



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

VILLE OSSI

MATERIAALIVIRTOJEN HALLINTA VARIOITAVIEN TUOTTEIDEN  
TUOTANTOLINJALLA

Diplomityö

Tarkastajat:  
professori Asko Riitahuhta  
tutkijatohtori Mikko Koho

Tarkastajat ja aihe hyväksytty  
Automaatio-, kone ja materiaali-  
tekniikan tiedekuntaneuvoston  
kokouksessa 7. joulukuuta 2011

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

**OSSI, VILLE:** Materiaalivirtojen hallinta varioitavien tuotteiden tuotantolinjalla

Diplomityö, 79 sivua, 28 liitesivua

Joulukuu 2011

Pääaine: Tuotantotekniikka/tuotekehitys

Tarkastajat: professori Asko Riitahuhta ja tutkijatohtori Mikko Koho

Avainsanat: Lean-ajattelu, tuotannonohjausjärjestelmä, materiaalivirtojen hallinta, materiaalien ajoitus, materiaalihub ja datum flow chain –analyysi

Diplomityö esittää suunnitelman tuotantolinjan materiaalivirtojen hallinnalle, kun valmistus siirretään uusiin tuotantotiloihin. Tavoitteena oli löytää materiaalivirroille riittävät reitit, varmistaa materiaalisiirtojen sujuvuus varastosta tehtaalle ja tehtaalla kokoonpanolinjalle. Tutkimustyön aikana tehtyjen huomioiden perusteella päätettiin myös perehtyä tuoterakenteisiin kokoonpantavuuden tutkimisen kannalta.

Tiedonkeruu tapahtui työn ohessa Metso Mineralsilla tarkkailemalla kokoonpanoa ja keskustelemalla työn johdon kanssa ja kirjallisuusselvityksillä. Diplomityön teoriaosassa on esitetty alan kirjallisuudesta löytynyttä tietoa muun muassa Lean-ajattelusta, tuotannonohjausjärjestelmästä, sisäisestä logistiikasta, materiaalivirtojen hallinnasta, materiaalien ajoituksesta sekä Datum Flow Chain-analyysistä. Toteutusosassa on esiteltynä työn eteneminen ja toteutettu materiaalivirtojen hallintasuunnitelma. Diplomityön aiheen ratkaisua kommentoidaan tuloksissa ja jatkokehitysehdotukset esittelevät miten tuotantolinjaa voi jatkossa parantaa.

Diplomityön lopputuloksena on esitetty toimiva materiaalivirtojen hallintasuunnitelma tuotantolinjaa varten. Suunnitelma esittää tuotantolinjan ja kokoonpanon vaiheistuksen. Virtauskaavio esittää materiaalien siirtoreitit ja materiaalisiirtojen ajoituksen. Materiaalihuollon osalta suunnitelma esittää materiaalihubin hyödyntämistä materiaalihuollossa ja korostaa ERP:in käyttöä tuotantolinjan materiaalien hallinnassa. Tutkimustyötä tehdessä havaittuja tuoterakenneongelmia tutkittiin Datum Flow Chain-analyysillä, mutta tämä ei antanut tuloksia.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Automation Technology

**OSSI, VILLE:** Material Flow Management of a Variable Products Production Line

Master of Science Thesis, 79 pages, 28 appendix pages

December 2011

Major: Production Technology/Product Development

Examiner: Professor Asko Riitahuhta and Research fellow Mikko Koho

Keywords: Lean thinking, enterprise resource planning, material flow management, material timing, material handling hub and datum flow chain –analysis

This Master of Science Thesis proposes plan for production line material flow management, when manufacturing is transferred to new premises. Thesis aims to find material flow routes, secure material transfers fluidity from warehouse to production line. Need to explore product structure on account of assembly intensification was noticed during research study .

Gathering of information was done in addition to working at Metso Minerals by observing production and discussing with production management and by literature reviews. Thesis' theory chapters' describe field of technology literatures information about Lean thinking, enterprise resource planning, internal logistics, material flow planning, material timing, and Datum Flow Chain-analysis. Thesis' execution chapters describe project's progress and planned material flow plan. Thesis subject' solutions are commented in results chapter and further development chapter suggest how to improve production line in general.

Thesis results describe functional material flow plan for production line. Plan describes production line and assembly timing. Flow chart describes material routes and material timing. For material handling plan describes usage of material handling hub and emphasizes importance of ERP in production line material management. Product structure problems noticed during research were investigated with Datum Flow Chain-analysis, but results didn't provide new information.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on kooste vuoden 2011 huhtikuun ja marraskuun välisenä aikana suoritetusta kokoonpanolinjan kehittämistyöstä ja suunnittelusta. Diplomityö on tehty työsuhteessa Metso Mineralsin kanssa. Diplomityön tarkastajina toimivat Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) tuotantotekniikan laitoksen professori Asko Riitahuhta ja tutkijatohtori Mikko Koho. Diplomityön ohjaajina toimivat Mikko Koho ja Metso Mineralsilta valmistuspäällikkö Jussi Sinisalo.

Diplomityön onnistumisesta kuuluu kiitos Metso Mineralsin valmistuksesta vastaaville henkilöille. Informaatiotulvasta ja ideoiden kehittelystä oli suuri apu tämän työn valmistumisessa. Kiitokset kuuluvat myös TTY:n diplomityön tarkastajille ja ohjaajilleni, jotka pitivät huolta esitettyjen suunnitelmien kriittisestä tarkastelusta ja työn akateemisuudesta, josta ajoittain oltiin lipsumassa. Vielä loppumetreillä Jussi auttoi suuresti korjaamalla työn takaisin oikeille raiteille.

Erytiskiitos kuuluu Kristalle, joka jaksoi kestää diplomityön teosta aiheutunutta innostusta, stressiä ja pitkiä kirjoitussessioita aina kannustaen ja tarjoten uusia ideoita. Diplomityö ei olisi valmistunut ilman tätä tukea.

## SISÄLLYS

1	Johdanto .....	1
1.1	Tavoitteet ja rajaus .....	1
1.2	Käytetyt tutkimus- ja kehitysmenetelmät.....	2
1.3	Metso Oyj.....	2
2	Sisäinen logistiikka materiaalivirtojen hallinnassa .....	4
2.1	Tilasuunnittelun tavoitteet ja ratkaisuvaihtoehdot .....	4
2.2	Materiaalisiirtojen merkitys .....	6
2.3	Varastointi .....	7
2.4	Materiaalivirtojen suunnittelu .....	8
2.4.1	Periaatteet.....	9
2.4.2	Jalostava ja jalostamaton työ .....	10
3	Lean-ajattelu materiaalivirtojen hallinnan pohjana.....	11
3.1	Just-In-Time – Leanin esiaste .....	11
3.2	Leanin tavoitteet ja keinot niiden saavuttamiseksi.....	11
3.3	Tuotannon siirtäminen Leaniin .....	13
4	Tuotannonohjausjärjestelmä materiaalinohjauksessa .....	16
4.1	Syyt käyttöönnotolle .....	16
4.2	Tehtävät, vahvuudet ja ongelmat .....	17
4.3	Keskeiset toimintamallit.....	18
5	Tuotannon ohjaustavat materiaalien hallinnassa.....	19
5.1	Materiaalien ohjaustavan valinta.....	19
5.2	Tuotannon ajoitus.....	20
5.2.1	Tuotantojärjestelmän vaikutus ajoitukseen.....	20
5.2.2	Ajoitustavat.....	21
6	Materiaalihub materiaalihuollon pohjana .....	23
6.1	Syitä ja perusteita logistiikkapalveluiden käytölle.....	23
6.2	Materiaalihubin käyttö .....	24
7	Datum Flow Chain-analyysi tuoterakenneongelmien ratkaisussa .....	26
7.1	Tärkeiden ominaisuuksien merkitys .....	27
7.2	Toimintaperiaate .....	27
7.3	Graafinen esitys.....	28
7.4	DFC-analyysin arviointi.....	29
	Lähteet.....	30

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Materiaali	Aine, josta valmistetaan jotain. Teollisuudessa esimerkiksi raaka-aine, osa tai tuote.
Materiaalivirta	Materiaalin käsittely tuotteen elinkaaren aikana. Teollisuudessa esimerkiksi kuljetus, varastointi ja hankinta.
Variointi	Asian muuttaminen tai muunneltavuus. Teollisuudessa tarkoittaa tuotteen jonkin osan vaihtamista toiseen.
Kokoonpanolinja	Tuotteiden valmistusta massatuotantona, niin sanotusti liukuhihnalta.
Tuotantolinja	Vaihtoehtoinen ilmaisu kokoonpanolinjalle. Käytetään layout-suunnittelun yhteydessä.
Ajoitus	Tuotannon eri vaiheiden sovittamista yhteen niin, ettei missään vaiheessa tapahdu turhaa odottelua.
Materiaalinohjaus	Hankintaan, valmistamiseen ja myymiseen liittyvien materiaali-, pääoma-, tieto- ja kierrätysvirtojen suunnittelua.
Datum Flow Chain	Tuoterakennetarkasteluun tarkoitettu analyysimetodi. Kehittänyt Daniel E. Whitney.
Tuoterakenne	Alikokoonpanojen hierarkia pääkokoonpanoon nähden, jonka tiedon avulla muodostettu osaluettelo.
Benchmarkkaus	Oman toiminnan vertaamista toisten toimintaan. Vertailukohdaksi otetaan usein parhaaksi tiedetty.
Sisäinen logistiikka	Yrityksen sisällä tapahtuvat logistiset toiminnot ja näiden suunnittelu: esimerkiksi varastointi ja lähetys.
Tilasuunnittelu	Teollisuudessa käytössä olevien tuotantotilojen toimintojen sijoittamista mahdollisimman tuotantoa tukevasti.
Lean	Ajattelutapa, joka keskittyy seitsemän erilaisen hukan poistamiseen tuotannosta. Kehitetty Just-in-Time:n pohjalta.
Just-in-Time	Logistinen varastonhallinta- ja tuotannonohjausstrategia. Toimi Leanin pohja-ajatuksena.
ERP	(Enterprise Resource Planning) Tuotannonohjausjärjestelmä joka integroi toimintoja kuten tuotanto, jakelu ja laskutus.
MRP	(Material Requirements Planning) Luokittelu materiaaleille ohjaustavan mukaan.
SAP	Toiminnanohjausjärjestelmä, joka oli diplomityötä kirjoittaessa käytössä Metso Mineralsilla.
Konfigurointi	Tuotteen toiminnallisuuksien määrittäminen. Teollisuudessa esimerkiksi lisälaitteiden valinta.
Layout	Tilasuunnitelman osa, joka määrittää millä tavalla tuotantovälineet ja -vaiheet on sijoiteltuna lattialle.
Moduuli	Kokonaisuuden itsenäinen osa. Teollisuudessa jokin valmistettavan tuotteen osakokonaisuus tai kokoonpano.

# 1 JOHDANTO

Tuotantolinjalla valmistettavista tuotteista riippumatta materiaalivirtojen hallinta vaikuttaa merkittävästi tuotannon jatkuvuuteen ja aikataulussa pysymiseen. Tuotantolinjalla työskentelevillä asentajilla tulee olla kaikki tarvittavat isot ja pienet osat saatavilla oikeassa paikassa ja juuri silloin kun niille on tarve. Puuttuvien osien etsintä ja odottelu eivät lisää tuotteen arvoa ja voivat johtaa valmistettavan tuotteen myöhästymiseen.

Jotta materiaalit saadaan toimitettua ajoissa tuotantolinjalle, pitää koko toimitusketjun olla varastolta saakka ajoitettu oikein. Materiaalien siirtoreitit on oltava selkeät ja sekä asentajille että materiaalihuoltajille on tiedettävä osien sijainti tuotantolinjalla. Toimitilojen koko ja laatu vaikuttavat suoraan materiaalivirtojen hallinnan merkitykseen. Minkä tahansa konepajamaisesti toimivan yrityksen tuotannon kehittämisen kannalta on olennaista tuntea materiaalivirtojen hallinnan perusta ja keinot soveltaa tutkittua tietoa omaan toimintaansa.

## 1.1 Tavoitteet ja rajaus

Tuotannon helpon käynnistämisen varmistamiseksi aloitettiin materiaalivirtaprojekti, jonka tuloksena on tarkoitus olla valmisteltu materiaalivirtojen hallintasuunnitelma. Onnistunut suunnitelma varmistaa sujuvat materiaalivirrat, pienemmät tuotantokustannukset ja suuret volyymit. Lean-ajattelua hyödyntämällä tuotantolinja saadaan muokattua tehokkaasti toimivaksi valmistusyksiköksi.

Materiaalivirtojen hallintasuunnitelma on tämän diplomityön päätavoite. Alatavoitteina on löytää materiaalivirtojen ohjaukselle sopivat reitit, etsiä ja estää mahdolliset pullonkaulat etukäteen, sekä varmistaa materiaalisiirtojen sujuvuus varastosta tehtaalle, tehtaalta linjalle varusteluun tai tuotantolinjalle niin että kuljetuskalustoa ja -reittejä on riittävästi vapaana siirtoja varten jatkuvasti.

Tämä diplomityö käsittelee tuotannon siirtämistä paikkakokoonpanosta linjakokoonpanoon, jolloin materiaalivirtojen sujuvuus, varmuus ja oikea-aikaisuus nousevat entistäkin tärkeämpään rooliin. Tällä diplomityöllä pyritään löytämään ratkaisu tuotantolinjan materiaalivirtojen suunnitteluun tiettyyn tilaan sopivaksi. Tähän ongelmaan ei ole ollut valmiita ratkaisukeinoja ennalta tiedossa. Diplomityön toteutus oli tarpeen.

