kuuluisi trukilla nostaa turvallisesti. Koska vaunun ei tarvitse olla sidottuna kuormaan kuin siirron ajan, vaunu on heti siirron jälkeen kuljettajineen käytettävissä toisaalla. Tällöin vaunun käyttöaste on helppo optimoida ja käytettävissä oleva kapasiteetti kasvaa. Vaunuja ei myöskään tarvitse olla kahta, koska siirtoja ei tapahdu koko ajan, vaan vaihtelevasti koneiden valmistuessa tai kun uusia runkoja tuodaan alihankkijalta.

Vaunua 1 hallitaan ensisijaisesti trukilla, mutta vaunun kääntyvän telin takia vaunua on helpompi kääntää esimerkiksi tiukan mutkan taakse ja samalla vaadittavan tilan määrä pienentyy. Ensikertalaiselta vaunun hallinta vaatii opettelua, sillä trukkia ajaessa täytyy

myös keskittyä vaunun ohjaamiseen kaukosäätimellä, mutta ajokokemuksen myötä käyttö on sulavaa.

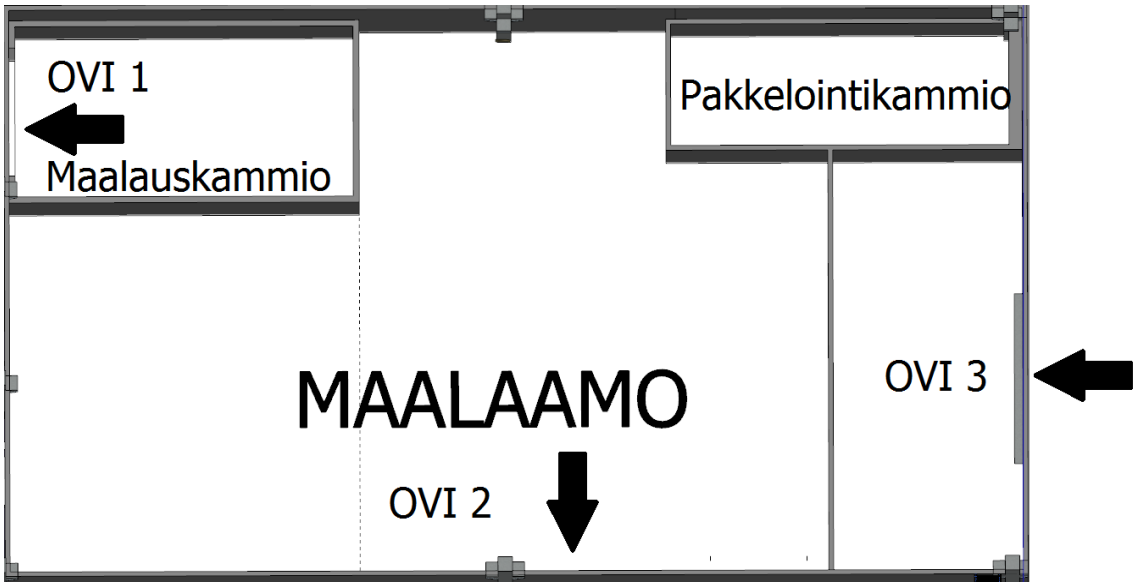
Toimittaja ilmoittaa vaunun kääntösäteeksi lyhyenä paikallaan pyöritettynä noin 7,6 m. Vastaavasti teleskooppiaisa pitkänä vaunun kääntösäde paikallaan ympäri pyöriessä on noin 9,6 m, riippuen trukin koosta. Jos vaunua vedetään tyhjänä kohtisuoraan kohti 5 metriä leveää oviaukkoa, jonka jälkeen on 90 asteen käännös, tarvitsee vaunu tähän käännökseen oviaukon jälkeen noin 4,9 metriä. Tässä tapauksessa ahtain oviaukko, jossa vaunua mahdollisesti käytetään, on maalaamon ovi 2. Oven leveys on 5 m ja tilaa oven eteen on mitoitettu ahtaimmillaan 4 m. Tilannetta helpottaa maalaamon avoimuus ja se, että oven edessä kokoonpanotilan puolella on maalaamon puskurivarasto, joka ei välttämättä aina ole täynnä. Vaunun saisi ajettua kyseenomaisesta välistä esimerkiksi vinottain, jolloin käännöksen ei tarvitse olla täyttä 90 astetta.

Kohdeyrityksessä nostosiirtovaunujärjestelmää pystytään käyttämään ulkona tai ulkoa sisälle tapahtuvaan runkojen siirtelyyn ja varastointiin, valmiiden koneiden siirtämiseen käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välistä käytävää pitkin sekä tuotantoon koneenrunkojen siirtelyyn maalaamossa ja maalaamosta.

Jotta nostosiirtovaunujärjestelmän hyödyn saisi optimoitua, tulisi sen olla pääasiallinen siirtotapa tehtaassa. Tämä tarkoittaa sitä, että erityisesti tuotantolinjan levytyökeskusten kokoonpano täytyisi tehdä joko järjestelmän A-pukkien tai lavettien päällä jolloin alustoja tarvittaisiin useita. Alustoja tarvitaan useita myös jo ilman järjestelmän käyttämistä kokoonpanossa. Jos kokoonpano tapahtuisi alustojen päällä, se helpottaisi myös siirtoa käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välillä, kun valmista konetta ei erikseen tarvitsisi nostaa kuljetusalustan päälle ja käyttöönotossa laskea alustalta pois.

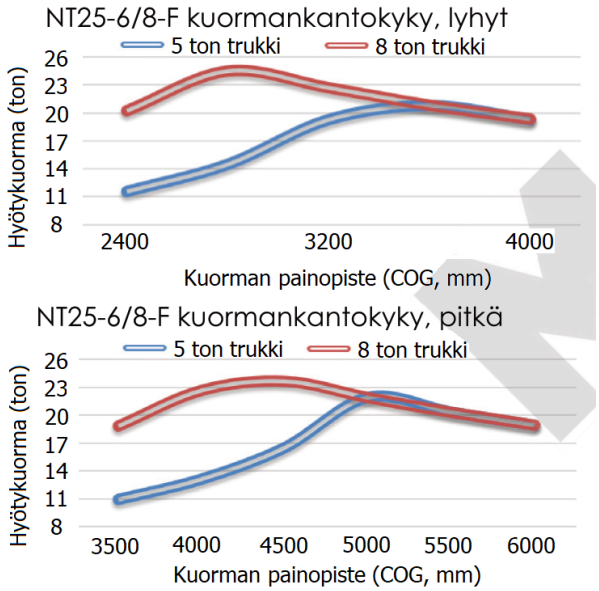
Erityisesti materiaalinkäsittelylaitteiden kokoonpaneminen lähes metrin korkeiden alustojen päällä on ongelmallista, koska laitteet ovat erittäin monimuotoisia, -ulotteisia ja isokokoisia. Levytyökeskukset taas ovat rungoiltaan kapeahkoja, pitkiä ja korkeita, joten alustan päällä kokoonpaneminen onnistuisi hieman helpommin, joskin koneen ylärunkojen kokoonpano vaikeutuu hieman korkeuden takia. Toimittajan mukaan kasettialustat voidaan varustaa kiinnityspisteillä, joihin kone tai asennustikapuut voidaan kiinnittää turvallisesti.

Runkojen siirtämiseen maalaamosta tuotantoon ja maalaamon sisäisesti vaunulla on järkevää, jos maalaaminen itsessään tapahtuu kuljetusalustan päällä. Maalattavat rungot on helppo tuoda varastosta maalaamoon vaunulla pukkien päällä ja jättää paikalleen. Työtehtävän jälkeen vaunun voi taas ajaa pukkien alle ja siirtää rungon seuraavaan työvaiheeseen. Tavaran määrästä riippuen maalaamossa vaunun mahtuu helposti kääntämään ympäri paikallaan. Ahtain tila, johon maalaamossa tulee mahtua, on 5 m*14 m kokoinen pakkelointikammio, johon rungot tuodaan oven 3 läpi (kuva 15).



Kuva 15. *Maalaamon pohjapiirros, nuolet osoittavat materiaalivirran suunnan*

Kuormankantokyvyn puolesta Vaunu 1 on erittäin sopiva kohdeyrityksen tarkoitukseen, jossa kuorman massa saattaa olla jopa 20 t. Kuten kuvasta 16 nähdään, 5 t trukilla kantokyky kasvaa mitä kauempana kuorman painopiste on kuormatilan etuosasta mitattuna. Tämä johtuu siitä, että aisapaino (trukkiin kohdistuva paino) keventyy ja paino kohdistuu enemmän rungolle ja telille. Painopisteen mennessä tarpeeksi kauas, kantokyky alkaa heikentyä, kun rakenteen kestävyysrajat (lähinnä renkaiden) alkavat tulla vastaan. 8 t trukilla kuormankantokyky lähellä trukkia on huomattavasti suurempi, koska trukki pystyy kannattelemaan enemmän painoa, jolloin vaunun maksimi kuormankantokapasiteetti kasvaa.



Kuva 16. *Kuormankantokykykuvaaja Vaunu 1:lle lyhyenä ja pitkänä. Mitat kuormatilan alusta, vetolaitteen päästä (Movella 2017).*

Kuvasta 16 ilmenee, että kuormankantokyky on huomattavasti heikompi 5 tonnin trukilla kuin 8 tonnin trukilla. Kohdeyrityksessä sisällä käytettävät trukit ovat tällä hetkellä sähkötoimisia kevyitä (1,2 t - 2,2 t) pinoamistrukkeja, joten niiden käyttö ei onnistu vaunun kanssa vaan tarvitaan raskaampi vastapainotrukki, jota käytetään yleensä ulkotilassa.