Materiaalivirtausten tarkastelussa rajana on varastolta tehtaalle tai linjalle lähtevä liikenne. Itse varaston toimintaan ei tässä diplomityössä perehdytä. Sama rajaus koskee myös materiaalinohjausta, eli keskitytään ohjaamaan materiaalit linjalla järkevästi ja taloudellisesti.

Linjakokoonpanon materiaalivirtojen suunnittelussa on useita tekijöitä: Lean-ajattelun tuominen tuotantolinjan toimintaan, sisäinen logistiikan organisointi tuotantoa tukevaksi, materiaalinohjauksen hiominen ja toiminnan tehokkuuden parantaminen. Sisäisen logistiikan tarkastelussa keskitytään tilasuunnitteluun kokoonpanolinjalla, ja tutkitaan mahdollisuutta hyödyntää tuotantoalueen ulkopuolista materiaalihubia tuotannon varastona. Diplomityössä pyritään löytämään ratkaisuja tehdasrakennuksen ja -alueen asettamiin rajoitteisiin materiaalivirtojen hallitsemisessa ja tekemään suunnitelmat käytännön tasolla materiaalien oikea-aikaiseksi saamiseksi.

## 1.2 Käytetyt tutkimus- ja kehitysmenetelmät

Tuotannon nykytilaan tutustuttiin paikan päällä tuotantoa seuraamalla, sekä ERP-järjestelmän kautta ominaisuuksia tarkastamalla. Tällä tavoin on saatu selvitettyä tilasuunnittelun ja materiaalivirtausten ongelmat ja mahdollisuudet. Tuotantoon tutustuttiin noin kolme kuukautta työn ohessa (toukokuusta elokuuhun 2011).

Diplomityön teoriaosuus on kirjallisuustutkimus aiheeseen liittyvistä Lean-ajattelua, tuotannonohjausjärjestelmiä, sisäistä logistiikkaa, tuotannon ohjaustapoja ja materiaalihubia käsittelevistä teoksista. Eri lähteissä esille nousseita toimintamalleja ja ajatustapoja on verrattu toisiinsa ja pyritty löytämään edut ja heikkoudet. Kirjallisuutta on rajattu Mineralsin toimintaan sopiviin raskasta kokoonpanoa käsitteleviin teoksiin. Teoriaosuuden tiedon keräämiseen ja kirjoittamiseen käytettiin aikaa noin kaksi kuukautta (heinä- ja elokuu 2011).

Diplomityön edetessä syntyneistä ideoista keskusteltiin jatkuvasti tuotannon johdon kanssa ja saadusta palautteesta kehitettiin ajatuksia vielä eteenpäin. Diplomityö ei sisällä pelkästään kirjoittajansa ideoita ja ajatuksia materiaalivirtojen toteutuksesta, vaan koko tuotantohenkilökunta on ollut mukana kehittämässä toteutus suunnitelmaa. Ideoita on tarkasteltu kriittisesti tarkemman selvityksen jälkeen valmistuspäälliköiden ja työnjohtajien kanssa. Diplomityön rakentumista on käyty lävitse viikottain valmistuspäällikön kanssa ja pohdittu ratkaisujen toteutuskelpoisuutta ja sopivuutta ongelmansa ratkaisemiseksi.

## 1.3 Metso Oyj

Metso Oyj on kansainvälisesti toimiva teknologiakonserni, jonka osaamisalueet voi jakaa kolmeen osaan: kaivos- ja maanrakennusteknologia (Metso Minerals), paperi- ja kuituteknologia (Metso Paper), sekä energia- ja ympäristöteknologia (Metso Power). Konsernilla on yli 300 yksikköä yli 50 maassa, noin 29 000 työntekijää, sekä asiakkaita yli 100 maasta. Vuonna 2010 Metso Oyj:n liikevaihto oli 5 552 000 000 euroa, josta Metso Minerals tuotti 42%, Metso Paper tuotti 37% ja Metso Power tuotti 21%. [Metso 2010: Metso lyhyesti]

Metso Oyj syntyi vuonna 1999 suomalaisten Valmet Oy:n ja Rauma Oy:n yhdistyessä. Valmet Oy:n osaamisaluetta olivat paperi- ja kartonkikoneiden valmistus,



ja Rauma Oy:n osaamisaluetta olivat kuituteknologia, kivenmurskaus ja virtauksensäätöratkaisut. Rauma Oy:n ja Valmet Oy:n hallitukset ehdottivat vuonna 1998 yhtiöiden sulautumista tapahtuvaksi vuonna 1999. [Metso 2010: Metson historia].

Metso Minerals käsittää kaivos- ja maanrakennusteknologian osaamisalueen konsernin liiketoiminnasta. Mineralsin asiakkaat ovat kaivosteollisuuden toimijoita: louhokset ja urakoitsijat. Mineralsin tuotevalikoimassa on kiinteitä ja liikuteltavia murskaimia, seuloja ja kuljettimia. Kaivos- ja maanrakennusalalla on lukuisia kilpailijoita, joista merkittävimpiä ovat yhdysvaltalaiset Astec ja Terex, sekä ruotsalainen Sandvik. Mineralsin jauhinmyllyt ja kaivosmurskaimet johtivat globaaleja markkinoita vuonna 2009, sekä murskaus- ja seulontalaitokset olivat jaetulla ykkösasemalla. [Metso 2010: Liiketoimintamme lyhyesti].

Mineralsin lisäksi Tampereella toimii myös muita Metson yksiköitä.

Metso Paper toimittaa sellutehdas- sekä paperikoneratkaisuita, erikoistuen paperin, kartongin ja pehmopaperin valmistukseen. [Metso 2010: Liiketoimintamme lyhyesti]

Metso Power tuottaa voimantuotantoratkaisuuina polttolaitoksia biomassan, hiilen ja muiden vaatiin polttoaineiden käyttöön. Metso Powerin virtauksensäätöratkaisuja käytetään öljy- ja kaasuteollisuudessa. [Metso 2010: Liiketoimintamme lyhyesti]

Metso Automation toimii kaikilla Metso Oyj:n liiketoimintalinjoilla tarjoten automatisointiratkaisut tarpeen mukaan. Metso Automation lisäksi valmistaa omia prosessiautomaatiojärjestelmiä. [Metso 2010: Liiketoimintamme lyhyesti]

## **2 SISÄINEN LOGISTIIKKA MATERIAALIVIRTOJEN HALLINNASSA**

Sisäisen logistiikka käsittää muun muassa tuotannon tilasuunnittelun ja sitä kautta materiaalivirtojen tilasuunnittelun. Sisäisen logistiikan ymmärtämisen avulla pystytään suunnittelemaan materiaalien siirtoreitit, materiaalien jättöalueet, sekä estämään pullonkaulojen syntymistä. Materiaalivirtojen hallintasuunnitelman virtauskaaviot käyttävät teorianäkökulmista sisäisen logistiikan käsitteitä ja kokoonpanon tilasuunnittelun teorioiden ymmärtäminen antaa tietoa myös materiaalivirtojen suunnitteluun.

Vallitseva logistiikkakäsite on syntynyt materiaali- ja kuljetustalouden yhdistymisen seurauksena kuvaamaan materiaalien hyödykkeiden koordinoitavia tehtäviä. Logistiikka koostuu materiaali-, tieto- ja pääomavirtojen hallinnasta, hankinnan, tuotannon, jakelun ja kierrätyksen ohjaamisesta, huolto-, tuki-, varastointi-, kuljetus- ja muiden lisäarvopalveluiden johtamisesta, sekä asiakaspalvelun ja –suhteiden kehittämisestä. [Karrus 1998, s. 12-13]

Logistiikka on karkeasti jaettavissa kahteen käsitteeseen: ulkoinen ja sisäinen logistiikka. Ulkoisella logistiikalla käsitetään yrityksen ulkopuolisten materiaalivirtojen hallintaa: materiaalien hankinta, kuljetus varastoon ja valmiiden tuotteiden kuljetus asiakkaille. Sisäinen logistiikka viittaa kaikkeen materiaalivirtojen ohjaukseen yrityksen sisällä, materiaalitilastusten vastaanoton ollessa rajana: varastoinnin suunnittelu ja ohjaus, jakelu tuotantoon ajallaan, väliavarastot ja valmiiden tuotteiden varastointi. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 461-463]

Yksikön sisäisen logistiikan toimivuuteen ja investointi- ja käyttökustannuksiin vaikuttaa merkittävästi tilasuunnittelu. Tähän yleisesti vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa laajennusmahdollisuudet, työn ja materiaalikäsitteilyn sujuvuus, turvallisuus ja järjestyksenpidon helppous. Tilojen käyttötarkoitukset ja –tavat ovat hyvin erityyppiset riippuen toimialasta. [Karrus 1998, s. 87-88] Keskitymme tuotantotilojen ja niihin liittyvien logististen tukitoimintojen tarkasteluun.

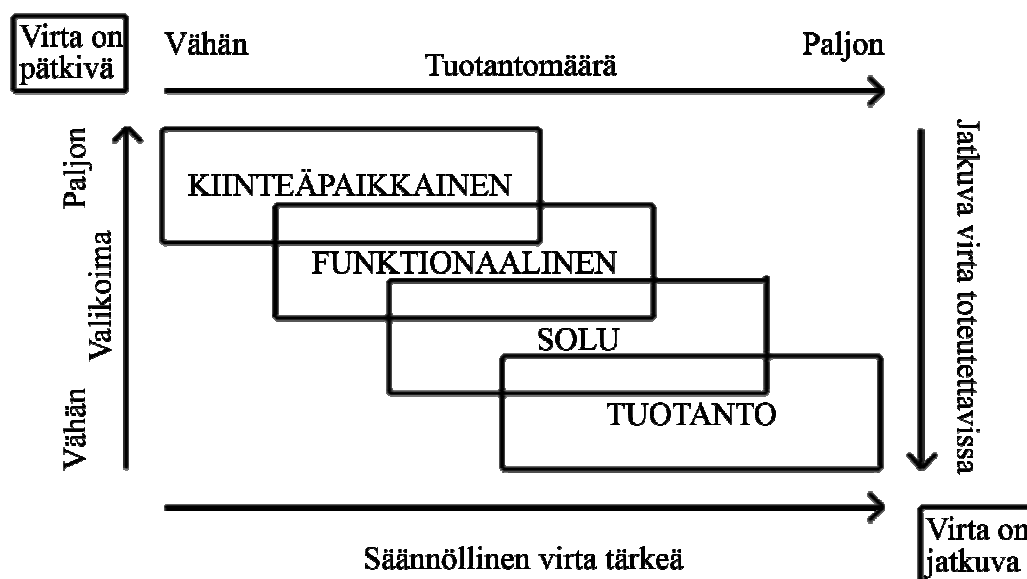
### **2.1 Tilasuunnittelun tavoitteet ja ratkaisuvaihtoehdot**

Tuotannollinen yksikkö, esimerkiksi tehdas tai verstaas on ensisijaisesti suunniteltava tehokkaaksi tuotantoympäristöksi. Tärkein suunnittelukriteeri on funktionaalisuus eli tuotannon tarpeiden mukaisuus. [Karrus 1998, s. 88] Laadukas tilasuunnittelu täyttää kahdeksan tavoitetta:

- 1) Luontainen turvallisuus: kaikki prosessit jotka voivat sisältää turvallisuusriskin on suojattu niin ettei asiattomilla ole pääsyä. Kulkuväylät

tuotantoalueella on selkeästi merkityt ja puhtaat ylimääräisestä materiaalista ja roskasta

- 2) Virran pituus: materiaalien, informaation ja asiakkaiden virrat tulee kanavoida tarpeellisille toiminnoille. Tämä tarkoittaa usein virtojen ohjaamista lyhyintä reittiä pitkin
- 3) Virran selkeys: materiaalien ja asiakkaiden virrat tulee olla selvästi merkittyjä, puhtaita ja selkeitä työntekijöille ja asiakkaille itsellensä. Esimerkiksi usein valmistustiloissa on hyvin merkityt kulkuväylät vierailijoille
- 4) Työntekijöiden mukavuus: työntekijöiden tulee sijoittaa mahdollisuuksien mukaan pois äänekkäistä tai epämukavista tiloista, jos mahdollista. Tilan tulee olla hyvin ilmastoitu, valaistu ja miellyttävä työympäristö
- 5) Työnjohdon koordinointi: valvontaa ja kommunikointia pitää tukea työnjohdon läsnäololla ja kommunikointilaitteilla
- 6) Saavutettavuus: kaikki työkoneet, työtilat ja työvälineet tulee olla saatavilla ja saavutettavissa siivouksen ja kunnossapidon tarpeisiin tarvittavissa määrin jos näitä on tarvetta putsata tai huoltaa
- 7) Tilan käyttö: käytössä oleva tila tulee määrittää tarkoin kullekin toiminnolle, huomioiden myös tilan korkeus ja lattiatila. Tämä usein tarkoittaa tuotantotoimintojen tilan minimointia, jotta materiaalien sijoittamista varten jää mahdollisimman paljon tilaa materiaaleille ja siirtäville ajoneuvoille
- 8) Pitkäaikainen joustavuus: ajoittain on tarvetta muuttaa tilasuunnitelmaa prosessin muuttuneisiin tarpeisiin. Hyvässä tilasuunnitelmassa on huomioituna myös mahdolliset tulevat tarpeet [Slack et al. 2007, p. 187-188]