Järjestelmän eduksi voidaan katsoa myös erityisen pitkä käyttöikä. Toimittajan mukaan käytössä on edelleen jopa 30 vuotta vanhoja heidän toimittamiaan nostosiirtovaunuja. Pitkäikäisyys johtuu erityisesti rakenteen yksinkertaisuudesta eli huoltotarve on minimaalinen ja oikein käytettynä kuluminen erittäin vähäistä. Eniten vaunussa kuluvat renkaat, jotka ovat suhteellisen halpoja. Järjestelmää on myös helppo kehittää eteenpäin oman mielen mukaan. A-pukkeja voi valmistaa itse lisää omillakin mitoilla ja kasettialustoja pystyy käyttämään siirreltävänä välivarastona tai jopa keräilyalustana. Järjestelmään pystyy myös integroimaan lähes mitä tahansa nostettavia laitteita, joita ihmismieli pystyy keksimään, kunhan laitteet ovat yhteensopivia vaunun mittoihin.

Käyttöturvallisuus järjestelmässä on korkea. Vaunut ovat Toimittaja 1:n mukaan varustettu aina huomiovaloilla ja vilkkumajakalla, joka alkaa vilkkumaan automaattisesti, kun vaunun anturit havaitsevat liikettä missä suunnassa tahansa. Tarvittaessa vaunu voidaan varustaa jopa langattomalla peruutuskameralla. Vaunua käytettäessä ja kuormaa kuljetettaessa telistön merkitys korostuu. Jos vaunua ajetaan epätasaisista kohdista, telistön ansiosta se pysyy helposti suorassa. Turvallisuutta lisää myös se, että vaunun ei tarvitse olla kuorma päällä ajettaessa yläasennossa eli painopiste saadaan pysymään alempana. Nostosiirtovaunujärjestelmä on monipuolinen ja pitkäikäinen ratkaisu, mutta vaunun paras mahdollinen hyödyntäminen kohdeyrityksessä vaatisi muutoksia myös tuotantomalliin.

4.1.3 Vaunu 2:n käytettävyys kohdeyrityksessä

Toimittaja 1:n ehdotuksessa esiteltiin myös Vaunu 2. Vaunu 2 ei itsessään kuulu nostosiirtovaunujärjestelmään, koska siinä ei ole kääntöteli- tai nosto-ominaisuutta. Tämän takia se on tarkoitettu järjestelmän tueksi tai vaihtoehdoksi. Kuten aiemmin on jo mainittu, Vaunu 2 muistuttaa traileriperäkärryä, jonka voi kiinnittää trukin piikkeihin. Vaunun kantavuus 17,5 t on mitoitettu siten, että kuorman painopiste tulisi noin kuormatilan puoleen väliin ja trukkiin kohdistuva aisakuorma on 1,4 t. Tätä vaunua voisi käyttää myös jo olemassa olevien pinoamistrukkien kanssa.

Vaunun keskellä olevan teliakseliston takia oikeaoppinen kuormaaminen on tärkeää, sillä jos painopiste osuu liian lähelle trukkia, aisakuorma nousee huomattavasti ja sen johdosta trukille ja sen toimilaitteille saattaa aiheutua huomattavaa vahinkoa. Ääritilanteessa trukki saattaa jopa kaatua ja täten aiheuttaa kuljettajalle hengenvaaran. Jos kuorma lasketaan nosturilla vaunun päälle siten, että painopiste osuu liian taakse, on vaunuun asennettu kippaamisenestojalat takaosaan. Jos jalkaa ei olisi, vaunun aisakuorma muuttuisi negatiiviseksi ja saattaisi aiheuttaa trukin kaatumisen.

Koska vaunun akselisto on toteutettu telillä, lattiaan kohdistuva kuormitus on pienempi ja pysyy koko ajan samana. Telin takia saumat tai korkeuserot lattiassa eivät juurikaan vaikuta vaunun tasapainoon eli se ei juurikaan kallistu sivusuunnassa, vaikka alustassa olisi pieniä epätasaisuuksia. Vaunu on myös suhteellisen matala (n. 0,6 m) eli kuorman painopiste pysyy alhaalla.

Kohdeyrityksen käytössä Vaunu 2:n vahvuudet ovat erityisesti valmiiden koneiden siirrossa käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välistä käytävää pitkin. Koska Vaunu 2:n käyttöasteen maksimointi ei vaadi erikseen alustoja tai pukkeja, on se sopiva tuotantomalliin, jossa koneiden kasaus tapahtuu lattiaan kiinnitettyjen tukien päällä tai pelkästään lattialla ja vaunusiirtoja tarvitsee tehdä vain kokoonpanoalueen ja käyttöönottoalueen välisellä käytävällä sekä maalaamon ja kokoonpanotilan välillä.

Maalaamon sisäisessä käytössä Vaunu 2 ei ole parhaimmillaan. Koska Vaunu 2:ssa ei ole nousevaa teliä, jolla voisi nostaa kuorman ylös esimerkiksi alustan kanssa, olisi turhaa työtä maalaamon työvaiheiden välissä nostella maalattavia runkoja vaunun päälle ja pois. Samalla katoaisi alkuperäinen idea, jossa ylimääräisiä nostoja yritetään karsia pois.

Maalaamon ja tuotantotilan välisissä siirroissa vaunu toimii myös, mutta jos vaunuja on käytössä pelkästään yksi, olisi sen järkevämpää olla käytössä käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välisellä käytävällä. Tällöin vaunua ei tarvitsisi siirrellä erikseen paikasta toiseen siirtoa varten. Jos vaunu olisi käytössä pelkästään maalaamon ja tuotantotilan välissä, runkoja pystytään kyllä siirtelemään helposti, mutta vaunun suuri koko hankaloittaa sen varastointia silloin, kun sitä ei käytetä.

Jos lyhyet siirrot (esimerkiksi työpisteiden välillä) tehdään kattosiltanosturilla, on tällä vaunulla mahdollista tehdä pidempiä siirtoja kokoonpano- ja käyttöönottoalueiden välillä. Maalaamon ja kokoonpanotilan välillä vaunua käytettäessä maalattu runko joudutaan nostamaan nosturilla vaunun päälle ja siirtää maalaamon ulkopuolelle seuraavaan pisteeseen, josta se voidaan nosturilla siirtää kokoonpantavaksi tai odottamaan kokoonpanoa.

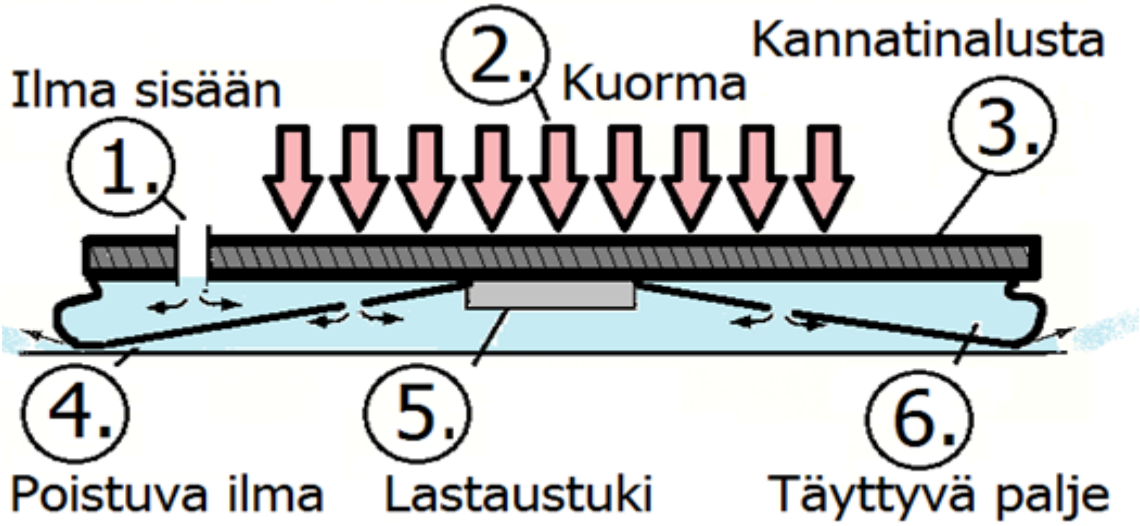
Ulkokäytössä kohdeyrityksellä vaunu on turvallinen, mutta hidas. Jos ulkokäyttö olisi esimerkiksi toimittajilta tulevien runkojen ja osien siirto kuorma-autolta varastoitavaksi, tarvitsisi siihen yhden trukin purkamaan kuorman ja toisen trukin kuljettajineen operoimaan vaunua. Tällaisessa käytössä ylimääräisten nostojen määrä kasvaa, kun palkkeja tai runkoja pitäisi nostella moneen kertaan.

Tulevaisuuden kannalta vaunu 2:lle ei ole juurikaan erityisiä kehityksen kohteita, koska siinä ei ole erillisiä toimintoja, eikä sitä voi erityisesti käyttää muuhun kuin pelkkiin siirtoihin. Huoltotoimenpiteiden kannalta vaunu on vähätöinen, sillä ainoat kuluvat osat ovat käytännössä renkaat, niiden laakerit sekä vetoaisan pallonivel. Vaunu 2:n toiminnallisuus keskittyy enimmäkseen sisätiloissa tapahtuviin siirtotehtäviin ja on hyvä linkki nosturisiirtojen välillä.