**Kuva 2.1.** Layoutratkaisujen sopivuus tuotannon tarpeisiin. [Slack et al. 2007, p. 197]

Tuotantoprosessi määrittää tilasuunnittelun perustan. Lähtökohtaisesti on neljä erilaista tilasuunnittelun ratkaisua lattiatilan käytölle (layout), jotka sopivat erilaisiin tuotannon tarpeisiin (kuva 2.1) ja lisäksi viidentenä näiden yhdistelmä:

- 1) Kiinteäpaikkainen layout; tuotantoprosessi tapahtuu yhdessä paikassa ja materiaalivirrat ohjataan tähän kohtaan. Tämä johtuu usein siitä, että rakennettava tuote on ominiasuuksiltaan sellainen ettei sitä pystytä liikuttamaan kesken kokoonpanon. Ratkaisu on riippuvainen materiaalivirtojen toimivuudesta ja materiaalien saatavuudesta
- 2) Funktionaalinen layout (prosessilayout); samankaltaiset resurssit ja prosessit ovat samassa kohdassa layoutia, eli toiminnallisuuden mukaan sijoitettuna. Tämä kannattaa toteuttaa kätevyyden tai siirtojen takia. Erilaisilla tuotteilla on erilaiset tarpeet eri toiminnoille ja ne kulkevat siksi erilaisia reittejä layoutissa. Tämä aiheuttaa monimutkaisen virtauskaavion läpiviennille
- 3) Solulayout; tuotantoon tulevat resurssit (materiaalit ja valmistettavat tuotteet) ohjataan alueelle (soluun), jossa sen hetkiset prosessitarpeet toteutetaan. Solu itsessään voi olla organisoitu funktionaaliseksi tai tuotantomaiseksi. Resurssit siirtyvät solusta seuraavaan soluun tarpeen mukaan. Tällä ratkaisulla pyritään tekemään funktionaalisen layoutin monimutkaisesta virtauskaaviosta yksinkertaisempi.
- 4) Linjalayout: jokainen tuote seuraa ennaltsuunniteltua reittiä, jossa jokaista vaadittua toimintoa varten on olemassa oma alueensa linjalla. Layoutin virta on selkeä, ennustettava ja helposti seurattava. Tuotannon vaatimukset ohjaavat usein valitsemaan tuotantolayoutin.
- 5) Yhdistelmälayout; useat prosessit yhdistelevät joitakin tai kaikkia layoutien perusratkaisujen ominaisuuksia tai käyttävät näitä kokonaisuuksina eri osissa prosessejaan [Slack et al. 2007, p. 188-195]

## 2.2 Materiaalisiirtojen merkitys

Etäisyyksillä on suuri merkitys materiaalin siirroissa. Koska siirrot ja varastointi eivät aiheuttamastaan kustannuksista huolimatta lisää tuotteiden arvoa, niiden määrä on minimoitava. Erillistä kuljetusjärjestelmää tarvitaan vain tehtaiden välisissä siirroissa. Tehtaiden sisällä siirrot on integroitava osaksi valmistusprosessia. Logistinen järjestelmä koostuu kuudesta osa-alueesta:

- 1) Tehtaan sisäisestä kuljetusjärjestelmästä suurissa tehdasyksiköissä
- 2) Tilauksesta tehtävien osien puskurivarastoista
- 3) Varasto-ohjattujen standardiosien varastoista
- 4) Kuljetuksista toimittajilta tehtaille
- 5) Tehtaiden välisistä kuljetuksista
- 6) Kuljetuksista asiakkaille [Lapinleimu 2000, s. 136]

Logistinen järjestelmä toimii operatiivisesta ohjauksesta saamansa impulssin perusteella. Kuljetuserien määrittäminen ja kuljetusten ajoittaminen on osa valmiuksien

suunnittelua ja operatiivista ohjausta. Logistiseen järjestelmään on sisällyttävä osoitejärjestelmä: osan ja moduulin operatiivisiin valmiuksiin sisältyy tieto, mihin se valmistumisen jälkeen kuljetetaan. [Lapinleimu 2000, s. 137]

Pienessä tehtaassa pyritään osavalmistusta tekevät yksiköt ryhmittämään kokoonpanon läheisyyteen ja kytkemään puskuri- tai imuvarastolla. Osavalmistusta ohjataan imuohjauksella tai kaksilaatikkosysteemillä. [Lapinleimu 2000, s. 137]

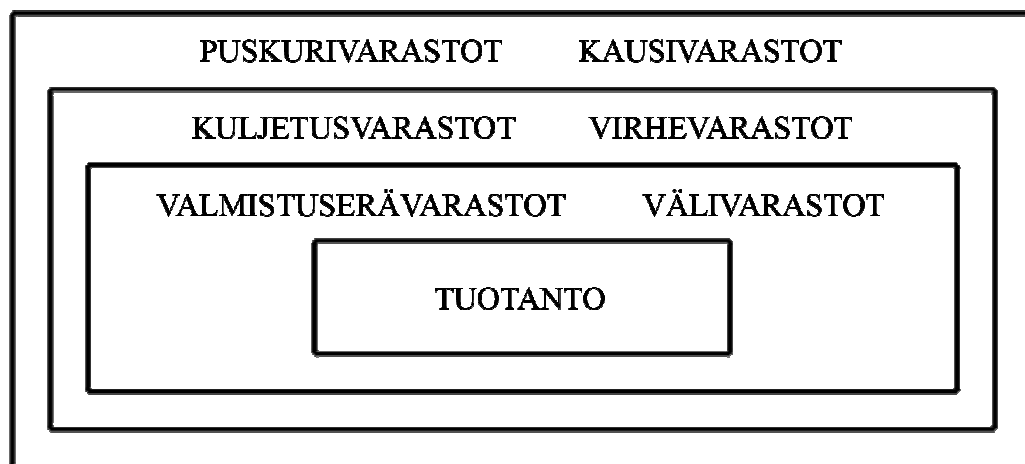
Suuressa tehtaassa osavalmistusyksiköt eivät välttämättä mahdu kokoonpanon yhteyteen. Tehtaalla on keskitetty kuljetusjärjestelmä, joka voi olla hyllystöhissi, jossa on aihiot, valmistetut ja alihankkijalta tilatut komponentit. [Lapinleimu 2000, s. 137]

Osassa tehtaita osavalmistus ja kokoonpano muodostavat yhtenäisen ketjun. Tällöin valmistusyksiköt ovat työnkulkujärjestyksessä peräkkäin pienien puskurivarastojen avulla yhdistettynä. Kaikissa tapauksissa tehdas tulee suunnitella niin kompaktiksi kuin mahdollista, ohjattavien rajapintojen määrä minimoida ja vaiheet integroida materiaalinkäsittelylaitteiston avulla. [Lapinleimu 2000, s. 137]

## 2.3 Varastointi

Varastoja tarvitaan tuotantoprosessin eri vaiheiden kytkennässä ja toimituskyvyn turvaamisessa. Varastot ovat suuri kustannustekijä: niihin sitoutuu pääomaa, varastointi- ja materiaalikäsitteilyn aiheuttamia kustannuksia. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 445-446]

Yrityksen varastoissa ja tuotantotiloissa on runsaasti tuotteita, materiaaleja ja puolivalmisteita. Tuotannon varastoja ovat toimituskyvyn turvaavat varastot (puskurivarastot), kausivaihteluiden hallinta, työvaiheiden kytkeminen (välivarastot), valmistuksen taloudellisesta eräkoosta johtuvat varastot, kuljetusten ja siirtojen aiheuttamat varastot, tuotantoprosessin ja toimintojen virheiden varalta pidettävät varastot. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 446-447] Varastojen sijainnit kokoonpanolinjaan nähden määräytyvät tarpeellisuuden mukaan (kuva 2.2). Oleellista varastomallien sijoittamisessa on hyvät siirtoyhteydet tarvittavaan kohteeseensa. [Karrus 1998, s. 89]



*Kuva 2.2. Varastomallien sijoittautuminen etäisyyden suhteen kokoonpanolinjaan nähden [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 446-447]*

Puskurivarastoja tarvitaan toimituskyvyn varmistamiseen. Usein yrityksen tuotantoprosessin läpäisy aika on pidempi kuin asiakkaan toimitusaikavaatimus. Tällöin yritys tarvitsee puskurivarastoja toimituskyvyn ja palvelutason ylläpidossa. Puskurivarastot mitoitetaan yrityksen haluaman palvelutason perusteella. Menekkitietojen hallinnalla ja hyvällä suunnittelulla voidaan pienentää tarvittavia puskurivarastoja. Tuotannon läpäisyajan lyhentäminen ja prosessin joustavuuden kasvattaminen vähentävät osaltaan varastoinnin tarvetta. Tilasuunnittelussa puskurivarastojen ei tarvitse sijaita kokoonpanolinjan läheisyydessä, mutta kuitenkin samalla alueella kuin kokoonpanolinjakin, jotta tarvittaessa varastoa voidaan nopeasti hyödyntää. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 446]

Välivarastoja tarvitaan eri työvaiheiden kytkemiseksi toisiinsa. Usein tuotteita siirretään erissä työpisteiden välillä, jolloin siirtoerät kasvattavat varastoja. Välivarastojen koko määräytyy sen mukaan, mitä enemmän valmistuksessa on erillisiä vaiheita. Välivarastoihin vaikuttavia tekijöitä ovat työvaiheiden välimatka ja tuotetyyppien määrä. Välivarastot sitouttavat pääomaa, hidastavat tuotannon läpimenoaika ja kasvattavat laatuvirheiden lukumäärää. Mitä vähemmän välivarastoja, sen parempi tuotannolle. Tilasuunnittelussa välivarastot sijoitetaan kokoonpanolinjan eri vaiheiden väliin. Välivarastojen tarvittava koko vaikuttaa merkittävästi tilasuunnitteluun kokoonpanolinjan ja materiaalivirtojen kannalta, sillä käytössä oleva tyhjä tila ei välttämättä ole enää kovin suuri kokoonpanon vaiheiden sijoittelun jälkeen. Tämä on toki aina tapauskohtaista. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 446-447]

Kuljetukset ja siirrot ovat yksi varastointia aiheuttavia tarpeita. Kuljetuserien muodostaminen, pakkaus, lastaus, kuljetus ja purku johtavat ylimääräiseen varastointiin ja läpäisyajojen pitenemiseen. Tuotteen edestakaisia kuljetuksia kesken valmistuksen tulee välttää mahdollisuuksien mukaan. Tilasuunnittelussa tulee huomioida lastaus- ja purkupaikat osille ja tuotteille. Nämä eivät usein ole kokoonpanolinjan välittömässä läheisyydessä, vaan samalla tehdasalueella. Raskaassa teollisuudessa pakkaus- ja purkutoiminnot ovat yleensä alueella, jossa on käytössä nosturi ajoneuvoon lastausta varten ja hyvät siirtymisreitit sisään ja ulos alueelta. Oleellista on huomioida puretun lastin siirtymisreitit kokoonpanoon. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 446]

## 2.4 Materiaalivirtojen suunnittelu

Tilasuunnittelu ei itsessään ota kantaa materiaalivirtojen reitteihin, mutta ne ovat yksi tärkeimmistä kriteereistä kun suunnitelman hyvyttä tarkastellaan. Ilman selkeitä ja lyhyitä materiaalivirtoja ei tuotanto pysty menestymään ja tämä diplomityökin on osoittautunut epäonnistuneeksi.

Vaikka aihe on yleinen, ei siitä ole tehty juurikaan tieteellistä tutkimusta. Kirjallisuusselvitysten yhteydessä ei löytynyt mitään suoraan aiheeseen liittyvää teosta. Tähän on mielestäni kaksi syytä: ensiksi aihe on hyvin käytännön läheinen ja tapauskohtainen, eikä yleistä teoriaa ole siksi tehty. Toiseksi materiaalivirtojen reittien suunnittelu perustuu ”maalaisjärjellä” tehtäviin ratkaisuihin, eikä tieteellistä tutkimusta

ole tehty. Lähteitä voi olla, mutta tehdyssä selvityksessä niitä ei löytynyt. Tähän kappaleeseen on koostettu materiaalihuollon työntekijöiden mäkemyksiä toimivasta materiaalivirtojen hallinnasta. Lisäksi tavoitteita ja suuntaviivoja materiaalivirtojen suunnittelulle on tutkittu selvittämällä jalostettua ja jalostamatonta työtä. Näillä perusteilla on mielestäni saatu luotua riittävät vaatimukset ja tavoitteet materiaalivirtojen hallintasuunnitelman luomiselle.

### 2.4.1 Periaatteet

Materiaalivirtojen suunnittelussa tulee ottaa huomioon perusasioita liittyen siirtoreitteihin, lasku- ja noutopaikkoihin. Seuraava listaus huomioitavista asioista on koostettu keskusteluista Metso Mineralsin materiaalihuoltajien, varaston työnjohtajien ja logistiikkapäällikön kanssa. Nämä periaatteet ovat yleisiä asioista, mitä tulee ottaa huomioon materiaalivirtojen suunnittelussa:

- 1) Lyhyet välimatkat: materiaalsiirtoreittejä suunnitellessa tulee pyrkiä lyhyisiin matkoihin kokoonpanon, osakokoonpanojen ja varastojen välillä. Pidemmät siirromatkat lisäävät odotusta ja heikentävät logistiikan tehokkuutta
- 2) Selkeät reitit: materiaalsiirtoreittien tulee olla mahdollisuuksien mukaan suorita ja tarpeeksi leveitä kahdelle trukille ohittaa toisensa. Reitien suoritus ja leveys lisää siirtojen turvallisuutta ja nopeuttaa logistiikkaa. Risteävää liikennettä tulee turvallisuuden nimissä ehdottomasti välttää
- 3) Puhtaat reitit: materiaalsiirtoreittien on oltava puhtaita esteistä. Reitillä tarvitsee olla tilaa kahden trukin ohittaa toisensa tarvittaessa. Suunnittele materiaalien laskualueet niin, että ne eivät tuki reittejä
- 4) Siirrot riippumattomia ajoituksesta: jos vain mahdollista, materiaalsiirtojen on hyvä olla ajoituksesta riippumattomia. Ajoitus voi muodostua ongelmaksi, jos materiaaleja ei saada halutussa järjestyksessä tai ajoissa tehdasalueelle
- 5) Varautuminen ylimääräisiin materiaaleihin: ongelmien varalta on oltava tilaa kokoonpanoalueella ylimääräisille osille esimerkiksi laatuvirheiden takia. Asemien viereen voi esimerkiksi kertyä materiaalia epäkuranttien osien korjaustöiden takia.