4.2 Ilmatyynyvaunu

Ilmatyynyvaunut (engl. air bearing, air caster) ovat raskaiden taakkojen siirtojärjestelmiä, jotka perustuvat ilmatyynyteknologiaan. Ilmatyynyvaunutekngologia on General Motorsin 1950-luvulla kehittämä teknologia, jota on käytetty muun muassa 1980-luvulla F-18 Hornetin valmistuksessa, sekä avaruussukkulan lähtörakettien valmistuksessa (Mollohan, G. 2015). Nykyään useat yritykset eri toimialojen parissa käyttävät ilmatyynyvaunuja raskaisiin siirtoihin. Ilmatyynyvaunujen suuria valmistajia on vain kourallinen, mutta yksi valmistaja on suomalainen. Menestyksestään huolimatta teknologia on ollut suhteellisen tuntematon ja sitä onkin kutsuttu maailman voimakkaimmaksi teknologiaksi, josta kukaan ei ole kuullut (Mollohan 2015)

Ilmatyynyvaunujen toteutuksia on monenlaisia riippuen käyttötarkoituksesta, mutta perusidea on kaikissa sama. Vaunun alla on yksi tai useampi ilmatyynyelementti, johon pumpataan korkealla paineella ilmaa. Aluksi kannatinalustan alla oleva, yleensä polyuretaanista, neopreenistä tai muusta kumimaisesta aineesta valmistettu palje (Mollohan 2015) on tyhjä ja vaunu makaa lastaustuen päällä. Palje on toruksen muotoinen eli kansankielisesti donitsin muotoinen. Kun ilman sisäänottoaukkoon johdetaan paineilmaa, täyttää se palkeen samalla nostaen kuorman ylös (kuva 17). Riippuen laitteistosta, vaunun korkeuden muutos on muutamista senttimetreistä noin kymmeneen senttimetriin.



Kuva 17. *Ilmatyynyelementin toimintaperiaatekuva (Hovair Systems 2017a).*

Palkeessa on reikiä, joista ilma pääsee vuotamaan palkeen alle ja sitä kautta ulos systeemin alta. Palkeen ja lattiatason väliin jää erittäin ohut, noin 0,07-0,13 mm paksu ilmakerros, jonka ansiosta vaunu ikään kuin leijuu, jolloin lattian ja palkeen välinen kitkakerroin on erittäin pieni (Massenburg 2016). Kitkakerroin mielletään niin pieneksi, että systeemi on lähes kitkaton. Joidenkin valmistajien mallistoissa on mahdollista valita ratkaisu, jossa palje on umpinainen. Umpinaisen palkeen tilanteessa ilmapatjan muodostava vaunun karkaava ilma johdetaan palkeen alle omasta, erillisestä venttiilistä.

Lattian kuluminen itse laitteiston takia on vähäistä. Laite jakaa massan suurelle pinta-alalle, joten pintapaine pysyy pienenä eikä vaurioita lattiaa. Myös kitkattomuuden takia lattian ja itse nostimen kuluminen on hyvin vähäistä. Laitteisto ei tarvitse kiinteitä asennuksia, kuten kiskoja lattiaan, ellei ole välttämätöntä rajoittaa nostimen liikettä joissain paikoissa.

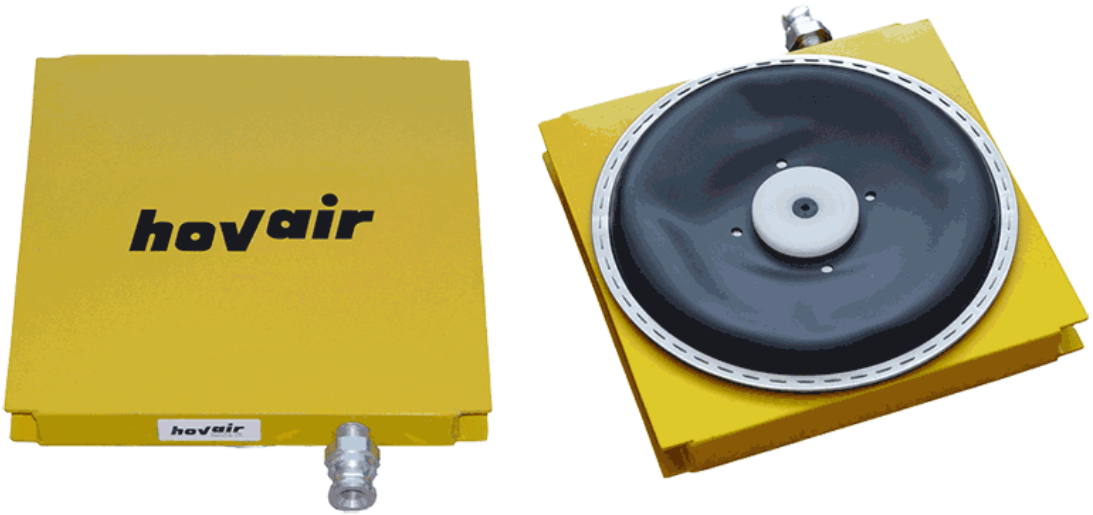
Suurien massojen liikuttaminen ilmatyynyvaunulla vaatii erittäin vähän voimaa. Useimmilla lattiatyypeillä 1000 kg painava kuorma saadaan liikkeelle vain 1-5 kg voimalla. Käytännössä tuhansia kiloja painavia koneita voidaan siirtää muutaman ihmisen voimin (Massenburg 2016). Kitkattomuuden ansiosta kuormat on erittäin helppo paikoittaa tarkasti ahtaissakin tiloissa, koska kuormaa voi liikuttaa mihin tahansa suuntaan vaakatasossa.

4.2.1 Ilmatyynyvaunujärjestelmä

Laitteistosta riippuen, kuorma voidaan lastata suoraan nostimen päälle esimerkiksi nosturilla. Toinen vaihtoehto on pitää kuormaa, esimerkiksi kokoonpanoa lavetilla, jonka alle vaunu voidaan ajaa ja sitten nostaa kuorma ylös siirtoa varten, ikään kuin pumppukärryllä.

Riippuen valmistajasta, tuoteportfolioissa on valittavana monenlaisia ratkaisuja eri kokoisille tarpeille muutamien satojen kilojen kuormien siirtelyyn tarkoitetuista laitteista satojen tonnien painoisiin kuormiin. Suurempimassaisten kuormien siirtelyyn tarkoitetuissa järjestelmissä on useimmiten kauko-ohjaimella varustettu ohjausjärjestelmä ja vaunun alla vetävä ja kääntyvä pyörästö, minkä ansiosta suurienkin massojen siirtely on helppoa. Suurimmat järjestelmät voidaan jopa varustaa omalla kompressorijärjestelmällä, kun pienemmät vaativat erillisen paineilmaliitännän kompressorista.

Pienemmät järjestelmät voivat olla modulaarisia, muutamista (tasapainon säilyttämiseksi yleensä vähintään kolmesta) ilmatyynyvaunumoduuleista (kuva 18) koostettuja järjestelmiä. Yksittäiset moduulit kytketään kiinni paineensäätimeen, josta painetta voidaan ohjata käsin.



Kuva 18. *Yksi ilmatyynyvaunumoduuli (Hovair systems 2017b).*

Modulaaristen järjestelmien etuna on niiden muokattavuus moniulotteisten kuormien siirtelyssä. Toisin sanoen, jos kuormalla on tukijalkoja ynnä muita vastaavia tukea tarvitsevia pisteitä, on ilmatyynyvaunumoduuli helppo sijoittaa oikeaan kohtaan noston onnistumisen varmistamiseksi. Yleensä valmistajat räätälöivät asiakkaalle parhaiten sopivan ratkaisun.

Ilmatyynyvaunujärjestelmät ovat yleisesti hyvin turvallisia. Jos lattia on vaakatasossa ja täyttää järjestelmän vaatimukset, ei ole vaaraa, että nostin lähtisi massan kanssa luistamaan omia aikojaan painovoiman takia. Laitteet ovat yleisesti hyvin matalia, riippuen mallista. Esimerkiksi eräs 40 t nostokapasiteetin vaunu on mitoiltaan 4,5 m pitkä, 2,6 m leveä ja vain 25 cm korkea (Solving 2018a). Mataluuden takia myös kuorman painopiste pysyy alhaisena, jolloin kaatumis- tai putoamisriski pysyy huomattavasti pienempänä verrattuna korkeisiin nostolaitteistoihin. Koska rakenne on ilmatyynyn takia joustava, turvallisuutta lisää osakseen myös se, että rakenne vaimentaa värähtelyitä, jotka saattaisivat aiheuttaa kuormalle vahinkoa.

Käyttöympäristö pysyy ilmatyynyvaunujärjestelmän myötä puhtaana. Koska laitteen alla on koko ajan keskeltä ulospäin puhaltava ilmapatja, se ikään kuin pyyhkii pölyä ja likaa liikkuessaan - tai ainakin siirtää sitä sivulle. Tällöin lattian puhtaanapito on helpompaa, joskin pölyä saattaa nousta ilmaan. Laitteisto itsessään saattaa kerätä likaa erityisesti palkeeseen, mutta se on helppo puhdistaa esimerkiksi miedolla pesuaineseoksella tai asetonilla (Massenburg 2006).

Yksinkertaisimmissa ja pienimmissä järjestelmissä huoltotarve on erittäin vähäinen, koska liikkuvia osia ei juurikaan ole eikä tämän takia voitelua tarvita. Raskaammat järjestelmät vaativat enemmän huoltoa, koska niissä on esimerkiksi vaunua liikuttavia renkaita, sähkö- ja ohjausjärjestelmiä sekä muita toiminnallisia osia, jotka saattavat käytössä

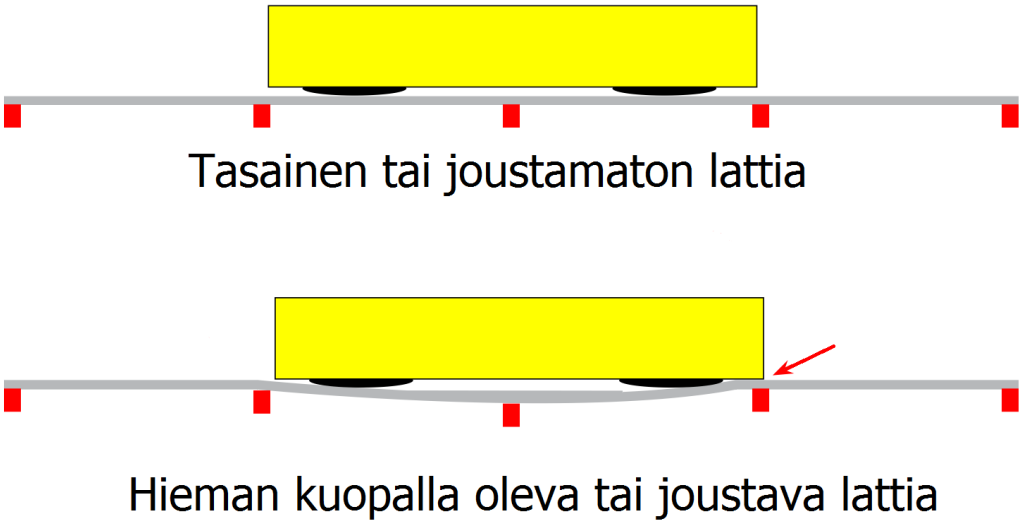
kulua nopeammin. Ilmatyynyvaunut ovat erittäin yksinkertainen ja monipuolinen vaihtoehto raskaiden ja erittäin tarkkojen siirtojen suorittamiseen.

4.2.2 Toimintaympäristön vaatimukset

Ilmatyynynostinjärjestelmän optimaalinen käyttö asettaa joitain vaatimuksia, lähinnä toimintaympäristölle. Tärkeimpänä vaatimuksena on ehdottomasti lattian laatu. Laite itsessään ei kitkattomuuden takia pilaa lattiaa, mutta muut lattialla tehtävät toimenpiteet, esimerkiksi trukilla ajaminen tai tavaroiden pudottelu haittaavat sitä pidemmän päälle. Aina, jos lattiassa on pienikin rako, kuoppa tai halkeama, ilma pääsee vuotamaan rakoa pitkin pois nostimen alta, jolloin laitetta leijuttava ilmapatja hajoaa ja noste katoaa. Lattian laadulla on merkittävä vaikutus ilmankulutukseen sekä siirtämiseen tarvittavan voiman määrään.

Lattian pinta tulee olla sellaista materiaalia, että pinta ei ole huokoinen tai karkea, vaan tasainen ja tiivis. Huokoisen materiaalin pinnassa on pieniä reikiä, joista ilma pääsee karkaamaan väärään paikkaan tuottamatta tarvittavaa nostetta. Jos lattian laatu on liian karkea, sama ilmiö havaitaan myös tällöin. Lisäksi liian karkea materiaali saattaa vahingoittaa nostimen ilmapaljetta. Toimivia vaihtoehtoja lattiamateriaaleiksi ovat esimerkiksi hyvin pinnoitettu tiivis betoni, kiillotettu puulattia, linolimatto, vinyylimatto tai tasainen teräslevy. Teräslevyjä käytetään yleensä lähinnä väliaikaisiin siirtoihin. (Hovair Systems 2006).

Erittäin tärkeänä, myös turvallisuuteen vaikuttavana seikkana on huomioitava, että lattian tulee olla lähes vaakatasossa. Jos lattia on vinossa ja kuorma on nostettuna nostimen päälle, lähtee kuorma liikkumaan itsestään alamäkeen. Hallitsematon kuorman liikkuminen saattaa aiheuttaa massiivista vahinkoa kuormalle tai lähellä oleville ihmisille ja laitteille. Jos lattiassa on isosäteisiä kuoppia tai korkeuseroja, saattaa nostimen toiminta tällöinkin häiriintyä, varsinkin jos korkeuserot ovat suuria. Useimmilla valmistajilla on omat rajansa kuinka paljon lattian korkeuseroa lattiassa saa olla tietyllä pinta-alalla tai matkalla. Kuopat saattavat aiheuttaa sen, että nostimen reunat ottavat maahan ja jumiuttavat nostimen. Joissain tapauksissa lattian tai alustan taipuminen massan alla tulee myös ottaa huomioon, samasta syystä kuin kuopatkin (kuva 19).



Kuva 19. *Havainnekuva tilanteesta, jossa lattia on hieman kuopalla tai joustava. Nuoli osoittaa kohtaan, jossa vaunu osuu lattiaan (Hovair Systems 2006).*

Jos tarkoituksena on valaa uusi betonilattia, tulee betoniseoksen olla sellaista, että se ei tulevaisuudessakaan kutistu ja sen myötä halkeile. Kaikista pienimmät hiusmurtumat tai halkeamat betonissa eivät vielä haittaa, mutta on olemassa aina riski halkeamien tai rakojen kasvamisesta ajan myötä niin suuriksi, että ilma pääsee sen kautta vuotamaan pois. Uuden valun tulee olla kulutusta kestävä, ettei mikään muukaan vahingoittaisi lattiaa. Betonilattian pintakerroksen suositellaan olevan metallitasoituslastalla tasattu. Jatkoliitoksia ja saumoja tulee välttää valussa. (Hovair Systems 2006). Vanhatkin betonilattiat toimivat, kunhan lattian kunto tarkastetaan käyttöalueella ja tarvittaessa tiivistetään ja paikataan virheet asianmukaisesti.

Tilapäisesti voidaan käyttää alustana myös metallilevyjä. Metallilevyt sopivat erityisesti tilanteisiin, joissa on tarkoituksena ylittää este, kuten viemäri tai sauma. Jos metallilevyjä tarvitaan useita, tulee saumat tiivistää asianmukaisesti. Jos metallilevyjä on useita päällekkäin ja ne muodostavat portaat, tulee portaiden saumat tiivistää esimerkiksi teipillä. Hovair Systemsin lattian suositusten mukaan (Hovair Systems 2006) tilanteessa, jossa metallilevyjä on useita päällekkäin portaiden muodossa, tulisi laitteella liikkua pelkästään alamäkeen, koska ylämäkeen liikuttaessa levyjen reunat saattavat vahingoittaa palkeita. Kuitenkaan pitkäaikaisratkaisuna metallilevyt eivät ole hyvä vaihtoehto. Jos levyjä pidetään samassa paikassa ja niiden yli kuljetaan esimerkiksi trukilla, alkavat ne pikkuhiljaa taipua ja muotoutua renkaiden alla.

Lattian vaatimusten lisäksi laitteisto vaatii luonnollisesti erittäin paljon paineilmaa toimiakseen. Esimerkiksi eräs järjestelmä, jonka kapasiteetti on 14 t, kuluttaa noin 3600 normaalilitraa minuutissa (Solving 2018b). Jos ilman määrä ilmoitetaan normaalilitroina, se tarkoittaa noin 1 bar paineessa ja 20 °C lämpötilassa olevaa ilmaa (NTP-tilassa olevaa) eli Normal Temperature and Pressure. Eli paineistettua ilmaa tarvitaan huomattavasti vähemmän, riippuen järjestelmän painetasosta. Normaalilitra on käytännössä suhdeluku

paineistetun ilman ja ei-paineistetun ilman välillä. Jos ilmankulutus ilmoitetaan normaalilitroina, ei tarvitse erikseen ilmoittaa tarvittua painetasoa, koska eri kulutuksen perusteella pystytään laskemaan painetaso tilavuusvirran kautta. Jos kompressorin tuotto ei yksinään riitä, voidaan kompressorilla tuottaa ilmaa erilliseen paineilmasäiliöön, jota käytetään pelkästään nostimen käyttöön.

Paineilman takia on tärkeää muistaa, että tarvitaan myös letku, jota pitkin paineilma saadaan siirrettyä kompressorilta nostimelle. Letkun pituuden tulee olla tarkoituksenmukaisesti mitoitettu. Joissain malleissa on sisäinen letkukela, joten letkua ei tarvitse itse kelata tai säilyttää maassa. Järjestelmän toiminnalle on useita, melko rankkojakin vaatimuksia, mutta ne ovat elintärkeitä järjestelmän toiminnan varmistamiseksi.

4.2.3 Ilmatyynyvaunujen käytettävyys kohdeyrityksessä

Ilmatyynyvaunujen käytölle kohdeyrityksen uudessa toimitilassa ei varsinaisesti ole esteitä. Kuitenkin aiemmin mainitut toimintaympäristön vaatimukset luovat haasteita, jotka tulisi ottaa huomioon jo toimitilojen rakennusvaiheessa. Tärkeimpiä ovat lattian laatu sekä riittävän paineilman takaaminen.

Käytettävyyden kannalta ilmatyynyvaunuilla on useita etuja. Laitteet ovat pääsääntöisesti matalia, joten ongelmaa liian korkeasta painopisteestä ei synny. Myös laitteiden mittasuhteet ovat yleisesti melko pienet verrattuna esimerkiksi pyörillä kulkeviin vaunuihin, joten laitteiston säilyttäminen ei vie liikaa tilaa muulta toiminnalta.