Kaikkia periaatteista ei välttämättä pysty ottamaan huomioon tilan, valmistuksen tai muun osa-alueen rajoitusten takia. Tärkeimpiä näistä periaatteista ovat selkeät reitit ja siirrot riippumattomia ajoituksesta. Selkeät reitit on helppoa havainnoida materiaalihuoltajan näkökulmasta ja ennenkaikkea turvallisia työntekijöiden kannalta. Siirrot riippumattomia ajoituksista on tärkeä periaate siksi, että tällöin materiaalihuolto pystyy reagoimaan logistiikassa tai tavaroiden saatavuudessa oleviin ongelmiin helpommin.

## 2.4.2 Jalostava ja jalostamaton työ

Materiaalisiirrot eivät itsessään lisää käsiteltävän materiaalin arvoa. Siksi on oleellista että kokoonpanossa keskitytään nimenomaan materiaalia jalostavaan työhön. Jalostamattoman työn toiminnot koitetaan karsia pois:

- 1) Odottaminen ja etsiminen
- 2) Kuljetukset, siirrot ja käsittelyt
- 3) Turhat työt ja virheet
- 4) Huono tai vaikea työmenetelmä
- 5) Siirtymiset, turhat liikkeet ja pitkät etäisyydet
- 6) Huono siisteys ja järjestys
- 7) Ylituotanto
- 8) Varastot [Larikka & Pohjasmäki 1995, s. 17]

Kohdat 1, 2, 5, 6 ja 7 liittyvät suorasti tai epäsuorasti materiaalisiirtoihin. Näitä on vältettävä materiaalivirtojen suunnittelussa. Tavoitteena ei ole tehdä materiaalisiirroista nopeampia ja helpompia, vaan poistaa niiden tarve kokonaan, jos vain mahdollista. [Larikka & Pohjasmäki 1995, s. 17] Jalostava ja jalostamaton työ on osa Lean-ajattelua. Lean on tavoitteiltaan (hukan poistaminen) sopivaa teoriaa materiaalivirtojen suunnittelun tueksi.



## 3 LEAN-AJATTELU MATERIAALIVIRTOJEN HALLINNAN POHJANA

Leanin ajatuksena on tehostaa tuotantoa poistamalla erilaisia hukkaa (tuottamaton toiminto) aiheuttavia tekijöitä tuotannosta. Hukat muodostuvat monista materiaalivirtoihin liittyvistä tekijöistä: muun muassa kuljetukset, varastot ja liike. Leanin tarkoitus on parantaa laatua ja asiakastyytyväisyyttä (joka seuraa laadusta), pienentää tuotannon kustannuksia ja lyhentää läpimenoaikoja. Näistä syistä Lean on sopiva lähtökohta tuotantolinjan materiaalivirtojen hallinnan pohjaksi. Lean pohjautuu aiemmin kehitettyyn Just-in-Time -ajatteluun

### 3.1 Just-In-Time – Leanin esiaste

Autovalmistaja Toyota alkoi kehittämään toisen maailmansodan jälkeen tuotantoaan. Pitkään jatkuneen kehitystyön tuloksena syntyi Toyota Production System (TPS). Tämä tuotantojärjestelmä on toiminut lähtökohtana sekä testialustana ensin Just-In-Time-johtamisfilosofialle (JIT) ja myöhemmin Lean-johtamisfilosofian (Lean) kehitykselle. [Liker 2004, p. 22-25]

Jotta JIT toimisi, pitää tuotannon olla imuohjattu. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi kokoonpanossa asema 3 luo tarpeen asemalle 2 saada työnsä valmiiksi ja siirrettyä asemalle 3. Imuohjauksessa kokoonpanoa vedetään eteenpäin aina linjalla seuraavan aseman puolelta: tuotantolinjan viimeistä vaihetta ohjaa kysyntä tai tuotantosuunnitelma. Tämä toimintatapa ehkäisee turhien ja suurten valmisvarastojen syntymisen. JIT hyödyntää vahvasti imuohjausta. [Liker 2004, p. 23-24]

JIT on kokoelma periaatteita, työkaluja ja tekniikoita joiden avulla yritys voi onnistua tuottamaan ja toimittamaan tuotteita pienissä erissä, lyhyillä läpäisyajoilla, ja asiakkaan vaatimukset täyttäen. JIT:n hyöty on siinä että se mahdollistaa päivä päivältä asiakasvaatimuksiin vastaamisen tehokkaasti. [Liker 2004, p. 23]

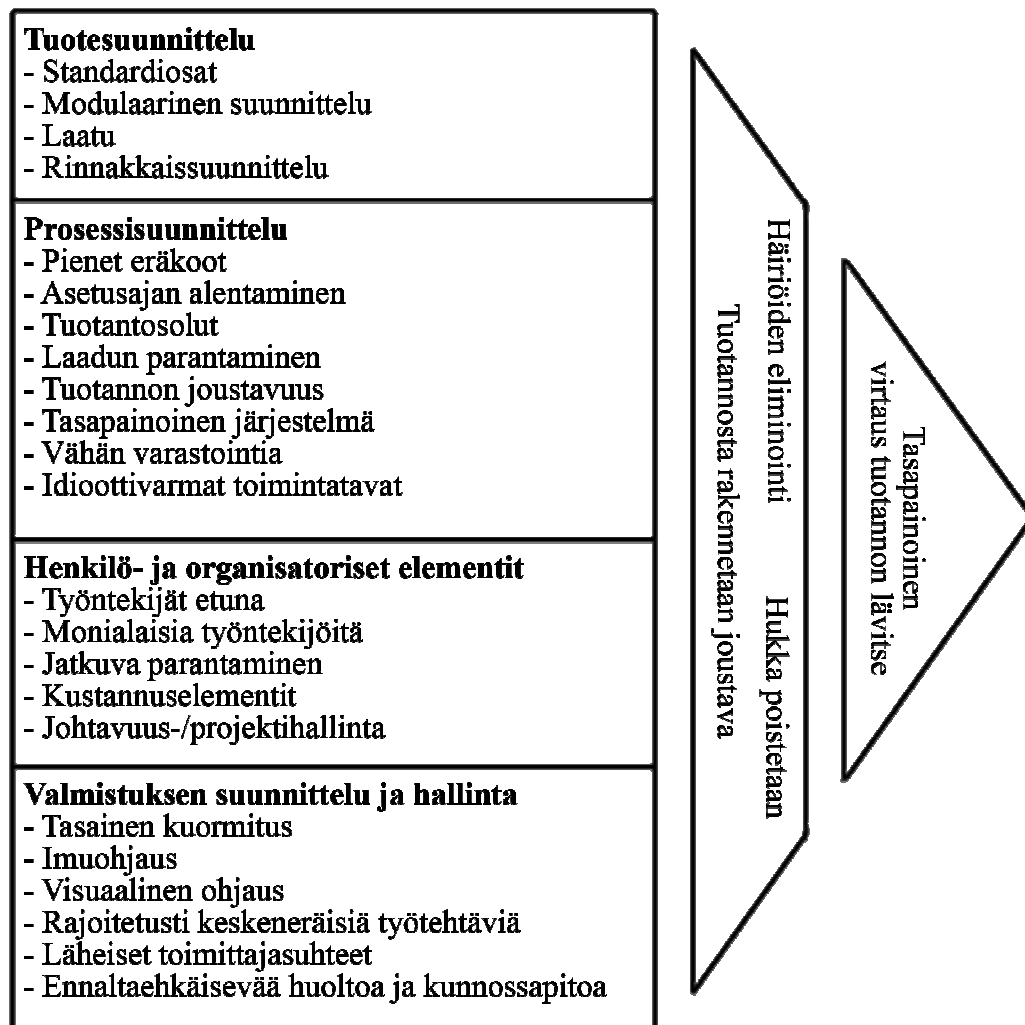
### 3.2 Leanin tavoitteet ja keinot niiden saavuttamiseksi

Toyota jatkoi JIT:in jatkokehittämistä ja lopputuloksena syntyi Lean. Johtamisfilosofia tällä nimellä lanseerattiin ensimmäisen kerran 1990-luvulla. Lean vei pääajatuksenaan JIT:n esittelemiä tavoitteita ja periaatteita eteenpäin ja toi mukanaan lisää oivalluksia. Leanissa toimitetaan oikea määrä oikeita asioita, oikeaan aikaan ja oikeaan paikkaan. Lean ei ole pelkästään sovellettavissa tuotantoon, vaan myös palveluihin ja koko yrityksen toimintaan ja strategiaan. [Womack & Jones 2003, p. 10-11]

Lean-ajattelussa pyritään saavuttamaan kolme tavoitetta, jotka tekevät tuotannosta mahdollisimman sujuvan, taloudellisen ja tehokkaan:

- 1) Kaiken arvoa tuottamattoman toiminnan karsiminen: poistetaan kaikki turha toiminta. Onnistuessaan tämä mahdollistaa tuotannon hiomisen jatkuvasti toimivaksi järjestelmäksi, joka pystyy tuottamaan identtisiä tuotteita toistuvasti
- 2) Laadun parantaminen: kilpailukyvyn säilyttäminen nykymaailmassa vaatii että yrityksen tulee ymmärtää asiakkaan tarpeet ja vaatimukset. Tiedon pohjalta yritys suunnittelee omat prosessinsa vastaamaan tarpeisiin ja vaatimuksiin
- 3) Hukan poistaminen: kaikki aikaa, resursseja ja tilaa kuluttava toiminta ei lisää lopullisen tuotteen arvoa [Womack et al. 1990, p. 58-62]

Neljä rakennusosalustaa muodostavat pohjan tavoitteiden saavuttamiselle: tuote- ja prosessisuunnittelu, henkilö- ja organisatoriset elementit, sekä valmistuksen suunnittelu ja hallinta (kuva 3.1). Näiden avulla voidaan saavuttaa järjestelmä, joka on joustava, ei tuota hukkaa, ja ei kärsi häiriöistä. Tärkeintä on saada mahdollistettua materiaalien ja työn vapaa virtaus prosessin lävitse. [Stevenson 2007, p. 682]



Kuva 3.1. Leanin tavoitteet ja keinot niiden saavuttamiseksi [Stevenson 2007, p. 682]

Lean keskittyy pääosin kahdeksan erilaisen hukan poistamiseen tuotannosta. Nämä kahdeksan hukkaa on jalostettu JIT:n kuudesta vastaavasta ja täydennetty kahdella uudella määritelmällä:

- 1) Siirrot: jokainen siirto on ylimääräinen riski. Tuote voi esimerkiksi vahingoittua, kadota tai myöhästyä. Siirrot eivät lisää tuotteen arvoa asiakkaalle tai yritykselle
- 2) Varastot: käsitti varasto sitten raaka-aineita, työllä olevia materiaaleja tai valmiita tuotteita, se sisältää pääomaa sitonutta omaisuutta joka ei tuota arvoa asiakkaalle tai yritykselle. Mainittujen vaiheiden varastoinnista ei ole hyötyä
- 3) Liike: työntekijän, koneiden ja tuotteen (kokoonpanossa) ylimääräinen liikkuminen on turhaa. Tämä vaikuttaa kulutukseen, turvallisuuteen ja riskialttiuteen
- 4) Odotusaika: kun materiaalit eivät ole siirrossa jonnekin tai tuotannossa, ne odottavat. Perinteisessä tuotantjärjestelmässä suurin osa tuotteen valmistusajasta on odotusaikaa
- 5) Yliprosessointi: kun tuotteelle tehdään enemmän työtä kuin asiakas vaatii, se on yliprosessointia. Tämä käsite sisältää myös liian tarkkojen, monimutkaisten ja kalliiden työkalujen käytön, kun ne eivät ole pakollisia
- 6) Ylituotanto: kun tuotteita valmistetaan enemmän kuin on kysyntää, se on ylituotantoa. Yleisesti isojen erien tuottaminen johtaa tähän, koska valmistusajan kuluessa asiakkaan tarpeet voivat muuttua. Ylituotanto on pahin hukka, koska se aikaansaa muitakin hukkia ja piilottaa niitä. Ylituotanto johtaa suuriin varastoihin
- 7) Viat: kun raaka-aineissa, työllä olevissa materiaaleissa tai valmiissa tuotteissa on vikoja, niiden korjaaminen maksaa yritykselle. Viat johtajat myös esimerkiksi aikataulutuksen uusimiseen ja osien ylimääräiseen työstämiseen
- 8) Asiakkaan tarpeisiin sopimattomat tuotteet: jos tuotannossa valmistetaan asiakkaalle sopimattomia tuotteita, yritykselle maksaa tuotteiden muuntaminen sopiviksi. Tämä vaikuttaa myös aikataulutuksiin sekä aiheuttaa osien ylimääräistä työstämistä [Womack et al. 1990, p. 95-97]

Näitä kahdeksaa hukkaa pyritään poistamaan tuotannosta jatkuvalla kehittämisellä, imuohjauksella ja virhemahdollisuuksien prosessista eliminoimisella. Jatkuva kehittäminen tarkoittaa kokonaisvaltaista suorituskyvyn parantamista: jos tuotantoa ei pyritä kehittämään, voi kilpailijoiden tuotannon tehokkuus mennä ohitse. Virhemahdollisuuksien eliminointi prosessista tarkoittaa mahdollisten ongelmien etsimistä tuotantolinjan vaiheista jo etukäteen ennen vaaratilanteiden syntymistä tai tuotannon seisahtumista. [Stevenson 2007, p. 683]

### 3.3 Tuotannon siirtäminen Leaniin

Yleensä alitajuisesti näitä Leanin nimeämiä asioita yritetään poistaa tuotannosta. Materiaalivirtojen hallinnan kannalta on tärkeää ymmärtää, minkälainen prosessi vaaditaan, jotta Lean-ajattelu saadaan käyttöön tuotantolinjalle ja tulevaisuudessa koko

tuotantoketjuun. On tärkeää ymmärtää, miten saadaan työntekijät ja toimihenkilöt mukaan yhteiseen tuotannon kehitystyöhön.

Tuotannon muuttaminen ymmärtämään ja toteuttamaan Leanin periaatteita voi olla hankala prosessi. Siirtoa ei kannata tehdä yhdellä kertaa vaan edetä vaiheittain eteenpäin toteuttaen muutokset niin että työntekijät, alihankkijat ja asiakkaat kerkeävät tottua asioiden eri tavalla suorittamiseen. Leaniin siirtymisessä on kahdeksan vaihetta, jotka auttavat alkuun:

- 1) Muutoksen suorittaja: pienessä tai keskisuuressa yrityksessä muutoksen suorittaja on pääsääntöisesti toimitusjohtaja. Isossa organisaatiossa toimitusjohtaja ei ole käytännön projektijohtaja, vaan yleensä operatiivinen johtaja tai varajohtaja. Lisäksi he tarvitsevat avukseen projektivastaavia tuotannon eri osa-alueille
- 2) Hanki tarvittava tietotaito: projektijohtaja ei välttämättä ole Leanin asiantuntija, vaikkakin halukas muutokseen: Tällöin on hankittava tietotaito toimimaan taustatukena muutoksen toteuttamisessa. Aina voi sopia yritysvierailuista Leania käyttäviin yrityksiin tai palkata konsultti toimimaan apuna. Luultavasti kuitenkin yksi asiantuntija yritystasolla ei riitä muutoksen toteutukseen
- 3) Muutosvastarinnan voittaminen: yritykset eivät varmasti ole halukkaita muuttamaan huonosti toimivaakaan toimintatapaansa, koska se sisältää suuria taloudellisia riskejä. Jos yrityksesi on valmiiksi kriisissä, hyödynnä tilaisuutta. Leanin avulla voit vähentää kustannuksia varastoinnissa 6-12 kuukauden aikavälillä
- 4) Älä mieti strategiaa: usein yrityksen ollessa kriisissä mietitään strategiaa. Tämä ajattelumalli johtaa syiden etsimiseen toimialasta, ei omasta yrityksessä. Omien kustannusten laskemisella, läpimenoaikojen lyhentämisellä ja joustavuuden lisäämisellä saadaan aikaiseksi suurempi muutos kuin strategian joskus turhalla terävöittämisellä
- 5) Kartoita arvovirtasi: selvitä missä kaikkialla prosesseissasi tulee huomioida muutos Leaniin. Pelkästään tuotannon muuttaminen hyödyntämään JIT:in periaatteita ei riitä, vaan pitää myös huomioida alihankkijat, toimittajat sekä muut yrityksen omat toiminnot. Ennustamisesta tilausten suhteen pitää päästä eroon, jotta yrityksen toiminta voi olla oikeasti joustavaa
- 6) Mahdollisimman nopeasti näkyvää toimintaa: Leaniin siirtyminen etenee yrityksen, jopa yksikön, sisällä vaiheittain. Aloita mahdollisimman nopeasti muutoksen teko tietyssä yksikössä ja aina muutoksen onnistuttua etene seuraavaan
- 7) Vaadi välittömiä tuloksia: muutoksesta pitää saada välitöntä palautetta, jotta ilmenneisiin ongelmiin voidaan puuttua heti. Älä kuluta turhaan aikaa simulaatioiden tekoon ja benchmarkkaukseen, jos yrityksesi ei välttämättä tarvitse moisia
- 8) Kun muutos on valmistumassa, laajenna sitä: muutoksen ei pidä antaa pysähtyä, vaan kun esimerkiksi tuotanto ja siihen välittömästi liittyvät toiminnot ovat

ottaneet Leanin menestyksekkäästi käyttöön, aloita muutos muilla yrityksen osalualueilla. Pyri kattamaan koko yrityksen arvovirran jokainen alue, ja saattamaan koko yritys Leanin hyödyntäjäksi [Womack & Jones 2003, p. 248-260]

Siirtyminen perinteikkäästä toimintatavasta Leaniin sisältää haasteita: esimerkiksi organisaatiokulttuuri ja varastointitarpeet voivat olla ongelmallisia Leanin kannalta. Samalla tavalla Lean vaatii ehdottomasti johdon, työntekijöiden, organisaatiokulttuurin ja alihankkijoiden tukea onnistuakseen. [Stevenson 2007, p. 702-703]

## 4 TUOTANNONOHJAUSJÄRJESTELMÄ MATERIAALINOHJAUKSESSA

Tuotantolinja on riippuvainen tuotannonohjausjärjestelmän tuesta. Ilman kunnollista materiaalinohjausjärjestelmää ei ole mahdollista toteuttaa tasaisesti tuotanto-ohjelmaa ja oikea-aikaista materiaalihuoltoa.

Tuotannonohjausjärjestelmän tarkoitus on ohjata materiaalin virtausta valmistuksessa aina asiakkaan tilauksesta asiakkaalle toimitukseen asti. Tämän virtauksen aikana materiaalista tai useista materiaaleista muokataan ja valmistetaan asiakkaan haluama tuote. Tuotantojärjestelmä lisää myös materiaalin arvon päälle oman valmistusarvonsa. [Lapinleimu et al. 1997, s. 191-192]

Tuotannonohjausjärjestelmää hallitaan yrityksen tietojärjestelmien avulla. Näitä tietojärjestelmiä nimitetään ERP:ksi (Enterprise Resource Planning, yrityksen resurssien suunnittelu). [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 430] Tietojärjestelmien rooli on kasvanut jatkuvasti ja nykyään teollisuudessa pidetään ERP-järjestelmiä synonyyminä tuotannonohjausjärjestelmälle.

### 4.1 Syyt käyttöönnotolle

Yrityksellä on kolme pääsyitä, miksi siirtyä käyttämään tuotannonohjausjärjestelmän käytössä ERP-järjestelmää: taloustiedon integrointi, valmistusprosessien ja tarvittavan henkilöstöinformaation standardointi. ERP-järjestelmän käyttöönotto on aikaavievä prosessi, mutta edellä mainittujen syiden hallitseminen yhden järjestelmän kautta on riittävä motivaatio. [Stevenson 2007, p. 657-658]

Yrityksen suoriutumisen ymmärtäminen korkealla tasolla on haastavaa, koska yksiköt käyttävät eri tunnuslukuja. Tällainen toiminta ei jaa johdolle informaatiota tarvittavassa yksinkertaisessa muodossa. Taloustiedon integrointi osaksi yrityksen tuotannonohjausjärjestelmää on tähän ratkaisu. ERP:n avulla taloustiedosta muodostetaan vain yksi versio, koska kaikki käyttävät samaa järjestelmää. Tämä helpottaa johdon työtä ja yksiköiden toiminnan vertailua. [Stevenson 2007, p. 657]

Isojen yritysten tuotannonohjaus on haastava tehtävä. Huonosti ohjattuna yrityksen eri tuotantoyksiköt voivat valmistaa samoja tuotteita tai osia toisistaan vähän poikkeavin tavoin. Tämän ongelman poistamiseen ERP-järjestelmä sopii. Prosessien standardointi onnistuu käyttämällä yhtä yhteistä tietojärjestelmää. Tällä tavoin säästetään aikaa, kasvatetaan tuotantoa ja vähennetään turhia toimintoja. [Stevenson 2007, p. 657-658]

Isoissa yrityksissä henkilöstöhallinnon on vaikea seurata työntekijöiden työaika ja tarjota palveluitaan. ERP-järjestelmän avulla tarvittavan henkilöstöinformaation

standardointi onnistuu. Kaikki tieto löytyy samasta järjestelmästä ja tätä kautta henkilöstöhallinnon on helpompi toimia [Stevenson 2007, p. 658]

## 4.2 Tehtävät, vahvuudet ja ongelmat

ERP-järjestelmän avulla voidaan hallita yrityksen kaikkia resursseja ja tuotantoyksiköitä tehokkaasti. Eri järjestelmien tietotekninen integrointi mahdollistaa tarkemman seurannan ja johtamisen. ERP-järjestelmän tärkeimpiä tehtäviä on seitsemän kappaletta:

- 1) Perustietojen ylläpito
- 2) Tapahtumatietojen hallinta
- 3) Tietojen välitys organisaation sisällä
- 4) Suunnitelmien laadinta ja ylläpito
- 5) Toteumatietojen keruu ja ylläpito
- 6) Asiakirjojen ja dokumenttien tuottaminen
- 7) Tilastointi ja raportointi [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 430]

ERP-järjestelmän vahvuutena on kaiken kattava, integroitu tietojärjestelmä. Tämän avulla koko yrityksen tiedonhallinta onnistuu yhden järjestelmän kautta. Samalla kuitenkin ERP:n vahvuus on sen heikkous: yksi tietojärjestelmä yrityksen kaikkien yksiköiden käytössä on monimutkainen, kallis ja käyttöönotto vaatii pitkän ajan. Hyötyjä ERP:in käytölle on kuitenkin laskettavissa merkittävästi:

- 1) Tietojen käsittelyn tehostaminen
- 2) Eri toimintojen parempi suunnittelu
- 3) Resurssien käytön tehostuminen
- 4) Nopeampi reagointi tapahtumiin
- 5) Tietojenkäsittelyn nopeutuminen
- 6) Tilausten ja toimitusten parempi hallinta
- 7) Raportoinnin ja tunnuslukujen käytön kehittyminen
- 8) Liiketoiminnan johtamisen tehostuminen
- 9) Asiakastietojen parempi hallinta
- 10) Hankintojen tehokkaampi ohjaus [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 431]

Yksittäisen toiminnon toteuttamiseen ERP-järjestelmä on liian kömpelö, monimutkainen ja kallis. ERP on tarkoitettu laajalle käyttäjäkunnalle ja tästä syystä ohjelmisto ei ole kovinkaan personoitu. ERP-järjestelmän hyödyntämiseksi yrityksen on tehtävä pitkälle viety tietotekninen integrointi, joka vaatii eri toimintojen standardisointia. Tämä voi tuntua käyttäjistä vaivalloiselta. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 430] Usein yritykset palkkaavatkin ERP-järjestelmän käytön ammattilaisia tukihenkilöiksi, kun käyttäjät opettelevat käyttämään jotain ERP:n ennestään tuntematonta toimintoa.

### 4.3 Keskeiset toimintamallit

ERP-järjestelmien keskeiset toimintamallit ovat samankaltaisia tietojärjestelmän toimittajasta riippumatta. Keskeisiä toimintamalleja on muun muassa tuoterakenne, tarvelaskenta, kuormitus- ja materiaalikirjanpito sekä standardikustannuslaskenta. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 432-436]

Tuoterakenne määrittelee valmistuksessa tarvittavat raaka-aineet ja komponentit. Valmistuksessa tehtävät työvaiheet kuvataan tuoterakenteen osana olevana työvaiherakenteena (englanninkielinen termi routing), josta käy ilmi eri vaiheiden vaatimat kapasiteetit. Tuoterakennetta käytetään hyödyksi valmistuksen vaatiman materiaalien ja kapasiteetin laskemisessa. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 433]

Tarvelaskennassa määritetään tuote-erän materiaalien ja kapasiteetin tarve. Tämä lasketaan tuoterakenteen määrittelemien materiaali- ja kapasiteettitarpeiden avulla. Tuotannon ajoitus toteutetaan tarvelaskennan yhteydessä, mikä tarkoittaa työvaiheiden ajankohtien määrittämistä. Yleensä hyödynnetään taaksepäin ajoitusta, eli lasketaan taaksepäin hetkestä jolloin tuotteen on oltava valmis. Ajoituksen avulla selvitetään tarvittavat kapasiteetit ja materiaalit. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 433-434]

Kuormituskirjanpito perustuu tarvelaskennan avulla määritettyihin kapasiteettitarpeisiin. Tarvelaskennan ajoituksella määritetty tarkastelujakso kohdistaa kuormituksen, joka purkautuu kun kyseinen työvaihe on raportoitu suoritetuksi tai tuote on raportoitu valmistetuksi. [Uusi-Rauva et al. 2009, S. 434]

Materiaalikirjanpidossa ylläpidetään saldotietoa tuotteista, materiaaleista ja puolivalmisteista. Saldotieto tarkoittaa varastosta fyysisesti löytyvää määrää. Tätä seurataan eri materiaalitapahtumia laskemalla. Tästä syystä ERP-järjestelmän käyttöä edellytetään jokaiselta: ainak un materiaali liikkuu, se tulee kirjata ERP:iin. Materiaalikirjanpito on yksi tärkeimmistä ja haastavimmista tietojärjestelmän tehtävistä. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 435]

Standardikustannuslaskenta määrittää valmistettavan tuotteen hinnan tuoterakenteen, materiaali- ja kapasiteettimenekin perusteella. Laskenta perustuu ERP-järjestelmässä ylläpidettyihin raaka-ainehintoihin, kone- ja työkustannuksiin. Laskennassa huomioidaan välilliset kustannukset kustannuslisiä ja -kertoimia hyödyntämällä. Tästä syystä kustannuslaskenta antaa tarkkoja arvioita, mutta ei eksakteja tuloksia. Valmistuksen toteutusta, hinnoittelun sekä kustannuslaskennan onnistumista voidaan arvioida vertaamalla standardikustannuslaskentaa jälkilaskelmaan. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 436]



## **5 TUOTANNON OHJAUSTAVAT MATERIAALIEN HALLINNASSA**

Tuotantolinjan materiaalien hallinta ja –ohjaus vaativat tueksi tarkoitukseen sopivat tuotannon ohjaustavat ja ajoituksen. Materiaalien oikeat ohjaustavat ovat tärkeitä: väärä ohjaustapa voi olla jopa haittaava tekijä tuotantolinjan toiminnassa. Tuotannon ajoitus tulee tehdä niin, että tuotantolinja toimii mahdollisimman tasaisesti ja varmasti. Ajoituksen avulla on mahdollista korjata kokoonpanossa olevia pullonkauloja.