Kohdeyrityksen käytössä erityisesti moniulotteisten materiaalinkäsittelylaitteiden siirteleminen ilmatyynyvaunulla on varteenotettava ajatus. Nykytilanteessa, jossa joitain laitteita joudutaan kuljettamaan osaksi trukilla ja osaksi pumppukärryllä, olisi modulaarinen ilmatyynyvaunujärjestelmä erittäin hyvä vaihtoehto. Modulaarisen järjestelmän käyttäjä saa itse asettaa nostinpaletit sopiville kohdille valmiin koneen jalkojen alle, jolloin saadaan turvallinen ja tasainen nostaminen taattua. Ja vaikka nostimet olisivat väärissä paikoissa, vahingon syntyminen on epätodennäköistä, koska nostimet nostavat runkoa ylös vain joitain senttejä. Tällöin kuitenkin tulisi ottaa huomioon paineilmalinjojen riittävä pituus ja ulottuvuus esimerkiksi kokoonpanoalueen ja käyttöönottoalueen välillä.

Levytyökeskusten ja levyleikkureiden kokoonpanojen siirtelyyn toimivampi ratkaisu olisi noin koneen kokoinen ilmatyynyalusta, jonka päälle kone voitaisiin nostaa liikuttelua varten, tai vaihtoehtoisesti kokoonpano voitaisiin tehdä kuljetusalustan päällä, jonka alle ilmatyyny voidaan ajaa ja sen jälkeen nostaa kokoonpano ilmaan kuljetusalustoineen. Tällainen ratkaisu toimisi esimerkiksi maalaamossa, maalaamon ja kokoonpanotilan välisessä siirtelyssä sekä valmiin kokoonpanon siirtämisessä käyttöönotettavaksi. Näissä tapauksissa taas tulee ottaa huomioon erityisesti paineilmalinjojen pituuden riittävyys.

Maalaamon sisäisesti sekä maalaamon ja kokoonpanotilan välillä ilmatyynynostimia pystyy käyttämään, jos maalaus onnistuu nostimen tai nostoalustan päällä. Maalaamossa, erityisesti maalauskammiossa kuitenkin ongelmia saattaa tuottaa maahan jäävä maali, erityisesti jos se kerrostuu ja luo huokoisen pinnan lattiaan, jolloin nostava ilmapatja pääsee karkaamaan. Maalaamon ja kokoonpanotilan välillä nostin kuitenkin olisi kohtuullinen vaihtoehto, koska maalaamon ovilla 1 ja 2 voisi esimerkiksi olla nostimella liikuteltava nostoalusta, jolla runko voidaan siirtää esimerkiksi puskurivarastoon odottamaan tai suoraan kokoonpantavaksi. Etuna tässä tapauksessa on laitteen koko eli ei tee tiukkaa mahtua laiteella eri väleistä.

Ilmatyynyvaunujen käyttö sopii kohdeyritykselle siltä kannalta, että se sopii raskaiden taakkojen käsittelyyn ahtaissa tiloissa. Se myös ulottuu sinne, mihin siltanosturilla ei ulotu. Suurimpina haittapuolina ovat kuitenkin lattian laadun vaatimukset sekä se, että paineilmalinjojen tulee ulottua niin pitkälle kuin siirtoja on tarve tehdä. Tietysti on mahdollista sijoittaa halliin useita nostimelle sopivia paineilmaliitäntöjä, mutta tällöin turhaa aikaa kuluu liitännän vaihtamiseen siirtojen välillä.

4.3 Koneensiirtorullastot

Koneensiirtorullastot, joita joskus kutsutaan haalausrulliksi, ovat yksinkertainen ratkaisu, jota käytetään kevyiden ja raskaiden kuormien siirtelyyn, yleensä sisätiloissa. Rullastot ovat suhteellisen matalia, jopa alle 20 cm korkeudeltaan. Tarkoituksena on nostaa siirrettävä kuorma rullastojen päälle esimerkiksi nosturilla, trukilla, kangella tai esimerkiksi tunkilla. Rullastojen etuina ovat erittäin matala kuorman painopiste, niiden modulaarisuus ja pieni koko. Modulaarisuudesta johtuen rullastoja voidaan käyttää erilaisina yhdistelminä, eikä pelkästään tiettyjä toimittajan määritteleminä rullakokonaisuuksina. Rullia voidaan asettaa kuorman alle eri pisteisiin, jolloin on helpompaa kuljettaa moniulotteisia rakenteita.

4.3.1 Rullastotyyppejä

Rullastoja on saatavilla useita erilaisia tyyppejä (esimerkiksi kuvat 20 ja 21) ja rullastojen kantavuudet vaihtelevat muutamista sadoista kiloista jopa sataan tonniin, joten käyttö on monipuolista. Kuvassa 20 näkyvässä rullastossa taaemmat, vapaasti liikkuvat rullat ovat yhdistetty toisiinsa metallitangolla, jossa on etäisyyden säätämisen sallivat kiinnityskohdat. Joissain rullastoissa renkaat ovat laakeroituja siten, että ne kääntyvät pystyakselinsa ympäri jopa 360 astetta.

Kuva 20. *Modulaarinen siirtorullasto, jossa trukkiin kiinnitettävä vetoaisa. Kuvan mallissa takaosan leveys on säädettävä (Jung 2018).*

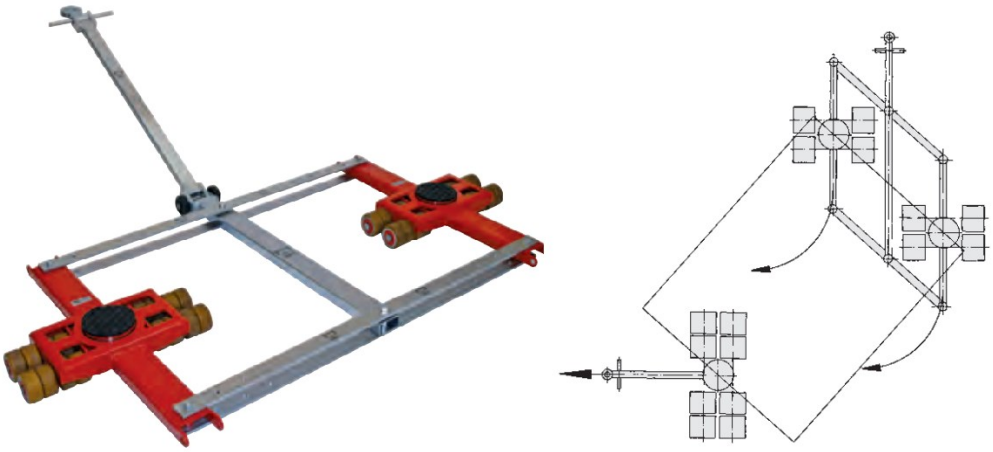
Riippuen mallista rullastossa saattaa myös olla kiinnityspiste kuormaliinalle. Kuvassa 21 esiteltyjä rullastoja voidaan yhdistellä esimerkiksi kuvassa 20 esitellyn vetoaisallisen rullaston kanssa eli käyttöä ei ole rajoitettu vain tiettyyn malliyhdistelmään. Kuitenkin huomiota tulee kiinnittää mahdollisiin korkeuseroihin, koska kaikki rullastot eivät ole saman korkuisia.

Kuva 21. *Erilaisia koneen alle sijoiteltavia rullastotyyppejä (Jung 2018).*

Erään valmistajan rullastoissa on käytössä Juwathan® -pyörät, joissa teräsytimen ympärille on valettu Juwathan-päällinen. Valmistaja ei ilmoita tarkemmin päällisen materiaalia. Juwathan® Plus ja Professional-malleissa on teräksisen ytimen tilalla alumiininen ydin, jonka päällä on polyuretaanipohjainen pohjamateriaali, joka on sidottu alumiiniytimeen. Valmistajan mukaan tämä rakenne vähentää vierintävastusta ja renkaan painoa lähes 30 prosenttia. Pyörät ovat varustettu kahdella laakerilla. (Jung 2018).

Juwathan® -pyörät ovat hinnaltaan kalliimpia, mutta korkeamman laadun myötä niillä on korkea kulumiskestävyys ja sen takia rullien vaihtovälit pidentyvät (Toolwell 2018). Suomalaisen toimittajan mukaan tarvittava liikkeellelähtövetovoima on parhaimmillaan 3-6 % kuorman painosta (Osatek 2018b). Viitaten puhelinkeskusteluun (Osatek 2018a) Juwathan® pyöriä ja rullastoja toimittavan tavarantoimittajan kanssa, Juwathan® pyörät ovat siitä hyviä, että ne rullaavat esimerkiksi pienten kivien tai koneistuslastujen yli, eivätkä jää niihin jumiin, kuten esimerkiksi tavalliset teräspyörät.

Saman valmistajan mallistoon kuuluu niin kutsuttuja tandem -mallisia rullastoja (kuva 22), jossa on kaksi tukipistettä, jotka on kytketty toisiinsa tangoilla. Tangot ovat nivellettyjä ja tankoon on kytketty vetoaisa, joten leveämmänkin kuorman kuljettaminen onnistuu, eivätkä käännökset ole esteenä käytölle. Tandem -rullaston avulla vedettävään päähän saadaan kaksi tukipistettä, jolloin rungon painopiste pysyy helpommin rullien rajaaman tukipinta-alan sisällä.



Kuva 22. *Tandem -mallinen rullasto sekä sen toimintaperiaate (Jung 2018).*

Pienimpiä ja kevyempiä kuormia rullastoilla voi helposti liikuttaa käsivoimin, mutta raskaampien taakkojen siirtelemiseen on muutamia mahdollisuuksia. Ensimmäinen mahdollisuus on kiinnittää rullat trukkiin tai muuhun vetolaitteeseen. Toinen mahdollisuus on käyttää akkukäyttöistä sähkömoottorilla toimivaa itsevetävää rullastoa (kuva 23). Kolmas mahdollisuus on paineilmatoiminen rullasto, jossa vetopyörät saavat voimansa ulkoisesta paineilmajärjestelmästä (kuva 23).

Kuva 23. *Ylempänä akkukäyttöinen, kauko-ohjaimella ohjattava vetorulla, alempana paineilmakäyttöinen vetorulla (Jung 2018).*

Valmistajan mukaan sekä akku- että paineilmakäyttöiset vetorullat ovat 360° kääntyviä eli vaikka kuorma olisi laskettuna rullaston päälle, sitä on mahdollista pyörittää 360°. Paineilmaversiossa on kuitenkin mahdollista, että letku saattaa tulla eteen tai jäädä alle. Molemmissa malleissa nopeudensäätö on portaaton eteen ja taakse. Akkukäyttöisen kauko-ohjattavan mallin käyttöaika on noin 3-6 tuntia täydellä lastilla ideaaliolosuhteissa mallista riippuen. Paineilmatoiminen laite ei tarvitse sähköä, mutta paineilmaa se tarvitsee 1500 l/min 8 bar painetasolla. Sähkötoimisen laitteen lastauskapasiteetti on 15-25 tonnia riippuen mallista ja vetokapasiteetti 30-50 tonnia riippuen mallista. Paineilmaversion lastauskapasiteetti on 15 tonnia ja vetokapasiteetti 30 tonnia.

4.3.2 Rullastojen sopivuus käyttötarkoitukseen

Kohdeyrityksen käyttötarkoitukseen rullastot sopivat erittäin hyvin niiden modulaarisuuden, pienen koon ja suuren kapasiteetin vuoksi. Erityisen hyvän ratkaisun rullastoista tekee se, että ne ovat suhteellisen edullisia, paitsi akku- ja paineilmakäyttöiset mallit. Rullastojen etuna on myös alhainen painopiste, joten jos kuorma on lastattu rullaston päälle oikein, ei kaatumisen vaaraa ole. Osa rullastoista on varustettu myös kiinnityspisteillä kuormaliinoille, joten sekin lisää turvallisuutta omalta osaltaan.

Kuitenkin sähkö- ja paineilmatoimisissa rullastoissa itse laakeripöydällä olevan kääntyvän kuormaustuen koko on suhteellisen pieni, noin 20-30 cm halkaisijaltaan, riippuen mallista. Muissakin rullastoissa kuormaustuki on halkaisijaltaan 15-22 cm, mutta muissa kyseisen valmistajan malleissa on mahdollista käyttää esimerkiksi kahta rullastoa vierek-

käin paremman tukialustan saamiseksi. Viitaten puhelinkeskusteluun (Osatek 2018a) toimittajan kanssa, rullastojen valmistajalta on myös mahdollista saada kustomoituja malleja tilauksesta.

Maalaamosta tuotantotilaan siirtelyyn rullastot ovat erittäin hyvä vaihtoehto. Koska eri korkuisia rullastoja voidaan yhdistellä, on mahdollista siirtää koneiden runkoja, joiden tukipisteet eivät ole samalla korkeudella. Rullaston vetopääty voidaan kiinnittää trukkiin, jolloin raskaampaakin runkoa pystytään siirtämään helposti. Tarpeen vaatiessa on myös mahdollista siirtää runkoa nostamalla toinen rungon pääty rullaston päälle ja toinen pääty trukin piikeille, joskin tällöin turvallisuusnäkökulmasta siirto ei ole paras mahdollinen.

Pieneksi ongelmaksi runkoja kuljetettaessa kuitenkin tulee tiettyjen vetorullastojen lastauspinnan pieni halkaisija, joka kuitenkin on ratkaistavissa esimerkiksi säädettävällä Tandem-rullastolla, jonka leveyttä voi säätää. Tandem -rullaston avulla vedettävään päähän saadaan kaksi tukipistettä, jolloin rungon painopiste pysyy helpommin rullien rajaaman tukipinta-alan sisällä. Rullaston vetopääty voidaan kiinnittää trukkiin, jolloin raskaampaakin runkoa pystytään siirtämään helposti. Tarpeen vaatiessa on myös mahdollista siirtää runkoa nostamalla toinen rungon pääty rullaston päälle ja toinen pääty trukin piikeille, jos runko on massan puolesta nostettavissa käytettävissä olevalla trukilla. Tosin tällöin turvallisuusnäkökulmasta siirto ei ole paras mahdollinen.

Käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välistä käytävää pitkin valmiiden koneiden kuljettamiseen rullat sopivat myös erittäin hyvin. Tässä tapauksessa on helppo nostaa valmis kone rullien päälle nosturilla ja siirtää rullien päällä olevaa konetta trukilla. Valmiiden laitteiden moniulotteisuuskaan ei koidu ongelmaksi, sillä rullia on mahdollista asettaa tukipisteiden alle tarpeen mukaan. Rullilla kuljetettaessa kuorman massakaan ei heti tule ongelmaksi, sillä lisäämällä koneen alla olevia rullia, myös kokonaiskantavuus kasvaa.

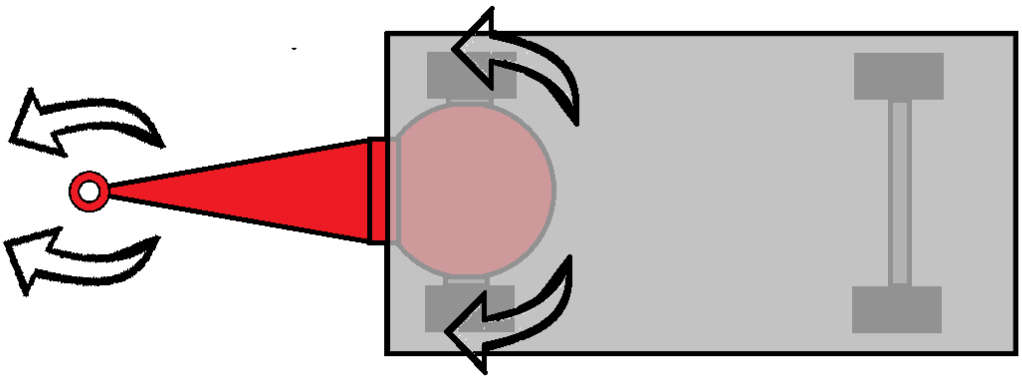
Kulumisen puolesta rullastot ovat erittäin kestävä ratkaisu. Käytännössä ainoat kuluvat osat rullastoissa (pois lukien akku- ja paineilmakäyttöiset rullastot) ovat laakerit ja renkaat. Kuten aiemmin on jo mainittu, rullastojen Juwathan® -renkaat ovat kulutusta kestäviä, joten rullastojen käyttöiän odote on pitkä.

4.4 Koneensiirtolavetti

Eräs vaihtoehto, erityisesti käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välistä käytävää pitkin kuljettamista varten on koneensiirtolavetti, jota vedetään trukilla tai erityisesti vetotarkoitukseen tarkoitetulla vetovaunulla. Kohdeyrityksellä on tällä hetkellä käytössä koneensiirtolavetti (kuva 24), mutta kyseinen lavetti on mitoiltaan liian kapea ja korkea. Tietyt konemallit joudutaan asettamaan alustalle joko vinoon, tai niitä joudutaan tukemaan lankuilla, jotka ulottuvat vaunun reunojen yli. Korkeus taas aiheuttaa suuremman riskin koneen kaatumiselle esimerkiksi vahingossa tapahtuneiden äkkinäisten liikkeiden seurauksena.

Kuva 24. *Nykyään käytössä oleva koneensiirtolavetti.*

Nykyisessä vaunussa on korkeuden ja leveyden lisäksi toinenkin ongelma. Vaunu on aisaohjattava eli siinä on pystyakselin ympäri laakeroitu etuakseli. Vaunu kiinnitetään trukkiin vetoaisastaan, joten siinä on kaksi kääntyvää nivelkohtaa, kuten rekan täysperävaunussa. Tämän vuoksi vaunua on erittäin hankala ohjata varsinkin peruutettaessa, sillä vaunu saattaa lähteä kääntyilemään arvaamattomasti. Kuvassa 25 on esitelty nykyisen kärryn toimintaperiaate ja nuolet näyttävät kohdat, joista vaunu on nivelletty.



Kuva 25. *Nykyisen vaunun toimintaperiaate. Laakeroitu kääntöpöytä on eturenkaita yhdistävä punainen ympyrä, johon vetoaisa on kiinnitetty.*

Tärkeimmät lavetilta vaadittavat ominaisuudet ovat alhainen korkeus, helppo ohjattavuus, noin 6,5 m pituus ja noin 2,5 m leveys, jolloin siirreltävät laitteet mahtuvat lavalle. Vaunun rakenteellisella nopeudella ei ole merkitystä, koska turvallisten siirtojen saavuttamiseksi ei ole tarkoituksenmukaista siirtää kuormia suurilla nopeuksilla, vaan rauhallisesti.

4.4.1 Toimittajan 2 tarjoama koneensiirtolavetti

Toimittaja 2 valmistaa sekä vakiotuotteina, että mittatilauksena asiakkaan toiveiden mukaan logistiikkajärjestelmiä, kuten aiemmin mainittuja siirtorullastoja. Kyseinen toimittaja toimittaa myös vedettäviä siirtovaunuja, jotka ovat erittäin matalia ja omaavat suuren kuormankantokyvyn. Vaunut valmistetaan mittatilauksena. Samalla valmistajalla on olemassa myös siirtovaunumalli, joka on erittäin matala ja omaa suuren kantavuuden.