Tuotantojärjestelmän tehokas ohjaus on tärkeätä, jotta asiakkaan haluaman tuotteen valmistuminen on nopeata ja kustannustehokasta. Erilaisia ohjauspainotuksia on useita ja niiden kaikkien hallinta on edellytys menestyvälle yritykselle. Näitä ovat esimerkiksi operatiivinen ohjaus, valmistuksen ohjaus, konfiguroitavan tuotteen ohjaus ja materiaalinohjaus. Operatiivinen ohjaus tarkoittaa myyntiä tukevan tuotannon suunnittelua: tämä toteutetaan tuotantosuunnitelman, työnjärjestelyn ja materiaalinohjauksen avulla. Valmistuksen ohjaus tarkoittaa tuotantolinjan tai tehdashallin organisointia: valmistuksen ohjaus sisältää kaikki toiminnot, joita toteutetaan kun muutetaan tilaukset tuotteiksi. Konfiguroitavan tuotteen ohjaus tarkoittaa moduulien ohjausta, joista rakennetaan lopputuotteita: konfiguroitavia tuotteita ei tehdä varastoon, koska ne tehdään asiakkaiden toiveiden mukaisesti. [Lapinleimu et al. 1997, s. 191-192] Materiaalinohjaus ja sen ohjaustavat ovat tämän työn aihepiirin kannalta oleelliset. Operatiivinen ohjaus on ylätasoinen ohjaus, jonka alla ovat materiaalin ohjaus ja valmistuksen ohjaus. Konfiguroitavan tuotteen ohjaus sijoittuu valmistuksen ohjauksen alle.

### **5.1 Materiaalien ohjaustavan valinta**

Materiaalien ohjaustapa tarkoittaa sitä millä tavoin materiaalin saatavuutta tarkkaillaan. Tähän tarkoitukseen on kolme tapaa: Tilausohjaus, varasto-ohjaus ja erikoisohjaus. [Lapinleimu et al. 1997, s. 208]

Tilausohjauksessa asiakkaan kanssa tehty sopimus tilauksesta laukaisee impulssin, josta seuraavat valmistuksen aloitus, materiaalitilauksia alihankkijalta ja ostoja toimittajalta. Tällä ohjaustavalla varastoihin ei sidota pääomaa, koska toimintoja tapahtuu vain kun saadaan tilauksia. Tilausohjaus sopii hyvin ABC-analyysin mukaisille luokan A materiaaleille, koska rahallisen arvonsa vuoksi niitä ei ole hyvä pitää varastossa. [Lapinleimu et al. 1997, s. 208] Materiaalien arvoa ja kestoja tarkastellaan ABC-analyysin avulla: analyysi perustuu raaka-ainevaraston nimikkeiden luokitteluun vuosikulutuksen arvoon perustuen. Luokan A materiaalit muodostavat 10-

20% kokonaisnimikemäärästä, kiertävät nopeasti ja ovat arvokkaita. Luokan C materiaalit muodostavat 50-60% kokonaisnimikemäärästä, kiertävät hitaasti ja ovat halpoja. Luokan B materiaalit sijoittuvat näiden väliin. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 457]

Varasto-ohjauksessa varastossa pidetään tarvittavia materiaaleja, joilla jokaisella nimikkeellä on määritetty oma tilausraja (käytetään usein englanninkielistä nimitystä safety stock). Aina kun nimikkeiden määrä laskee tilausrajaan, käynnistyy ennaltamäärätyn kokoisen erän hankinta joko omasta valmistuksesta, alihankkijalta tai toimittajalta. Varasto-ohjaus sopii suurille käyttö- ja nimikemäärille, mutta tilauksesta varastossa olevien materiaalien määrä altistaa varaston turhiksi muuttuville nimikkeille tuotemuutosten yhteydessä. Esimerkki varasto-ohjauksesta on kaksilaatikkosysteemi, jossa tilausraja ja tilauserä on samansuuruisia: kahdesta laatikosta ensimmäisen tyhjentyessä käynnistyy uusi tilaus ja seuraava laatikko jää käyttöön. Varasto-ohjaus soveltuu parhaiten ABC-analyysin luokan C materiaaleille niiden vähäisen arvon ja suuren lukumäärän takia. [Lapinleimu et al. 1997, s. 208-209]

Erikoisohjausta käytetään silloin kun tilausohjaus tai varasto-ohjaus ei onnistu. Tällöin mietitään kunkin nimikkeen kohdalla miten kyseiset materiaalit ohjataan. Täten erikoisohjaus on haastava tapa ja altis häiriöille. Jos materiaalien toimitusaika ylittää omat tarjottavat toimitusajat ja niitä ei kalleuden vuoksi haluta varastoida, pitää tuote ottaa erityisohjaukseen. Esimerkiksi moottorien toimitus vie 3 kuukautta, mutta valmiita tuotteita halutaan toimittaa jo 2 kuukauden sisällä tilauksesta. Moottorit ovat liian kalliita pidettäväksi varastossa. Tällöin pitää ennakoida moottorien tarvetta, ja ennakointi ei onnistu imu- tai varasto-ohjauksessa nimikkeen vaatimalla tavalla. [Lapinleimu et al. 1997, s. 209]

## 5.2 Tuotannon ajoitus

Ajoitus on tuotannon tehtävien suoritusajankohtien määrittelyä. Ajoitus perustuu tuote-erän vaatimien työvaiheiden kestojen laskentaan. Kapasiteettitarpeiden mukaan lasketaan, kuinka pitkä aika kullekin vaiheelle on varattava tuotannossa. Työjärjestyksen ja ajoituksen laadintaan käytetään lukuisia erilaisia menetelmiä ja periaatteita. Toiminnanohjauksen tietojärjestelmien määrittelemää ajoitusta voidaan käyttää lähtökohtana tarkemman ajoituksen suunnittelussa. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 418-419] Ajoituksen avulla nähdään kokoonpanolinjassa piileviä pullonkauloja, ja voidaan korjata näitä muuttamalla kokoonpanojärjestystä, jos mahdollista.

### 5.2.1 Tuotantojärjestelmän vaikutus ajoitukseen

Ajoitus perustuu tuotantomääriin. Korkeita tuotantomääriä tuottavaan prosessiin suunnitellaan ajoitus eri tavalla kuin konepajoille ja projektituotannoille. Tuotantojärjestelmät ovat jaettavissa kolmeen eri ryhmään: korkean tuotantomäärän (High-Volume System), keskitason tuotantomäärän (Intermediate-Volume System), sekä pienen tuotantomäärän järjestelmät (Low-Volume System). [Stevenson 2007, p. 722]

Korkean tuotantomäärän järjestelmissä on standardisoidut välineet ja koneet, joilla suoritetaan toistuvasti samanlaisia tehtäviä tuotannossa. Järjestelmän tavoite on aikaansaada jatkuva tuotteiden virta tuotannon lävitse ja maksimoida välineiden, koneiden ja resurssien hyödyntäminen. Parhaiten järjestelmien tuotanto sujuu, kun tavoitteena on tehdä samanlaisia tuotteita. Järjestelmien pysäytys ja käynnistys on kallista, erityisesti prosessiteollisuudessa. Korkean tuotantomäärän järjestelmiä kutsutaan myös virtausjärjestelmiksi (Flow System), ja järjestelmän ajoitusta kutsutaan virtaus-konepajan ajoitukseksi (Flow-Shop Scheduling). Tätä ajoitusta voi tehdä myös keskitason tuotantomäärän järjestelmissä, joka on samankaltainen korkean tuotantomäärän järjestelmän kanssa: järjestelmän tarkoitus on tuottaa standardisoituja tuotteita. Jos tuotanto käsittää valmistusta, tuotteita todennäköisesti valmistetaan varastoon. Tuotantomäärä ei kuitenkaan ole niin iso että tuotetta olisi kannattaa valmistaa jatkuvasti. Tästä syystä keskitason tuotantomäärien järjestelmissä tuotteet vaihtelevat ja niitä tuotetaan suurissa määrissä aina kerrallaan. Kolme perusasiaa ovat: tuotantotehtävien tuotantomäärien suuruus, tuotantotehtävien ajoitus, sekä tuotantotehtävien työstöjärjestys. Virtaus-konepajan ajoitus tarkoittaa toistuvia samanlaisia työstöjä samassa järjestyksessä samoilla koneilla tai asemilla. Materiaalivirta kulkee vain yhdellä tavalla tuotantojärjestelmän lävitse. Työstettävät materiaalit ovat ominaisuuksiltaan samanlaisia ja työstömenetelmien ollessa myös samanlaisia, kullekin työvaiheelle voidaan ennustaa kesto. Tämä tieto keräämällä jokaiselta asemalta voidaan ajoittaa materiaalin meno linjalle ja eteneminen tuotannon lävitse niin että välivarastoja ei synny ja asemat ovat kuormitettuna tasaisesti. [Stevenson 2007, p. 722-724]

Pienen tuotantomäärän järjestelmät tuottavat yleensä tilauksesta tuotteita, jotka sisältävät paljon optioita. Pienen tuotantomäärän järjestelmien ajoitus eroaa huomattavasti kahdesta muusta tavasta tilausten projektiluonteisuuden takia. Tätä kutsutaan myös konepaja-ajoitukseksi (job-shop scheduling). Järjestelmälle on luonteenomaista, ettei tuotannolle ole helppo tehdä pysyvää ajoitusta. Tämä johtuu siitä että tuotantotilaukset sisältävät usein hyvin erilaisia tuotantovaiheita, materiaaliarpeita ja vaadittua määrää tuotantoaikaa. Järjestelmän ajoituksessa on kaksi perusasiaa: työmäärän jakaminen työasemille, sekä missä järjestyksessä työtehtäviä suoritetaan. Konepaja-ajoitus tarkoittaa erilaisia työstöjä erilaisessa järjestyksessä eri koneilla tai asemilla. Materiaalivirta kulkee vain tarvittavien koneiden kautta. Työstettävät materiaalit voivat olla ominaisuuksiltaan hyvinkin erilaisia ja myös työstömenetelmät vaihtelevat tarpeiden mukaan. Tästä syystä konepajan ajoituksen tekeminen on vaikeaa ja pienille projekteille sitä ei kannata tehdä. Isommille projekteille ajoitus tehdään projektikohtaisesti. [Stevenson 2007, p. 724-725]

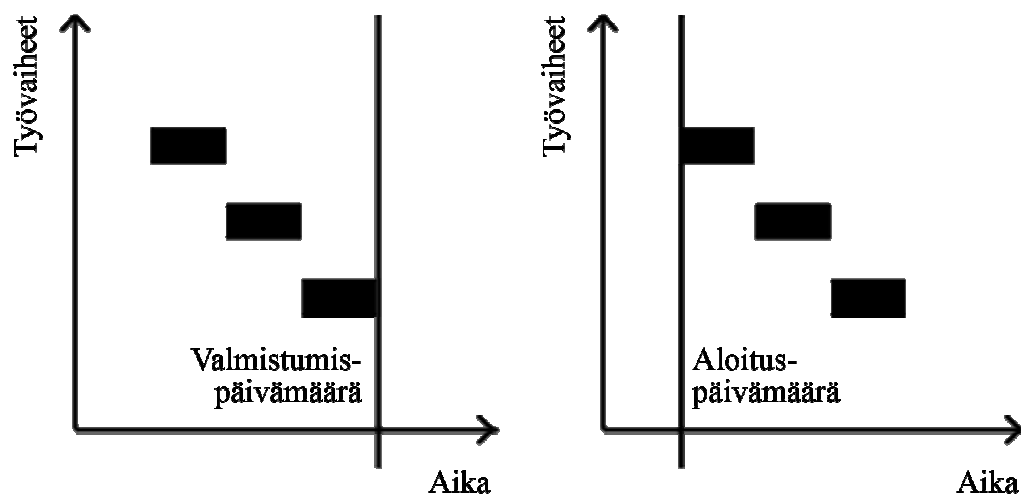
### **5.2.2 Ajoitustavat**

Tuotannon ajoitustapoja on kaksi: taaksepäin ja eteenpäin ajoitus. Taaksepäin ajoituksessa käydään lävitse tuotanto suunnitellusta valmistumisajankohdasta alkaen. Lasketaan viimeiseen vaiheeseen vaadittava aika, jonka perusteella saadaan viimeisen

vaiheen aloitusajankohta. Samalla tavalla lasketaan toiseksi viimeisen vaiheen aika, ja sen perusteella aloitusajankohta, ja niin edelleen kunnes on käyty lävitse koko tuotantoketju. Taaksepäin ajoitus on näistä kahdesta enemmän käytetty menetelmä. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 419]