Kyseinen malli on toimittajan mukaan valmistettu hitsatusta teräsrungosta, jonka päällä on vanerista valmistettu kuormausalusta. Kuormausalustan pituus on 6 m ja leveys on 2,2 m. Kyseisen vaunun kuormankantokyky on 22 000 kg. Mitoiltaan ehdotettu vaunu on 6,6 m kokonaispituudeltaan ja kuorman lastauskorkeus on 0,4 m. Vaunu täyttää mitoiltaan vaatimukset kuormien siirtelyyn. Toimittaja ilmoittaa, että vaunun maksimi rakenteellinen nopeus on 2 km/h. Vaunussa käytetään kappaleessa 4.3.1 mainittuja Juwathan®-pyöriä, joiden halkaisija on 200 mm ja leveys 80 mm. Pyöriä vaunussa on 24, jotta tavoitekantavuus 22 000 kg saavutetaan. Vaunu on varustettu säädettävällä vetotangolla, joka voidaan kiinnittää koukusta vetolaitteeseen, kuten trukkiin.

Turvallisuusnäkökulman kannalta vaunulla on useita etuja. Matalan painopisteen takia kuorman kaatuminen on epätodennäköistä. Matalan korkeuden takia on turvallista myös irrottaa nosturilla nostamisen jälkeen nosturin koukut kuormasta. Myös matala rakennenopeus rajoittaa siirtonopeutta siten, että äkkinäisiä liikkeitä ei pitäisi syntyä. Vaunun toimittaja ilmoittaa, että vaunu täyttää sekä EU:n konedirektiivin 2006/42EC vaatimukset, sekä koneturvallisuusstandardit SFS EN ISO 12100-1 ja SFS EN ISO 12100-2.

4.4.2 Koneensiirtolavetin sopivuus käyttötarkoitukseen

Vetovaunun käyttö kohdeyrityksessä on perusteltua lähinnä kokoonpanoalueen ja käyttöönottoalueen välistä käytävää pitkin tapahtuvissa siirroissa. Vaunua on helppo vetää trukilla tai pelkästään vetämiseen tarkoitetulla laitteella pitkin käytävää. Jos tilaa on tarpeeksi, voidaan vaunulla myös viedä valmis kone suoraan käyttöönottopaikan viereen, josta se voidaan nostaa nosturilla itse käyttöönottopaikalle käyttöönottoa varten.

Maalaamon ja tuotantotilan välisiin siirtoihin kyseinen vaunu ei ole erityisen käytännöllinen. Siirrot vaunulla maalaamon ja tuotantotilan välillä kyllä onnistuvat, mutta muutaman metrin siirtoa varten ei ole järkevää hankkia toista vaunua ja sille mahdollisesti vielä erillistä vetolaitetta. Vaunun mittasuhteet aiheuttavat myös sen, että sitä ei kannata siirrellä käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välisen käytävän ja maalaamon välillä.

Kuten luvussa 4.4.1 mainittiin, vaunu on pienen rakennenopeuden ja matalan rakennekorkeuden ansiosta turvallinen. Mittatilaustuotteisiin on yleensä mahdollista saada kustomoituja ominaisuuksia, joten jos on tarvetta esimerkiksi kiinnityspisteille, joihin voidaan kiinnittää tikapuut nostokoukkujen irrottamista varten, se onnistuu. Kiinnityspisteitä

voi myös itse lisätä jälkeenpäin, kuitenkin siten, että koneturvallisuusstandardin vaatimukset täyttyvät.

Vaikka vetovaunulla on paljon hyviä puolia, huonona puolena on sen ohjattavuus peruutettaessa. Koska vaunussa on kääntyvät eturenkaat, sen työntäminen trukilla tai vetolaitteella on hankalaa, koska tällöin vaunu saattaa lähteä kääntyilemään hallitsemattomasti. Tämän johdosta vaunu tulisi siirtojen välissä joko kääntää, tai nostaa eturenkaat trukilla ilmaan ja sen jälkeen työntää vaunua. Tällöin vain jäykkäakseliset takapyörät osuvat maahan, eivätkä aiheuta hallitsematonta kääntyilyä.

5. PÄÄTELMÄT

Työn aikana vertailluista ja esitellyistä siirtotavoista on kerätty hyviä sekä huonoja puolia ja niiden perusteella on tehty oma ehdotus ratkaisuksi sisälogistiikkaongelmaan, sekä muutamia jatkotoimenpide-ehdotuksia. Kaikilla siirtotavoilla on omat hyvät ja huonot puolensa, eikä mikään niistä varsinaisesti ole tarkoitukseen sopimaton.

5.1 Tulosten esittely ja päätelmät

Siirtotavoista on kerätty taulukkoon 1 merkittävimpiä hyviä ja huonoja puolia käyttötarkoituksen kannalta, sekä käyttökohteet, joihin siirtolaitteet sopisivat pääasiallisesti käytettäväksi. Kaikki ratkaisut ovat omalta osaltaan monipuolisia ja jossain määrin käyttötarkoitukseen sopivia.

Taulukko 1. *Siirtotapojen hyvät ja huonot puolet sekä käyttökohteet.*

Siirtotapa	Hyviä puolia	Huonoja puolia	Käyttökohde
Nostosiirtovaunu	Ulkokäyttömahdollisuus, turvallisuustekijät laitteen suunnittelussa huomioitu, jatkokehitysmahdollisuudet, innovatiiviset toiminnot, kestoikä.	Suuri koko, kömpelyys pienissä tiloissa, kuorman painopiste tarkoitukseen nähden melko korkealla, vaatii raskaan trukin.	Runkojen varastointi, siirtely erityisesti ulkona. Siirrot käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välistä käytävää pitkin.
Vaunu 2	Tukijalat kippaamisen estona, teliakseli, korkeus, kestoikä, kaksi akselia keskellä -> helppo ohjattavuus.	Suuri koko, kömpelyys pienessä tilassa.	Sisällä tapahtuvat siirrot, erityisesti käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välistä käytävää pitkin.
Ilmatyynyvaunu	Modulaarisuus, pieni koko, vähäinen huollon tarve (malliriippuvaista), matala korkeus, turvallisuus oikein käytettynä, kuormankantokyky, helppokäyttöisyys, pieni voima vaaditaan kuorman liikutteluun.	Toimintaympäristön vaatimukset (lattian tasaisuus ja kunto, lattian ylläpito, paineilman tarve).	Riippuen mallista sopivat sekä siirtelyyn maalaamon ja tuotantotilan välillä (jos maalaamon lattian pinta pysyy tasaisena) sekä käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välistä käytävää pitkin.
Koneensiirtorullasto	Modulaarisuus, pieni koko, vähäinen huollon tarve, kestoikä, matala korkeus, kuormankantokyky, helppokäyttöisyys.	Kuormaa kantavan jalustan pinta-ala on pieni, joten kuorma joudutaan asettelemaan rullaston päälle tarkasti.	Siirrot maalaamon ja tuotantotilan välillä, sekä siirrot käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välistä käytävää pitkin.
Koneensiirtolavetti	Matala korkeus, kuormankantokyky, kestoikä, yksinkertainen rakenne.	Suuri koko, kömpelyys pienessä tilassa, ohjattavuus peruuttaessa.	Siirrot käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välistä käytävää pitkin.

Nostosiirtovaunujärjestelmän käyttö olisi järkevää erityisesti runkojen ja runko-osien varastoimiseen ulkona ja se sopisi myös käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välistä

käytävää pitkin siirtelyyn. Ongelmana kuitenkin on se, että nostosiirtovaunun idea katoaa, jos valmis kone pitää ensin nostaa kuorma-alustan päälle ennen siirtoa ja siirron jälkeen nostaa pois alustalta. Nostosiirtovaunujärjestelmä toimisi parhaiten silloin, jos koko kokoonpanotoiminta olisi suunniteltu sen ympärille siten, että itse kokoonpano tapahtuisi nostosiirtovaunuilla siirreltävien kuorma-alustojen päällä ja nostosiirtovaunulla siirteleminen olisi pääasiallinen siirtotapa.

Vaunu 2 toimisi siirroissa erityisesti käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välistä käytävää pitkin. Vaunulla ei ole erityisiä toiminnallisuuksia, se on kuin koneensiirtolavetti, mutta akselisto on keskellä vaunua ja lastauskorkeus on noin 20 cm korkeammalla. Vaunu 2 toimii hyvänä linkkinä nosturisiirtojen välillä.

Ilmatyynyvaunut ovat modulaarisia eli niitä voidaan yhdistellä ja koota pienemmistä moduuleista. Näitä pienempiä vaunumoduuleja voidaan asettaa eri tukipisteiden alle vapaasti, eivätkä ne ole sidottuja yhteen paikkaan. Ilmatyynyvaunuja on myös suurempia järjestelmiä, jotka toimivat suurena siirtoalustana. Ilmatyynyvaunuja voidaan käyttää samalla tavoin kuin nostosiirtovaunujärjestelmää eli niillä voidaan siirrellä alustojen päällä olevia kuormia ensin ajamalla ilmatyynyvaunu alustan alle ja sitten nostamalla ja siirtämällä kuorma. Ilmatyynyvaunun etuja ovat erittäin matala korkeus ja kuorman siirtelyyn vaadittavan voiman vähyys pienestä kitkasta johtuen. Ilmatyynyvaunujen negatiivisena puolena ovat kuitenkin niiden toimintaympäristön vaatimukset, pääasiassa lattian ja saatavilla oleman paineilman suhteen.