Eteenpäin ajoituksessa lähtökohta on toisinpäin: tuotannon aloitusajankohtaan lisätään ensimmäisen vaiheen vaatima aika, jonka perusteella saadaan vaiheen lopetusajankohta. Seuraavat vaiheet ajoitetaan tästä hetkestä ajassa eteenpäin ja lopuksi saadaan tuotannon lopetusajankohta. Ajoituksen tarkkuutta voidaan parantaa huomioimalla siirto- ja odotusajat vaiheiden välillä. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 419]

Perusmenetelmät ovat käytössä toiminnanohjauksen tietojärjestelmissä (kuva 5.1). Haittapuolena ne eivät ota huomioon muita samaan ajankohtaan ajoitettuja tuotantoeräiä. Ajoituksen ja kuormituksen laskeminen tehdään rajoittamattomaan kapasiteettiin, mikä ei huomioi muiden tuotantoerien kapasiteettitarpeita. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 419-420]



*Kuva 5.1. Taaksepäin ja eteenpäin ajoituksen vertailu. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 419]*

Rajoittamattomaan kapasiteettiin tehty ajoitus on usein riittävä karkeasuunnittelua varten. Karkeasuunnittelu tarkoittaa asiakastilausten aikataulutusta myynnin budjetoidun tavoitearvon ja tuotannon kapasiteetin avulla. Hienosuunnittelu vaatii huomioimaan todellisen, rajallisen kapasiteetin. Hienosuunnittelu tarkoittaa tarvittavien työvaiheiden tarkkaa ajoitusta ja tuotteen valmistuksen aikataulutusta käytössä oleville resursseille. Toiminnanohjausjärjestelmien rajattomaan kapasiteettiin laskettua ajoitusta voidaan käyttää tarkemman hienosuunnittelun työstössä. [Uusi-Rauva et al. 2009, s. 419-420]

## **6 MATERIAALIHUB MATERIAALIHUOLLON POHJANA**

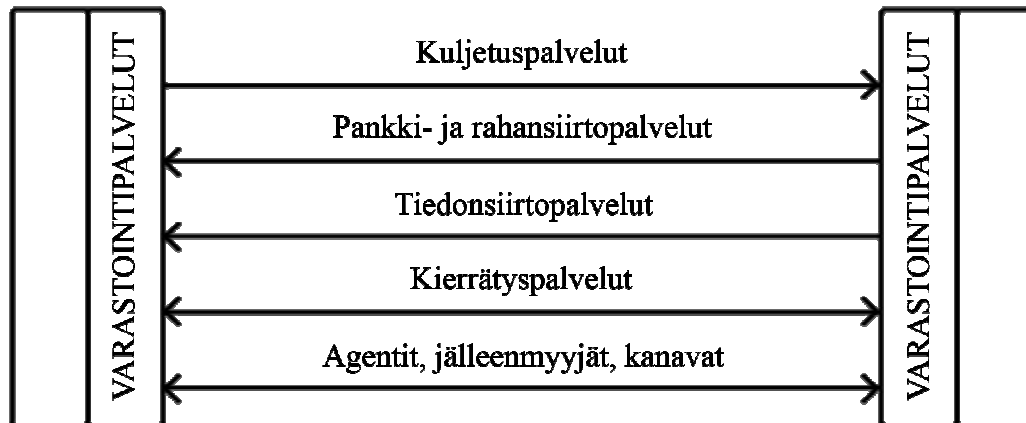
Erilaisten logistiikkapalveluiden toiminnan tutkimisella selvitetään, olisiko mahdollista perustaa materiaalihub hoitamaan osien varastointia ja tuotantolinjan materiaalihuoltoa. Tehdasalueiden tilanpuute ja varaston havaittu hyvä toimivuus vuokratiloissa antavat perustetta tutkia asiaa enemmän.

### **6.1 Syitä ja perusteita logistiikkapalveluiden käytölle**

Yrityksen ulkoistavat joskus logistisia toimintojaan pohjaamalla päätöksensä kolmeen kriteeriin; tuotteen suhteelliset- ja tuotantovaiheeseen liittyvät transaktiokustannukset, sekä organisaation (tai ennemmin sen muutoksen) vaikutus innovaatioihin, tiedonvaihtoon ja oppimiseen. Vaihtoehto omalle varastoinnille ja logistiikkatoiminnoille ovat ulkoiset logistiikkakeskukset (materiaalihubit). Nämä eivät eroa muuten yrityksen tehdasalueella olevasta varastosta kuin sijainnillaan, joka on tehdasalueen ulkopuolella. Tällöin tuotannon ajoitus nousee tärkeäksi, koska materiaalit tuodaan kauempaa kokoonpanolinjalle: huonosti suunniteltu ajoitus johtaa helposti tuotannon pysähtymiseen. [Häkkinen & Salmela 2006, s. 8] Tämän diplomityön puitteissa tarkastellaan kuitenkin erästä käytännön syytä: yrityksillä voi olla ongelmana varastotilojen puute omalla tontilla. Tällöin on tarve ulkoiselle varastolle, joko omalle tai vuokratulle. Vastaavanlainen tarve varastolle voi olla myös isommallakin yrityksellä, jolla tuotantomäärien kasvaessa ei ole omalla tontilla tilaa varastoida tarvittavaa määrää materiaalia. Materiaalihubin teorian tarkastelu on oleellista yrityksen tuotannon ajoituksen, materiaalin varastoinnin ja vastaanoton aikaansaamien muutosten kannalta.

Logistiikkapalvelut määritetään ostettavissa oleviksi logistisiksi toimenpiteiksi ja näiden yhdisteiksi. Palvelut voivat olla sisäisiä tai ulkoisia. Yritykselle jää päätettäväksi, milloin on kannattavampaa ostaa toimenpide, ja milloin kannattaa tehdä itse, eli sisäistää. Ostaminen voi olla kertaluonteinen tai pidempi sopimus. [Karrus 1998, s. 226]

Kaikki logistiikan sisältämät vaiheet ja tehtävät voidaan ulkoistaa yrityksen niin halutessa: esimerkiksi kuljetus-, varastointi- ja huolintapalveluille tarjotaan ulkopuolisia ratkaisuja. Logististen palvelujen laatua voidaan tarkastella tutkimalla varastoja ja päävirtoja (kuva 6.1). Tällöin havaitaan että osa logistiikan perusvirroista voidaan hoitaa muillakin palveluilla. [Karrus 1998, s. 226-227]



*Kuva 6.1. Logistiikan päävirtojen mukaiset peruspalvelut. [Karrus 1998, s. 227]*

Logistiikan viiden päävirran tarkastelu paljastaa että kaikissa tavaran omistajuutta vaihtavissa tilanteissa on vähintään kolme eri virtaa mukana. Nämä virrat ovat tieto-, materiaali- ja pääomavirta. Useimmiten käytännössä palvelu- ja materiaalivirrat täydentävät toisiaan. [Karrus 1998, s. 227] Materiaalivirtojen hallintasuunnitelman kannalta oleellisimpia logistiikan päävirroista ovat materiaali- ja tietovirrat. Oleellisin peruspalvelu on kuljetuspalvelu. Näiden tarkastelu luo riittävän pohjan materiaalihubin käytön tutkimiselle.

## 6.2 Materiaalihubin käyttö

Varastointi on eräs peruspalvelumuoto, joka on nykyään laajentunut varastotilan vuokraamisesta aina materiaalihubeihin täydennysohjauksineen ja jopa kolmannen osapuolen hallinnoimiin varastoihin. Yritys voi myös itse hallinnoida ulkoista materiaalihubia niin halutessaan. Yrityksen ulkoinen materiaalihub on nykyään voimakkaasti yleistynyt varastointimuoto, jossa voidaan varata säilytystilaa jopa hyllypaikka kerrallaan. Varastoon ja kuljetuksiin liittyvät toimenpiteet voi yritys hoitaa itse tai jättää ne hotelliyrityksen tehtäviksi. Joissakin tapauksissa yritys voi käydä tekemässä tuotannollisia toimenpiteitä materiaalihubin tiloissa, jos tehdyn sopimuksen mukaan on mahdollista. Esimerkiksi tuotteen asennusvalmiuteen saattaminen, pakkausten purku ja osien keräily ovat tuotannollisia toimenpiteitä joita yritys voi ostaa palveluna. Ulkoinen materiaalihub pyrkii toiminnassaan pitkäaikaisiin ja kiinteisiin tilavarauksiin, sillä materiaalihubin kokonaiskattavuus riippuu voimakkaasti käyttöasteesta. [Karrus 1998, s. 229-230]

Varastojen poistaminen omalta tontilta ja palvelun ostaminen on hyvä kehitysvaihtoehto. Tällöin on mahdollista eliminoida alihankkijan tuote- ja oman yrityksen materiaalivarasto, eivätkä nämä olisi oman toiminnan tiellä. Tällöin yritys voisi keskittyä omaan osaamiseensa. [Pötry et al. 2004, s. 9] Huomattu hyöty on taloudellisten valmistuseräkokojen ollessa suurempia kuin toimituserän koko: tällöin varastointi oman tontin ulkopuolella vapauttaa tilaa. Transaktiokustannuksissa

materiaalihub auttaa, jos yritys kuluttaa resursseja pitkälle standardoitujen C-luokan nimikkeiden hankintaan paljon. [Häkkinen & Salmela 2006, s. 13]

## 7 DATUM FLOW CHAIN-ANALYYSI TUOTERAKENNEONGELMIEN RATKAISUSSA

Tuoterakenneongelmien ratkaisu ei varsinaisesti liity materiaalivirtojen hallintasuunnitelman tekoon, mutta ne joka tapauksessa vaikuttavat merkittävästi tuotantolinjan toimintaan. Tasaisesti toimivan linjakokoonpanon edellytyksiä on päivitettyt osapiirustukset ja kunnolliset työohjeet. Ilman näitä ei toimintaa ole mahdollista vakioida.

Kokoonpano tarkoittaa tuotekohtaisesti valmistettujen osien, standardoitujen komponenttien ja tarvikkeiden liittämistä toimivaksi tuotteeksi tai sen osaksi. Varsinaisen kokoonpanon alla voi olla osakokoonpanoja, jotka valmistuttuaan liitetään osaksi varsinaista loppukokoonpanoa. Osalla tarkoitetaan itse valmistettua tai toimittajalta tilattua osaa, joka on yleensä kyseiselle tuotteelle suunniteltu, yhdestä materiaalista valmistettu. Komponentilla tarkoitetaan valmiina ostettua standardiosaa, toimintoa tai osakokonaisuutta. Kokoonpanon helppous riippuu tuoterakenteesta. Tuoterakenne on tuotteessa tarvittavien osien osaluettelo, joka on jaettu kokoonpantavuuden mukaan alitasoille pääkokoonpanoon nähden. Hyvä tuoterakenne on selkeä, kattaa kaikki kokoonpanossa tarvittavat komponentit, osat ja materiaalit, sekä ei sisällä ylimääräisiä ja samankaltaisia osia, jos nämä voi korvata yhdellä osalla joka sopii kaikkiin tarkoituksiin. [Tekes 2001, s. 6-7]

Datum Flow Chain–analyysi (DFC) on yksi tapa tutkia tuoterakennetta ja muokata sitä kokoonpantavuudeltaan paremmaksi. DFC:n avulla saavutetaan kuusi tavoitetta tuoterakenteen tutkimisessa:

- 1) Kuvaa kokoonpanon ylimmän tason tavoitteet
- 2) Liittää ylimmän tason tavoitteet kokoonpanon tekniikan vaatimuksiin ja sen osiin tärkeiden ominaisuuksien (Key Characteristics, KC) muodossa
- 3) Näyttää miten osat rajoittuvat, ja millä piirteillä rajoitus saadaan aikaiseksi, jotta osat saavuttavat halutun asemansa ja sen kautta toteuttavat KC:t
- 4) Näyttää miten tuotteen osat ovat sijoittuneet toisiinsa nähden nimellis- ja muutostiloissa
- 5) Näyttää miten osat tulee suunnitella, sijoittaa ja määrittää toleranssit suunnitelman tueksi
- 6) Varmistaa että suunnitelma on robusti [Whitney 2004, p. 211]

DFC on KC:den toimitusketju, joka määrittää osien ketjun ja liittää ne KC:hin. DFC tarjoaa toimintatavan tuoterakenneanalysoinnin dokumentointiin, sekä analyysin rinnastamiseen tuotestrategiaan ja tuotteen tärkeiden ominaisuuksien saavuttamiseksi. DFC tarjoaa suunnittelijalle vaihtoehtoja osien liittämiseksi toisiinsa ja sisältää



tarvittavan tiedon kokoonpanojärjestyksen tekoon ja muutostila-analyyseja varten. Monet kokoonpano-ongelmat johtuvat tuotestrategian puutteesta. Tämä huomataan viimeistään siinä vaiheessa kun yritetään löytää syytä ongelmiin tehdaskokoonpanon yhteydessä. Kokoonpano-ongelmia esiintyy useilla teollisuuden aloilla ja ne haittaavat aina kokoonpanotyön kehittymistä. [Whitney 2004, p. 211]