5.2 Omat ehdotukset

Vaikka muutkin siirtojärjestelmät ovat käyttötarkoitukseen soveltuvia, erityisesti koneensiirtolavetti ja rullastot ovat parhaita ratkaisuja siirtoihin tässä tarkoituksessa. Ensimmäinen oma ehdotus ratkaisuksi ongelmaan on hankkia maalaamon ja tuotantotilan välisiin siirtoihin muutamia erimallisia koneensiirtorullastoja, joiden avulla voidaan kompensoida runkojen tukipisteiden korkeuseroja. Koneensiirtorullastot ovat esitellyistä siirtotavoista ehdottomasti halvin ja yksinkertaisin ratkaisu eli juuri se, mitä siirtolaitteen on tarkoituskin olla.

Rullastoja voidaan käyttää kyseisessä tarkoituksessa monipuolisesti ja mahdollisesti myös muokata vielä tarkoituksen mukaan, esimerkiksi kehittämällä rullien väliin runkorakenteita, joilla rullastot saadaan tiettyjen konemallien alle oikeisiin kohtiin helposti. Hyvää rullastoissa on myös se, että tarpeeksi kevyitä kuormia siirrettäessä ei tarvita erikseen trukkia vetämään kuormaa, vaan siirto voidaan tehdä käsin työntämällä. Huomioitavana on, että siirtoon vaadittava voima on valmistajan ilmoittamana 3-6% siirrettävän kuorman painosta. Raskaampien kuormien siirtoon taas vaaditaan trukki tai muu vetolaite.

Rullastot sopivat myös käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välistä käytävää pitkin tapahtuviin siirtoihin, erityisesti moniulotteisten ja suurien materiaalinkäsittelylaitteiden kuljettaminen onnistuu rullastoilla hyvin. Rullastojen etuna on myös se, että esimerkiksi ilmatyynyvaunuihin verrattuna, lattian laatu tai puhtaus ei vaikuta siirtoon läheskään yhtä paljoa. Tosin karkeamman lattian myötä myös liikettä vastustavat voimat kasvavat.

Toinen ehdotus käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välistä käytävää pitkin tapahtuviin siirtoihin joko rullastojen rinnalle tai tilalle on koneensiirtolavetti, jolla raskaat siirrot voidaan suorittaa helposti ja turvallisesti painopisteen pysyessä alhaisena. Koneensiirtolavetin etuina ovat sen pinta-ala ja alhainen korkeus. Pinta-alan ansiosta laitteen kuormauspiste ei ole niin tarkka. Lavetilla voidaan tarpeen vaatiessa myös siirtää muita isompia osia tai useampi pieni osa kerralla.

Ensimmäinen oma ehdotus on käyttää pelkästään koneensiirtorullastoja molemmissa kohteissa. Toinen ehdotus on käyttää maalaamon ja tuotantotilan välillä koneensiirtorullastoja ja käyttöönottoalueen ja kokoonpanoalueen välisellä käytävällä käyttää sekä koneensiirtorullastoja että koneensiirtolavettia.

6. YHTEENVETO

Kandidaatintyön tarkoituksena oli suorittaa kohdeyritykselle esiselvitys uuteen toimitilaan tarvittavista siirtolaitteistoista ja samalla selvittää tarkemmin ongelmakohtia ja vaatimuksia, joita siirtolaitteiden käytössä ja hankinnassa tulee ottaa huomioon sekä löydettyjen siirtolaitteistovaihtoehtojen perusteella antaa oma ehdotus sopivimmasta ratkaisusta ongelmaan. Teoriaosuudessa oli tarkoituksena tehdä yleistasoinen kirjallisuuskatsaus työn taustalla olevista teemoista kuten investoimisesta ja hankkimisesta, logistiikasta sekä valmistustekniikan ja layoutin yhteydestä tuotannonsuunnitteluun.

Pääasiallinen tavoite kuitenkin oli itse siirtolaitteiden ja järjestelmien vertailu, jossa onnistuttiin hyvin. Kohdeyrityksen ongelma on merkittävä, sillä vaikka siirtomatkat ovat kohtuullisen lyhyitä, on tärkeää saada nosturisiirtojen välille toimiva linkki, jotta materiaalivirta pysyisi tasaisena ja esteettömänä. Laitteen valinnassa huomioitavia asioita on paljon ja pitkäikäisen, yksinkertaisen, edullisen ja kestävän ratkaisun löytäminen ei ole helppoa. Lähes kaikki ehdotukset kuitenkin ovat varteenotettavia ratkaisuja kohdeyrityksen ongelmaan ja kaikilla niillä on omia hyviä ja huonoja puoliaan, joskin muutama laitteisto oli hieman ylitse muiden. Kaikista työssä esitellyistä siirtotapaehdotuksista saatiin jonkinasteinen tarjous tai toimittajan oma ehdotus ja ehdotetut laitteet ovatkin yrityksessä mietinnän alla.

Ehdotetut ratkaisut saivat hyvän vastaanoton kohdeyrityksen henkilökunnalta, sekä jatkokehitysideoita siirtotapoihin saatiin saman tien. Vaikka lopullinen siirtotaparatkaisu ei olisikaan mikään työssä esitellyistä, toivon työn herättävän kohdeyrityksessä keskustelua ja ajatuksia. Toivon myös, että työssä esiteltyjä ratkaisuja voidaan mahdollisesti käyttää myöhemmässä vaiheessa referenssinä muuhun tarkoitukseen, jossa jokin ehdotetuista ratkaisuista saattaa olla paras mahdollinen.

7. LÄHTEET

Ghiani, G, Laporte, G, & Musmanno, R (2013), Introduction to Logistics Systems Management, John Wiley & Sons, Incorporated, New York

Hovair Systems (2006), Hovair Systems Floor Specifications and Recommendations, Saatavissa (viitattu 7.1.2018), http://www.hovair.com/brochures/brochures.htm

Hovair Systems (2017a), How does an air bearing work?, Saatavissa (viitattu 5.1.2018), http://hovair.com/information-files/what-is-an-air-bearing-how-does-an-air-bearing-work.htm

Hovair Systems (2017b), Pneumatic Load Handling, Saatavissa (viitattu 5.1.2018), http://hovair.com/information-files/moving-and-handling-equipment.htm

Jung (2018), Tuotekatalogi, Saatavissa (viitattu 12.2.2018), https://www.jung-hebetechnik.de/fileadmin/user_upload/jung-neu/Downloads/Katalog/Katalog_D-E_17-18_JUNG_mail.pdf

Karrus, Kaij E. (1998), Logistiikka, ISBN 951-0-22396-4, Porvoo

Kettula, J. 2018, Tuotantojärjestelmien suunnittelu, MEI-53000, oppimispäiväkirja

Lapinleimu I., Kauppinen V., Torvinen S. (1997), Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät, ISBN 951-0-21436-1

Lyytikäinen, K. (2017), Valmistusmenetelmät 1, MEI-52000, luentomateriaali.

Martinsuo, M., Mäkinen, S., Suomala, P., Lyly-Yrjänäinen, J., (2016), Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa, 20. Hankinnat ja hankintojen hallinta

Massenburg, J. (2006), Air casters 101, Machine Design, Vol. 78(18), pp. 128–129.

Massenburg, J. (2016), 7 reasons to take a fresh look at an existing technology, Plant Engineering, Vol. 70(10), pp. 43–44.

Mollohan, G. (2015), Float Like a Butterfly, Tote Like a Pachyderm, Manufacturing Engineering, pp. 47–49.

Movella (2017), Yrityksen antamia aineistoja, (julkaisematon)

Nylund, H. (2017), Tuotantojärjestelmien suunnittelu, MEI-53000, luentomateriaali.

Nylund, H. (2018), Johdanto tuotantotekniikkaan, MEI-50400, luentomateriaali.

Osatek (2018a), Puhelinkeskustelu, 13.2.2018

Osatek (2018b), Tuotekatalogi, Osatek kynsitunkit ja siirtorullastot ammattikäyttöön 2018, Saatavissa viitattu 12.2.2018, http://www.osatek.fi/images/pdf/OSATEK-JUNG-2018.pdf

Osatek (2018c), Sähköpostikeskustelu, Ei saatavissa

Prima Power (2017a), Tuotteet, Saatavissa (viitattu 29.12.2017) https://www.primapower.com/fi/tuotteet/

Prima Power (2017b), Yrityksen antamia aineistoja, (julkaisematon)

Prima Power (2017c), Yrityskuvaus, Saatavissa (viitattu 12.12.2017) https://www.primapower.com/fi/yritys/

Sakki, J. (1994), Logistinen Materiaalin ohjaus, ISBN 952-90-5933-7, Espoo

Sakki J., Mattila, V.-P. & Makkonen, M., (1996), Logistiikka tuottamaan – arvoketjuanalyysi avuksi, TT-Kustannustieto Oy, Vantaa

Santos, J., Wysk, RA, & Torres, JM 2006, Improving Production with Lean Thinking, John Wiley & Sons, Incorporated, Somerset. Saatavissa (viitattu 27.2.2018) ProQuest Ebook Central-verkkokirjasto.

Solving (2018a), 40T Floating propellers, Saatavissa (viitattu 5.1.2018), https://www.solving.com/case-studies/40t-floating-propellers

Solving (2018b), Solving Beam Mover, Saatavissa (viitattu 5.1.2018), https://www.solving.com/assets/Uploads/Beam-Mover-f.pdf

Taijonlahti, J. (1997), Finn Power Historia

Toolwell (2018), JUWAthan+® Rollers superior performance and durability over traditional polyurethane, composite or steel rollers, Saatavissa (viitattu 12.2.2017), http://www.toolwell.com/information/industrial-skate/rollers/machine-skates-b130.php