## 7.1 Tärkeiden ominaisuuksien merkitys

Tärkeät ominaisuudet merkitään tässä tekstissä lyhenteellä KC, joka tulee englanninkielisestä termistä Key Characteristics. KC voi olla tuote, alikokoonpano, osa tai prosessin ominaisuus. KC:n muutos nimellistilasta vaikuttaa kustannuksiin, tuotteen suorituskykyyn tai turvallisuuteen. Jos KC:n muutos on hyväksyttävä tuotteen hallinnan kustannuksella, on muistettava tarkkailla muutoksen vaikutuksia kokoonpantavuuteen. [Thornton 1999, p. 145-146]

Kaikkien KC:n määritelmän elementtien tulee toteutua, jotta KC on todenmukainen ja täten toteutettavissa. Elementtejä on kolme kappaletta:

- 1) Kriittisyys: jos ominaisuus ei ole kokoonpanon tai tuotteen toimivuuden kannalta tärkeä, se ei silloin ole KC
- 2) Muutosherkät ominaisuudet: jos ominaisuus ei vaikuta mihinkään muutoksille alttiisiin ominaisuuksiin kokoonpanossa, se ei ole KC
- 3) Kustannushyöty: jos ominaisuuden toteutuminen ei korvaa kustannuksia, sitä ei kannata toteuttaa [Whitney 2004, p. 21-22]

Sekä korkean että alhaisen tuotantomäärän teollisuuksissa tiedon keräystä KC:sta tekevät usein alihankkijat, koska tieto voidaan kerätä osien ja alikokoonpanojen valmistuksen yhteydessä. Tästä syystä KC:den tuntemus on tärkeää koko toimitusketjussa. [Whitney 2004, p. 22]

## 7.2 Toimintaperiaate

Ideaalisessa tilanteessa monimutkaisen kokoonpanon suunnittelu alkaa ylimmän tason vaatimusten määrittelyllä. Käytännössä tällöin muodostetaan KC:t koko kokoonpanolle. Seuraavaksi nämä vaatimukset laaditaan pätevään muotoon, ositetaan alikokoonpanoille ja lopulta yksittäisiin osiin asti. [Whitney 2004, p. 213-214]

Kokoonpanon suunnittelijan tehtävä on tehdä suunnitelma kunkin KC:n määrittämiseksi. Tämä tehdään DFC:a hyödyntämällä. Jokaiselle DFC:n osalle määritetään sijainnit nimellistiloissa. Tämä on sama kuin kunnolla määrittäisi jokaisen osan. Tässä suunnitelun vaiheessa tulee suorittaa kolme tehtävää:

- 1) Tunnistetut KC:t tulee liittää systemaattisesti tärkeisiin tietoihin alikokoonpanoissa, osissa sekä rakenteissa eri kokoonpanon tasoilla
- 2) Yhteensopivien ulottuvuuksien ja toleranssisuhteiden suunnittelu, tai kokonaisuuksien paikannus kokoonpanon elementeistä

- 3) Parhaiten KC:t täyttävien kokoonpanotoimintojen tunnistus [Whitney 2004, p. 214]

Suunnittelun alkuvaiheessa kerätään kolmea perustietoa kokoonpanon suunnitteluprosessista, jotka on iskostettu mukaan:

- 1) Sijaintivastuu: mitkä osat ja rakenteet määrittävät muiden osien sijainnin
- 2) Rajoite: osien sijoittumista rajoittavien rajapintojen, ominaisuuksien, sekä muiden osien tunteminen
- 3) Muutostila: kuinka varmoja osien sijainnit ovat suhteessa johonkin runko-osaan tai rakenteeseen joka määrittää ulottuvuuden [Whitney 2004, p. 214]

Suunnitteluprosessi koostuu kahdesta vaiheesta: nimellis- ja muutostila-suunnittelusta. Nimellistilasuunnittelu luo rajoitteiden mukaisen rakenteen (kuten edellä on kuvattu) olettamalla osien ja niiden ominaisuuksien olevan vakioita, ja että niillä on nimelliskoko, -muoto ja –sijainti. Muutostilasuunnittelu muodostaa DFC:sta robustin muutostiloja vastaan, jotka voivat muodostua nimellistilasuunnittelun jälkeen ongelmatekijöiksi. Jokainen DFC tarkistetaan toleranssianalyysillä. [Whitney 2004, p. 214]

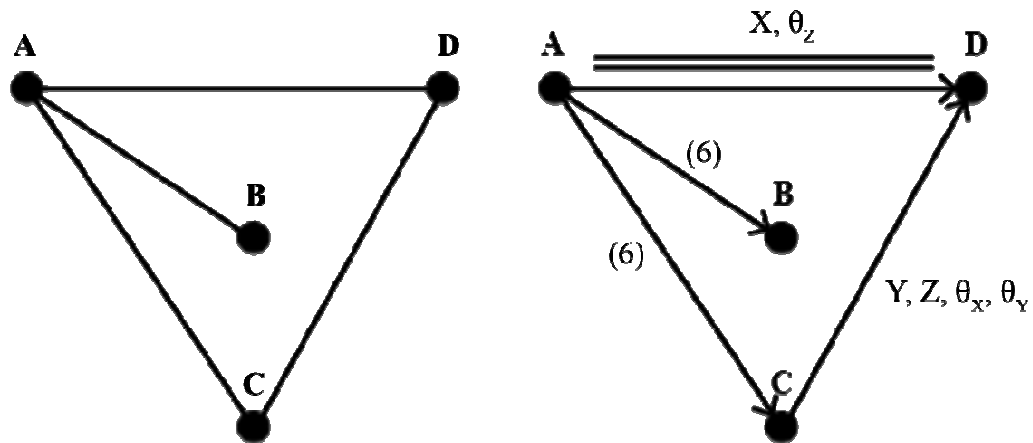
**Taulukko 8.1.** DFC-analyysin toteutusvaiheet ja niiden sisältö [Whitney 2004, p. 214]

<b>1) Nimellistilasuunnittelu</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) KC:t osaksi järjestelmää</li> <li>2) Ulottuvuuksien ja toleranssien yhteensovitus</li> <li>3) Sopivien kokoonpanotoimintojen tunnistus</li> </ol>
<b>2) Muutostilasuunnittelu</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Toleranssianalyysi</li> <li>2) Kokoonpanojärjestyksen suunnittelu</li> <li>3) KC:ien ristiriitojen tunnistus</li> </ol>

Näin suunnittelemalla varmistetaan jokaisen tärkeän ominaisuuden toteutuminen (taulukko 8.1). KC:ien toteutuminen riippuu vaadittujen geometrinen suhteiden saavuttamisesta määriteltyjen toleranssien rajoissa hyväksyttävän suoritusajan puitteissa. [Whitney 2004, p. 215]

### 7.3 Graafinen esitys

DFC-analyysin onnistunut suorittaminen vaatii kuvien käyttämistä kokoonpanon hahmottamisen apuna ja raportoinnin tukena. DFC kuvaa kokoonpanoa suunnattuna asyklisenä graafisena esityksenä. Suunnattu tarkoittaa että DFC:ssa nuolet kuvaavat suuntaa. Asyklinen tarkoittaa että DFC:ssa ei ole yhtenäisiä kierroksia (nuolia seuraamalla joutuu takaisin lähtöpisteeseen). DFC:ssa pallot kuvaavat osia ja nuoliviivat liitoksia osien välillä. [Whitney 2004, p. 215]



*Kuva 7.1. Yksinkertainen yhteysdiagrammi ja DFC [Whitney 2004, p. 215]*

Tuoterakenneanalyysiä ajatellen yksinkertainen yhteysdiagrammi esittää osien väliset yhteydet. DFC:n avulla voidaan kuvata osien yhteyksien lisäksi myös miten osat ovat liittyneet toisiinsa ja minkälaisin rajoituksin. Jokaiselle nuoliviivalle on merkitty ulottuvuudet (kuusi ulottuvuutta:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  ja  $\theta_z$ ) jotka siihen vaikuttavat. Esimerkissä (kuva 7.1) kuvataan KC osien A ja D välillä. KC on merkittynä kahdella viivalla nuoliviivan vieressä. Palloihin osoittaa kuusi ulottuvuutta (lukuunottamatta juuriosan palloa, joka määrittää muiden sijainnit). Osiin B ja C tulee nuoliviivat vain yhdestä pallosta, joten kunkin kohdalle on merkitty luku kuusi (6) kertomaan kaikista ulottuvuuksista, jotka osoittavat palloon. Osan D nuoliviivoihin on merkitty vaikuttavat ulottuvuudet, koska osaan D osoittaa kaksi nuolta. [Whitney 2004, p. 215]

## 7.4 DFC-analyysin arviointi

DFC:n käytettäessä on hyväksytty kaksi oletusta, jotka määrittävät etuja sekä rajoituksia analyysin käytölle:

- 1) Kokoonpanon kaikkien osien oletetaan olevan vakioita (eivät muutu missään vaiheessa), koska jokaisen osan sijainti ja suunta määrittävät osan pysyvästi
- 2) Jokainen kokoonpanotehtävä määrittää tarvittavan osan sijainnin edellisiin osiin ja rakenteisiin nähden. Vasta kun osan sijainti ja suunta on määritetty kokonaan, osa liitetään pysyvästi kokoonpanoon [Whitney 2004, p. 216]

Ensimmäisen oletuksen mukaan jokainen osa on lukittu pysyvästi kun kaikki kuusi ulottuvuutta (kolme akselia kuvaa välityksiä, kolme käännoksiä) on määritetty. Jos osa on luonteeltaan muuttuva, esimerkiksi joustava tai hajoava, se täytyy määrittää ensin jäykäksi kappaleeksi, ja sitten muutoksia kokoonpanon edetessä. [Whitney 2004, p. 216] Tällaisen kappaleen hallinta ei ole DFC:ssa yksioikoista.

Toisen oletuksen mukaan vaillinainen DFC kuvaa epätäydellistä kokoonpanoa. Jos osat tässä kokoonpanossa ei ole määritelty kokonaan muihin osiin nähden, ei voida olettaa osien olevan sopivassa tilassa muita osia tai alikokoonpanoja varten. Tämä oletus pakottaa suunnittelemaan ylemmän tason DFC:t ensin valmiiksi ennen alemmille tasoille siirtymistä. [Whitney 2004, p. 216]

## LÄHTEET

Häkkinen, K. & Salmela, E. 2006. Logistiikkapalveluyhtiömalleja Suomen metalliteollisuudessa. Espoo, VTT. 18 s.

Karrus, K. 1998. Logistiikka. 1. painos. Porvoo, WSOY-Kirjapainoyksikkö. 319 s.

Lapinleimu, I. 2000. Ideaalitehdas. Tampere, TTKK-Paino. 197 s.

Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo, WSOY-Kirjapainoyksikkö. 398 s.

Larikka, M. & Pohjasmäki, J. 1995. Jatkuva parantaminen – 100 käytännön esimerkkiä. Tampere, Tammer-paino Oy. 161 s.

Liker, J. 2004. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. New York, McGraw-Hill. 330 p.

Metso. 2010. Liiketoimintamme lyhyesti. [WWW] [Viitattu 2.8.2011] Saatavissa: [http://www.metso.com/fi/corporation/about\\_fin.nsf/WebWID/WTB-090602-2256F-AA11F?OpenDocument&mid=F0E2EC8EC7E68544C22575BE0037953A](http://www.metso.com/fi/corporation/about_fin.nsf/WebWID/WTB-090602-2256F-AA11F?OpenDocument&mid=F0E2EC8EC7E68544C22575BE0037953A)

Metso. 2010. Metson historia. [WWW] [Viitattu 2.8.2011] Saatavissa: [http://www.metso.com/fi/corporation/about\\_fin.nsf/WebWID/WTB-041026-2256F-0E48B?OpenDocument&mid=035F37BD264FB77AC2256F4E0049BD51](http://www.metso.com/fi/corporation/about_fin.nsf/WebWID/WTB-041026-2256F-0E48B?OpenDocument&mid=035F37BD264FB77AC2256F4E0049BD51)

Metso. 2010. Metso lyhyesti. [WWW] [Viitattu 2.8.2011] Saatavissa: [http://www.metso.com/fi/corporation/about\\_fin.nsf/WebWID/WTB-041026-2256F-55957?OpenDocument](http://www.metso.com/fi/corporation/about_fin.nsf/WebWID/WTB-041026-2256F-55957?OpenDocument)

Pötry, J. Kettunen, O. & Kilponen, A. 2004. Varaston ulkoistaminen alihankinnassa. Espoo, VTT. 79 s.

Slack, N., Chambers, S. & Johnston, R. 2007. Operations Management. 5th edition. Pearson Education Publishing. 728 p.

Stevenson, W. 2007. Operations Management. 9th edition. Rochester Institute Of Technology. 944 p.

Teknologian kehittämiskeskus Tekes. 2001. Keskiraskas ja raskas kokoonpanotoiminta (RASKO) 1998-2000. Helsinki, Paino-Center Oy. 131 s.

Thornton, A. 1999. A Mathematical Framework for The Key Characteristic Process. *Research in Engineering Design*, vol. 11. 145-157 p.

Uusi-Rauva, E., Haverila, M., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. *Teollisuustalous*, 6. painos. Vantaa, Infacs Oy. 510 s.

Whitney, D. 2004. *Mechanical assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*. New York, Oxford University Press. 517 p.

Womack, J. & Jones, D. 2003. *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. New York, Free Press. 396 p.

Womack, J., Jones, D. & Roos, D. 1990. *The Machine That Changed the World*. New York, Rawson Associates. 336 p.